

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA**  
**FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET**  
**DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**  
**DEPARTEMENT DE FORAGE ET MECANIQUE DES CHANTIERS**  
**PETROLIERS**



**MEMOIRE**  
**MASTER PROFESSIONNEL**

Spécialité : Hydrocarbures  
Option : forage pétrolier

Présenté par : Chaher Nadjib

Direm Moussa

**Thème**

**Contribution à l'étude des caractéristiques  
mécaniques de la garniture de forage pour la  
phase 12 ¼ dans le champ de Hassi Messaoud  
(cas du puits OMI373)**

Soutenu publiquement

Le : 11/06/2018

Devant le jury :

Dr. Frouhat Rachid	MC B	Président	UKM Ouargla
Dr. Touahri Abdeldjebar	MC B	Encadreur	UKM Ouargla
Dr. Mecibah Ilyes	MC B	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2017/2018



# Remerciement

*Avant tout propos, je remercie ALLAH le tout puissant qui nous*

*donné sagesse et santé pour faire ce modeste travail.*

*nous adressons nos remerciements, et à exprimer nos*

*reconnaissances à toute les familles Direm et Chaher*

*et aussi à notre encadreur Dr :Touahri Abdeldjebbar*

*Sans oublier tous les enseignants de département de l'hydrocarbure*

*Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidés*

*de près ou de loin pour la réalisation de ce travail*

*ons aussi nos remerciements à  
tous nos collègues de notre promotion.*





## *Dédicace.*

*nous dédions notre travail à nos chers parents qui ils nous ont éduqué et qui ils sont toujours présents dans notre chemin d'apprentissage*

*à toute les famille :*

*Chaher et Direm*

*A toutes les personnes qui nous ont enseigné et orienté durant notre processus de recherche*

*A mos chers amis : Djamel, Houssam, Youcef, Rachid, Marouane, Hamza, Issam, Ibrahim, Islam et tous.*

*A tous les enseignants et les étudiants de 2<sup>ème</sup> master forage 2017-2018.*



## SOMMAIRE

Introduction.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le champ de Hassi Messaoud</b>	
I.1. Situation géographique.....	2
I.2.Situation géologique .....	3
I.3. Historique du découvert .....	3
I.3.Les différentes zones du champ de Hassi Messaoud .....	4
I.5.Description lithologique .....	4
I.6.Le puits OMI 373.....	11
I.6.1.Situation géographique.....	11
<b>Chapitre II : L ES différentes compositions de la garniture de forage</b>	
II.1.Les tiges de forage .....	13
II.1.1.Caractéristiques.....	13
II.2.Les masse-tiges.....	16
II.2.1.Fabrication des masse-tiges.....	16
II.2.2.Caractéristiques.....	17
II.2.3.Les filetages .....	17
II.2.4.Couple de serrage.....	18
II .2.5.Différents types de masse-tiges.....	19
II.3.Les tiges lourdes (heavy weight drill pipes) .....	20
II.4.Les raccords .....	21
II.5.Les stabilisateurs .....	21
II.5.1.Stabilisateurs à lames soudées (Welded Blade stabilisers).....	22

II.5.2.Stabilisateurs à lames intégrées (Integral Blade stabilisers) .....	22
II .5.3.Stabilisateurs à chemise interchangeables (Sleeve Type stabilisers) .....	22
II.5.4.Stabilisateurs à chemise non rotative (non rotative stabilisers) .....	22
II.6.Les élargisseurs.....	23
II.6.1.Elargisseur mécanique fixe "HOLE OPENER" .....	23
II.6.2.Elargisseur hydraulique "UNDERREAMER".....	24
II .7.Les aléseurs .....	24
II.8.Les coulisses de battage .....	25
II.9.Les amortisseurs de vibration.....	26
II.10.Les outils de forage.....	27
II.10.1.Les outils à molette (roller bits).....	27
II.10.2.Les outils à diamant (diamond bits).....	28
 <b>Capitre III : Les différentes forces et phénomènes aux quels soumise la GDF</b>	
III.1.Force de gravité.....	29
III.2. La flottabilité.....	29
III .3.Efforts de traction.....	29
III .4.Forces de pression.....	31
III .4.1.L'éclatement.....	31
III .4.2.L'écrasement.....	32
III.5. Allongement de la garniture de forage.....	34
III.6. Torsion .....	35

III.7. Les chocs .....	37
III.8. Vibrations.....	38
III.8. 1. Vibrations transversales.....	38
III.8.2. Vibrations de torsion .....	39
III.8.3. Vibration longitudinale.....	40
III.9. Flambage.....	42
III.9.1. Description du phénomène.....	42
III.9.2. La charge critique.....	42
III.9.3. La garniture se trouvant dans la partie verticale du puits.....	43
III.9.4. Point neutre.....	44
III.10. Les frottements (frictions).....	45
III.10.1. Force Latérale (Side Force SF) .....	46
III.10.2. Force de Friction en Rotation .....	46
III.11. La fatigue .....	46
III.12. Corrosion.....	47
III.13. Abrasion et érosion.....	47
 <b>Chapitre IV : Etude de cas puits OMI373</b>	
IV.1. Programme de forage pour la phase 12"1/4.....	48
IV.1.2. Programme d'outil .....	48
IV.1.3. Composition de BHA.....	48

IV.1.4.Programme de boue.....	49
IV.2.Le choix de la garniture.....	50
IV.2.1. Choix des masse tiges.....	50
IV.2.1.1.Diamètre des masses tiges.....	50
IV.2.1.2.Longueur des masses tiges.....	51
IV.2.2.Choix des tiges.....	51
IV.2.2.1. Diamètre des tiges.....	51
IV.3.Calcul des différentes forces et phénomènes aux quels soumise la garniture de forage .....	52
IV.3.1.Calcul de traction.....	52
IV.3.2.Calcul du torsion.....	53
IV.3.3. calcul des forces de pression.....	53
IV.3.4.calcul des vibrations.....	54
IV.3.5.Calcul de flambage.....	55
IV.4.Résultats et discussions.....	56
Conclusion et recommandation.....	57

Bibliographie

Résumé

## Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....	2
Figure I. 2 : Représentation des différentes zones du champ de Hassi Messaoud.....	4
Figure I.3 : la coupe lithologique du champ de Hassi Mesasoud.....	10
Figure I. 4 : Carte de localisation du puits OMI37.....	11
Figure I.5 : La coupe lithologique du puits OMI 373.....	12
Figure II.1 : les tool-joint.....	15
Figure II.2 : Masse tige à rétreint.....	19
Figure II.3 : Masse tige lisse.....	19
Figure II.4 : Masse-tige spiralée.....	20
Figure II .5 : Tiges lourdes.....	20
Figure II.6 : Différents type de raccords.....	21
Figure II.7 : Différents types de stabilisateurs.....	23
Figure II.8 : Elargisseur mécanique.....	23
Figure II.9 : Elargisseur hydraulique.....	24
Figure II.10 : Orientation avec un aléseurs de Key Seat.....	25
Figure II.11 : Coulisses de battage.....	26
Figure II.12 : Outil tricône.....	28
Figure II.13 : Molette.....	28
Figure II.14 : Outil diamant.....	28
Figure III.1: Répartition des contraintes dans le train de tiges.....	34
Figure III.2: Différents types de whirl.....	38
Figure III.3: Développement de flambage.....	45

## Liste des tableaux

Tableau I.1 : Coordonnées de la plate-forme.....	11
Tableau II.1: Propriétés des aciers utilisés pour le corps des tiges de forage.....	14
Tableau II.2: Caractéristiques des aciers utilisés pour la fabrication des masses-tiges.....	17
Tableau III.1 : Effet de l'usure sur la tension à la limite élastique (Tiges 5", 19.5 lbs/ft, Grade E).....	31
Tableau III.2: Valeurs à utiliser dans la formule (III.6).....	32
Tableau III.3 : Valeurs à utiliser dans la formule (III.7).....	33
Tableau III.4: Des plages des vitesses de rotation critique.....	39
Tableau III.5: Charge critique pour différents éléments de la garniture.....	43
Tableau IV. 1 : Programme d'outil pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.....	48
Tableau IV. 2 : Composition de BHA pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.....	48
Tableau IV. 3 : Caractéristiques des tiges utiliser dans la phase 12"1/4 du puits OMI 373.....	49
Tableau IV. 4 : Programme de boue pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.....	49
Tableau IV.5 : Paramètres du forage pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.....	49

## Liste des symboles :

**HMD** : Hassi messaoud.

**Reg**: Regular.

**FH**: Full Hole.

**IF**: Internal Flush.

**NC** : nombre de connexion.

**I U** : Internal Upset.

**EU**: External Upset.

**IEU** : Internal External Upset.

**API** : Américan petroleum institut.

**GDF** : Garniture de forage.

**T**:Couple de serrage, en **lb . ft** .

**S**: Contrainte du métal au niveau de la surface critique considérée en **psi**.

**A**: Surface critique déterminée sur l'élément le plus faible, en **pouces<sup>2</sup>**.

**R**: Rayon moyen du filetage, en **pouces**.

**R<sub>s</sub>**: Rayon de l'épaulement, en **pouces**.

**P**: Pas du filetage, en **pouces**.

**θ** : 1 / 2 angle au sommet du filetage, en **degrés**.

**f**:Coefficient de frottement (= 0.08 pour les graisses API habituellement utilisées).

**db**: Densité de la boue.

**da**: Densité de l'acier.

**K** : Facteur de flottabilité.

**T**: Traction exercée sur la barre, en **N**.

**S**: Section de la barre, en **m<sup>2</sup>**.

**σ**: Contrainte exercée sur la barre, en **Pa**.

**T<sub>max</sub>** : Tension maximale applicable sur la tige, en **N**.

**$\sigma_{e \min}$**  : Limite élastique minimale de l'acier utilisé, en **P**.

**e** : Épaisseur nominale du corps de la tige.

**D** : Diamètre nominal extérieur du corps de la tige.

**P<sub>i max</sub>** : La pression maximum admissible d'éclatement.

**P<sub>e max</sub>** : La pression maximum admissible d'écrasement.

WOB : weight on bit

BOP : blew out preventer

**$\Delta L_1$**  : Allongement de la garniture, en **m**.

**L** : Longueur de tiges, en **m**.

**$\rho_a$**  : Masse volumique de l'acier (**7850 kg / m<sup>3</sup>**).

**$\rho_f$**  : Masse volumique du fluide de forage dans le puits, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**E** : Module de Young de l'acier, en **Pa** (de **200 000** à **220 000 MPa**).

**$\nu$**  : Coefficient de Poisson (**0.3** pour l'acier).

**g** : Accélération de la pesanteur égale à **9.81 m / s<sup>2</sup>**.

**$\Delta t$**  : Variation de la température entre la surface et l'extrémité inférieure des tiges.

**R** : Rayon de la barre, en **m**.

**J** : Moment d'inertie polaire de la barre, en **m<sup>4</sup>**.

**R<sub>e</sub>** : Rayon extérieur de la barre, en **m**.

**R<sub>i</sub>** : Rayon intérieur de la barre, en **m**.

**$\tau$**  : La contrainte de torsion exercée sur cette barre.

**M<sub>max</sub>** : Moment du couple de torsion maximal, en **N.m**.

**G** : Module d'élasticité transversal, en **Pa**.

**N** : Nombre de tours.

**F<sub>k</sub>** : Force due au choc (Kgf)

**m<sub>L</sub>** : masse linéaire d'une partie de la garniture dans l'air (Kg/m).

**V** : Vitesse moyenne du train de tiges (m/s).

**N<sub>c</sub>** est la vitesse de rotation critique (t/mn) .

**f** : fréquence naturelle de vibrations longitudinales en cycles/seconde.

**V<sub>R</sub>** : vitesse de rotation en tours/mn.

**f<sub>n</sub>** : Fréquence de vibration naturelle (cycles/seconde).

**K** : Constante du ressort de l'amortisseur (lbs/ft).

**M** : Masse des masse-tiges au dessus de l'amortisseur tel que  $M = \frac{L \cdot m_L}{g}$

**F<sub>cr</sub>**: Charge critique, en **N**.

**E**: Module de Young de l'acier en **Pa** (de **200 000** à **220 000 MPa**).

**F<sub>fl sin</sub>**: Force à appliquer sur la garniture pour produire le flambage sinusoïdal, en **N**.

**F<sub>fl hel</sub>**: Force à appliquer sur la garniture pour produire le flambage hélicoïdal, en **N**.

**P**: Poids linéaire dans l'air de l'élément de garniture considéré, en **N/m**.

**i**: Inclinaison du puits mesurée à partir de la verticale, en **degré**.

**r**: Jeu radial entre le trou et la garniture (espace annulaire), en **m**.

**D<sub>t</sub>**: Diamètre du trou, en **m**.

**n** : Hauteur du point neutre définie à partir de l'extrémité inférieure de la garniture, en **m**.

**F** : Force appliquée sur le fond, en **N**.

**P<sub>m</sub>** : Poids moyen au mètre dans l'air du tubulaire se trouvant sous le point neutre, en **N / m**.

**ρ<sub>fi</sub>**: Masse volumique du fluide à l'intérieur de la garniture, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**ρ<sub>fea</sub>** : Masse volumique du fluide se trouvant à l'extérieur de la garniture, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**S<sub>i</sub>** : Section intérieure de la garniture, en **m<sup>2</sup>**.

**S<sub>e</sub>** : Section extérieure de la garniture (espace annulaire), en **m<sup>2</sup>**.

**SF** : la force latérale.

**W** : le poids d'une partie de la garniture.

**H<sub>2</sub>S** : L'hydrogène sulfureux.

**CO<sub>2</sub>** : le gaz carbonique,

**O<sub>2</sub>** : l'oxygène.



---

## Introduction

Réussir le forage d'un puits pétrolier le plus rapidement possible et à moindre coût est devenu un défi continu pour les professionnels du secteur. Pour relever ce défi, un bon choix de la garniture de forage s'impose.

La garniture ou train de sonde (drill stem ou drill string) est composée de tubulaires en acier connectés par des filetages. Elle sert à Transmettre la rotation à l'outil de forage , mettre du poids sur l'outil , faire circuler le fluide de forage pour remonter à la surface les déblais détruits et guider l'outil par la réalisation d'un trajectoire souhaité et prévue.

Le drill string est composé de deux parties ;une partie supérieure qui travaille en traction et une partie inférieure qui travaille en compression pour appliquer le poids sur l'outil.

Le présent étude s'inscrit dans le cadre de travail de fin d'étude pour l'obtention du diplôme du master 2 en forage a pour but de connaitre comment choisir une garniture convenable de la phase 12 1/4 dans le champs de hassi messaoud et d'évaluer les caractéristiques mécaniques de cette garniture afin de choisir les meilleures compositions des garnitures pour la réalisation des opérations de forage dans le puits OMI373 de la phase 12 ¼.

La méthodologie adoptée dans ce travail est d'utiliser les données de puits OMI373 et assister quelques opérations de forage durant notre stage pratique sur chantier pour cela nous avons subdivisé ce mémoire en quatre chapitre.

Nous commençons par une introduction générale expliquant les objectifs de travail suivi par le chapitre 1 montre des généralités sur le champ de Hassi Messaoud, le chapitre 2 qui définir les équipements de la garniture de forage et ses utilité à l'opération de forage, le chapitre 3 : dans cette partie nous allons montrer les propriétés mécaniques et les différents contraintes dans lesquels les corps d'acier de la garniture sont soumises, et en dernier, le chapitre nommé étude de cas englobe les différents formules pratiques utilisés dans le puits OMI373 en récapitulant par des résultats et discussion, nous terminons à la fin par une conclusion générale qui résume notre travail.

# *CHAPITRE I*

## *Généralités sur le champ de Hassi Messaoud*

## I.1. Situation géographique

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il se situe à environ 850 km au Sud-Sud-Est d'Alger, à 280 km au Sud-Est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'Mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne.

Il a pour coordonnées Lambert :

$$X = [ 790.000 - 840.000 ] \text{ Est}$$

$$Y = [ 110.000 - 150.000 ] \text{ Nord}$$

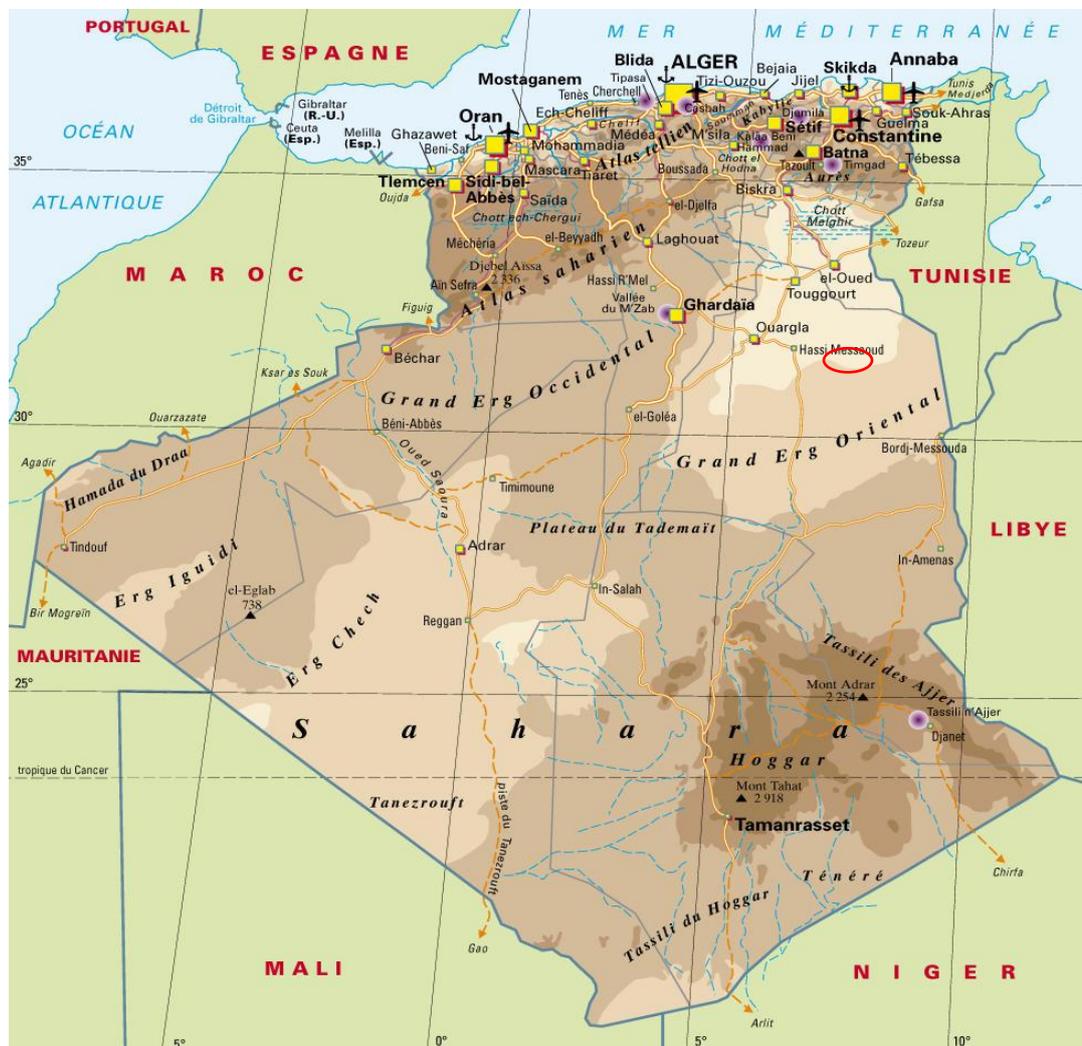


Figure I.1 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.

## **I.2. Situation géologique**

Le champ de Hassi Messaoud occupe la partie centrale de la province triasique. Par sa superficie et ses réserves, il est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie qui s'étend sur près de 2200 km<sup>2</sup> de superficie.

Il est limité :

\* Au Nord-Ouest par les gisements de Ouargla [Gellala, Ben Kahla et Haoud Berkaoui].

\* Au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.

\* Au Sud-Est par les gisements; Rhourde El Baguel et Mesdar.

Géologiquement, il est limité :

\* A l'Ouest par la dépression d'Oued M'ya.

\* Au Sud par le môle d'Amguid El Biod.

\* Au Nord par la structure Djammâa-Touggourt.

\* A l'Est par les hauts fonds de Dahar, Rhourde El Baguel et la dépression de Ghadames.

## **I.3. Historique du découvert**

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" a 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 comme étant producteurs d'huile.

En mai 1957, la société "CFPA" a réalisé un puits Om1 à environ 7Km au Nord-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 :

- C.F.P.A pour le champ Nord.

- SN.REPAL pour le champ sud.

La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation.

#### I.4. Les différentes zones du champ de Hassi Messaoud

L'évolution des pressions des puits en fonction de la production a permis de subdiviser le gisement de Hassi Messaoud en 25 zones dites de production, d'extension variable. Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant entre eux et non pas avec ceux des zones avoisinantes, 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. Toutefois il est important de souligner que le facteur de pression ne peut être le seul critère de caractérisation des zones.

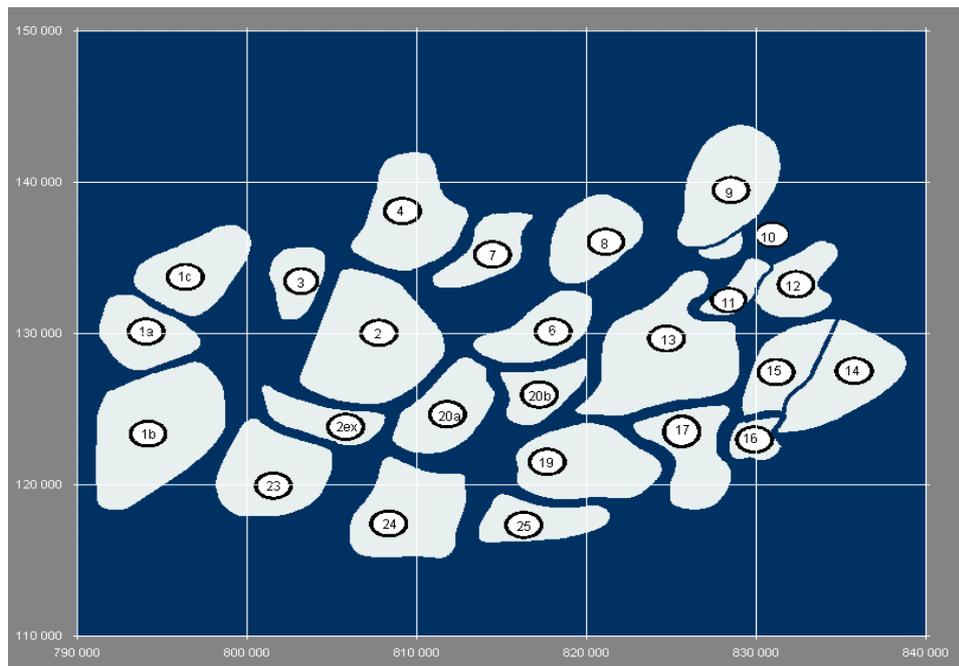


Figure I. 2 : Représentation des différentes zones du champ de Hassi Messaoud.

#### I.5. Description lithologique

Plusieurs études sur le champ de Hassi Messaoud ont montré une hétérogénéité qui est particulièrement due à des variations des caractéristiques Pétro physiques, lithologiques, structurales, ainsi que la variation de la pression de gisement d'un secteur à un autre, ce qui a permis de subdiviser le champ en plusieurs zones distinctes.

La série stratigraphique du champ de Hassi Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes (e = épaisseur moyenne) :

### I.5.1.CÉNOZOÏQUE

#### I.5.1.1.Mio-pliocène : e = 240m : Constitué par :

- ✓ 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.

#### I.5.1.2.Eocène : e = 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.

### I.5.2.MÉSOZOÏQUE

#### I.5.2.1.Crétacé

- **Sénonien** : constitué de deux niveaux
  - **Carbonate** : e = 107m

Il est constitué de calcaire dolomitique avec fines passée d'anhydrite.

Lagunaire niveau représenté par deux unités à faciès lagunaire:

- La première **Anhydritique**, d'une épaisseur moyenne de 219m, 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 140m, est constituée de sel massif à traces d'anhydrite.

- **Turonien** : e = 70 à 120m

Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux.

\* Il contient une nappe aquifère représenté par des eaux à odeur sulfurée, utilisé pour l'injection.

- **Cénomaniens** : e = 145m

Constitué par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise et de dolomie.

- **Albien : e = 350m**

Il est représenté par des grés et sables fins avec intercalations d'argile silteuse.

\*Il renferme une nappe aquifère d'eau douce utilisée pour l'injection et les besoins généraux.

- **Aptien : e = 25m**

Représenté par deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux.

- **Barrémien : e = 280m**

Représenté par des grés fins carbonatés alternant avec des niveaux d'argiles et grés dolomitiques.

- **Néocomien : e=180 m**

Représenté par deux roches dolomitiques microcristalline, des marnes et des argiles avec des passages fines de grés.

#### **I.5.2.2.Jurassique**

- **Malm : (e = 225m)**

Représenté par des dépôts argileux et marloux avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite.

\* Il contient une nappe aquifère d'eau potable.

- **Dogger** : Représenté par deux niveaux :

- **Argileux : (e=105)**

Argiles silteuses, marnes dolomitiques à fines passées de grés.

- **Lagunaire : (e=210)**

Anhydrite, dolomie argileuse, marne.

- **Lias : (e = 300 m)** : Il est représenté par cinq niveaux :

- **LD1 (e = 65m)** : dolomie grise, dure, anhydrite blanche avec parfois des passées d'argile silteuse.
- **LS1 (e = 90m)** : bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche.
- **LD2 (e = 55m)** : dolomies massives, microcristalline à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques.
- **LS2 (e = 60m)** : Sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo - salifère.
- **LD3 (e = 30m)** : marnes à passées dolomitiques.

**I.5.2.3. Trias** : Représenté par quatre niveaux :

- **Salifère** : subdivisé en trois horizons
- **TS1 (e=30m)** : ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique.
- **TS2 (e = 189m)** : Sel massif à intercalations d'anhydrite blanche et d'argile gypsifère silteuse .
- **TS3 (e = 202m)** : Sel massif à traces d'argile silteuse, tendre.

\*Les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluentes.

- **Argileux (e = 113m)** : Argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de banc de sel au sommet.
- **Gréseux (e = 35m)** : Grés fin à ciment argileux.
- **Éruptif (0 < e < 92m)** : Andésite altérées alternant avec des argiles 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 où 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.

### **I.5.3. PALÉOZOÏQUE**

#### **I.5.3.1. Ordovicien**

Dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes:

- **Quartzites d'Hamra : (e = 12 à 75m)**

Quartzites localement grossiers, présentant parfois des intercalations argileuses.

- **Grés d'El Atchane : (e = 25m)**

Grés fin à ciment argileux, bitumineux. Productifs sur Omj 76 .

- **Argiles d'El Gassi : (e = 50m)**

Argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires.

- **Zone des Alternances : (e = 20m)**

Argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grés 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.

**I.5.3.2.Cambrien**

Essentiellement constitué de grés hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés des passages silteuses argilo micacés, ces matériaux dites Grés de MESSAOUD. On y distingue trois zones lithologiques R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

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

Dans sa partie supérieure et moyenne (e = 20 à 60m) il est formé de grés quartzites, an 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 120m.

- **Litho-zone R2 (e = 100m) :** est constitué de grés quartzites et quartzites gréseuses, moyens à grossiers, an isométriques, avec parfois des niveaux micro-conglomératiques, à ciment argileux assez abondant (illite). On note des intercalations millimétriques de silt.
- **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 grés ferrugineux, et des intercalations d'argiles silteuses. Le "R3" ne présente aucun intérêt pétrolier.

**I.5.3.3.Infra-cambrien (e = 45m)**

Il est composé de grés argileux de couleur rouge. C'est l'unité géologique la plus ancienne reconnue au Nord de la structure par le forage Omg47 à une profondeur de 4092 m.

#### **I.5.4. SOCLE**

Rencontré aux environs de la profondeur de 4000m, il est constitué de granite porphyroïde de couleur rose à deux micas. [3]

ERE	SYST	ETAGES	Ep moy	DESCRIPTION		
CENO-ZOIQUE	NEOGENE	MIO-PLIOCENE <i>discordance alpine</i>	240	Sable, calcaire, marne sableuse		
		EOCENE	120	Sable, calcaire à sillex		
MESOZOIQUE	CRETACE	SENONIEN	CARBONATE	107	Calcaire, dolomie, anhydrite	
		SENONIEN	ANHYDRITIQUE	219	Anhydrite, marne, dolomie	
		SENONIEN	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	
		TRIASSIQUE	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 <i>discordance hercynienne</i>		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			
	S O C L E				Granite porphyroïde rose	

Figure I.3: la coupe lithologique du champ de Hassi Mesasoud

**I.6. Le puits OMI 373 :**

Le puits vertical **OMI373** est un puits producteur huile qui s’inscrit dans le cadre du développement du gisement de Hassi Messaoud, il se situe au Nord de la zone 3 et à l’Ouest de la zone 4.

Du point de vue structural, ce puits est localisé sur le flanc Ouest de l’anticlinal de Hassi Messaoud, positionné sur une structure haute interprétée par l’intersection de la sismique OL-HMD. Ce puits aura pour objectif de confirmer cette structure ainsi que le potentiel en hydrocarbure du réservoir Cambro-ordovicien en place. On note la présence de deux failles au NE qui sont de direction NE-SO et une autre faille au SO qui est de direction NO-SE. [9]

**I.6.1. Situation géographique :**

CoOrdoonées	UTM	Zs(m)	Zt(m)
<b>X</b>	<b>770 374,061</b>	<b>172.236</b>	<b>182</b>
<b>Y</b>	<b>3 527 671,773</b>		

Tableau I.1 : Coordonnées de la plate-forme. [9]

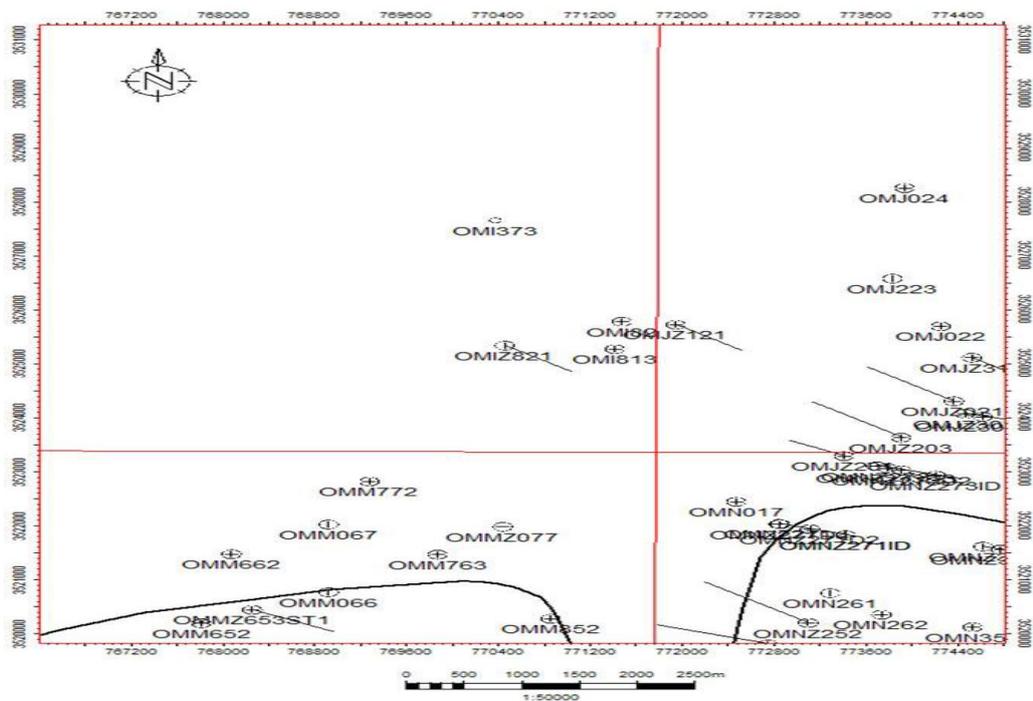


Figure I. 4: Carte de localisation du puits OMI37.

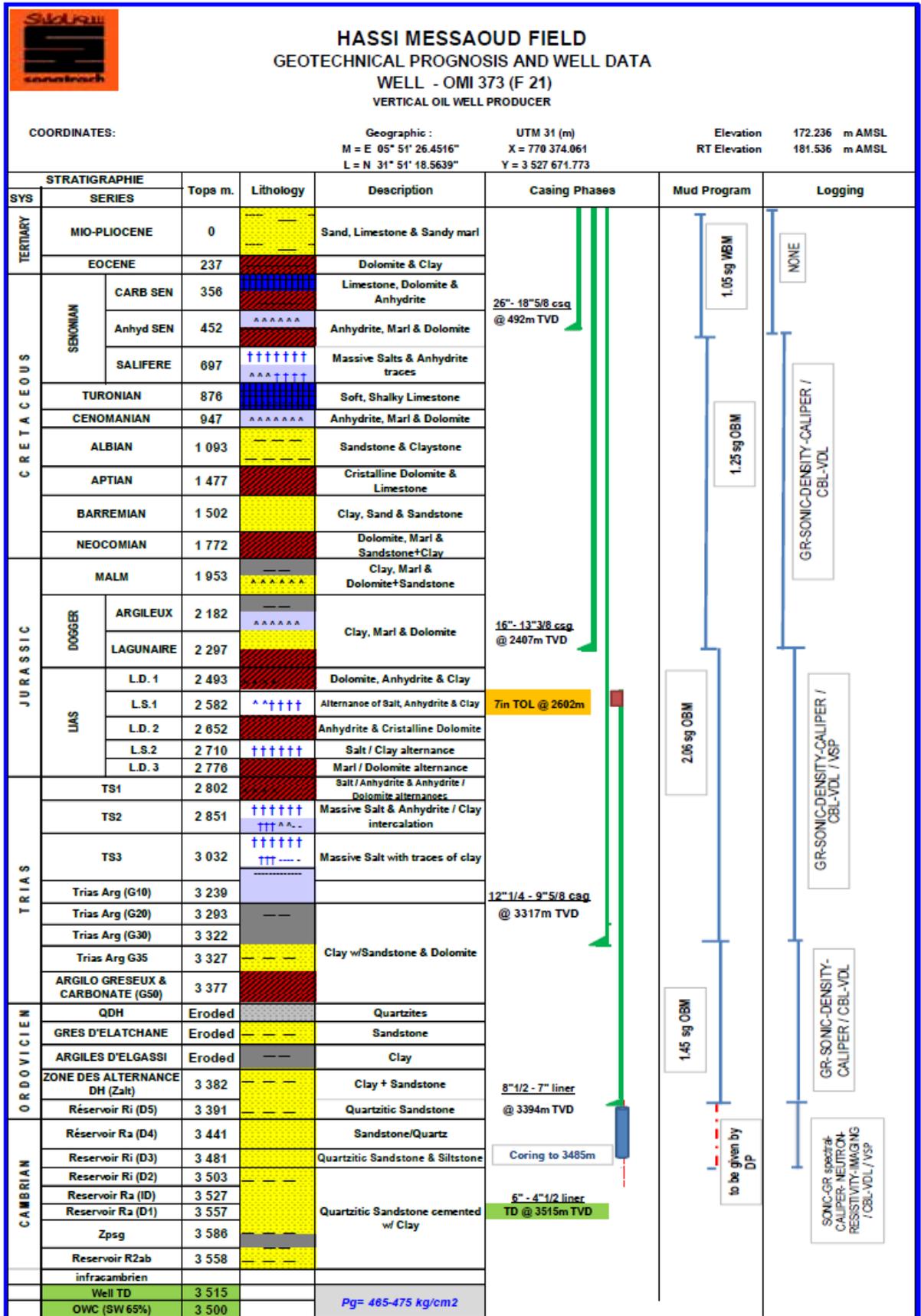


Figure I.5 : Coupe lithologique du puits OMI 373.

# *CHAPITRE II*

## *Les différentes composition de la garniture de forage*

## II.1. Tiges de forage

Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'au dernier. Elles doivent travailler en tension pour éviter leur frottement contre les parois du puits, qui peuvent causer leur usure et les éboulements des parois, et la déviation. Une tige se compose d'un tube d'acier sans soudure, le corps de la tige, présentant des renflements ou upsets aux deux extrémités et de deux tool joints ou raccords.

Suivant la position de l'upset, on distingue des tiges :

- Internal Upset (I U) : le renflement est situé à l'intérieur du tube.
- External Upset (E U) : le renflement est situé à l'extérieur du tube.
- Internal External Upset (I E U) : le renflement est situé à l'intérieur et à l'extérieur du tube.

Les tool joints qui permettent le vissage des tiges l'une à l'autre sont rapportés par soudure aux extrémités du tube. La soudure est réalisée par friction. [8]

### II.1.1. Caractéristiques

#### II.1.1.1. Diamètre nominal

Le diamètre nominal des tiges de forage est le diamètre extérieur du corps du tube (en dehors des upsets). Les diamètres normalisés par l'API sont : 2 3/8, 2 7/8, 3 1/2, 4, 4 1/2, 5, 5 1/2 et 6 5/8. Les diamètres les plus utilisés en forage pétrolier, hors États-Unis, sont 3 1/2 et 5" (les tiges 4 1/2 sont très utilisées aux États-Unis). Ces deux garnitures permettent de réaliser la plupart des programmes de forage.

#### II.1.1.2. Poids nominal

Le poids nominal correspond au poids linéaire du corps de la tige (le poids des tool joints n'est pas inclus dans cette valeur). Il s'exprime en lb / ft. Plus le poids nominal est élevé, plus le corps de la tige est épais, donc plus la tige sera résistante (mais en contrepartie plus la garniture sera lourde). [8]

#### II.1.1.3. Longueur

Les tiges existent en trois "ranges". Le range indique la longueur totale du corps de la tige avant soudure des tool joints.

- Le range I : la longueur de tige comprise entre 18 ft (5.48 m) et 22 ft (6.71 m).
- Le range II : la longueur de tige comprise entre 27 ft (8.23 m) et 30 ft (9.15 m).
- Le range III : la longueur de tige comprise entre 38 ft (11.58 m) et 45 ft (13.72 m). [7]

#### II.1.1.4. Grade

Détermine la qualité de l'acier et donne la résistance de la tige à la traction et la torsion. L'API a normalisé quatre grades d'acier. Le tableau suivant fournit leurs caractéristiques.

Grade	Allongement total %	Limite élastique		Charge de rupture minimum en Psi (MPa)
		Minimum en psi (MPa)	Maximum en psi (MPa)	
E (75)	0.5	75 000 (517)	105 000 (724)	100 000 (690)
X 95	0.5	95 000 (655)	125 000 (862)	105 000 (724)
G 105	0.6	105 000 (724)	135 000 (931)	115 000 (793)
S 135	0.7	135 000 (931)	165 000 (1 138)	145 000 (1 000)

Tableau II.1: Propriétés des aciers utilisés pour le corps des tiges de forage. [6]

Le grade standard est le grade E. Lorsque la résistance mécanique des tiges de grade standard n'est plus suffisante, le forage est poursuivi en rajoutant des tiges de grade supérieur (X, G ou S).

**Remarque :** La limite élastique minimale adoptée par l'API produit un allongement permanent de 0.5 % à 0.7 % suivant les grades d'acier. Pour être sûr de faire travailler les tiges dans le domaine élastique, il est préférable de prendre une valeur de contrainte axiale inférieure à la limite élastique donnée par l'API. En général, on se limite à utiliser les tiges à 90 % de la tension maximum admissible. Dans les puits déviés, on se limite généralement à 80 % de cette tension. [8]

### II.1.1.5.Tool joints

Les tool joints actuellement utilisés sont rapportés et soudés par friction sur les renflements (upsets) du corps de la tige. L'API demande, quel que soit le grade du tube utilisé (E, X, G ou S), les propriétés physiques suivantes pour l'acier constituant les tool joints :

- Limite élastique :120 000 psi (827 MPa).
- Limite minimale de rupture: 140 000 psi (965 MPa). [8]

Il existe plusieurs types de tool-joints : Regular (Reg), Full Hole (FH), Internal Flush (IF), Tool-joint API à connexion numérotée (API numbered rotary shouldered connections), Tool-joints spéciaux non API. [2]

Les tool-joints s'usent par frottement à l'intérieur des colonnes de tubage et dans le terrain. Quand leur diamètre extérieur atteint une cote d'alerte, ils doivent être changés. [2]



Figure II.1 : Tool-joint.

### II.1.1.6.Classe d'usure

Au fur à mesure de l'utilisation des tiges de forage, celles-ci vont s'user par frottement contre la paroi du trou. Les tool joints et le corps de la tige vont perdre de l'épaisseur. [7]

Cette diminution des sections entraîne une perte de résistance mécanique des tiges. L'API classe les tiges en 5 classes :

- Classe I : marquées d'une bande blanche, ces tiges ont les dimensions nominales API, ce sont des tiges neuves.
- Classe Premium ou S : marquées de deux bandes blanches, ces tiges présentent une usure uniforme donnant une réduction d'épaisseur maximale de 20 %, réduction

excentrique de l'épaisseur de 20%, la section est calculée en fonction de la réduction uniforme de l'épaisseur de 20%.

- Classe II : marquées d'une bande jaune, ces tiges présentent une usure uniforme donnant une réduction d'épaisseur maximale de 20 %, réduction excentrique de l'épaisseur de 35%, la section est calculée en fonction de la réduction uniforme de l'épaisseur de 20%.
- Classe III : les tiges de cette classe sont marquées d'une bande orange, ces tiges présentent une usure uniforme donnant réduction d'épaisseur de 37.5%, réduction excentrique de l'épaisseur de 45%, la section est calculée en fonction de la réduction uniforme de l'épaisseur de 37.5%.
- Classe IV : les tiges de cette classe sont marquées d'une bande rouge.

Les tiges seront inspectées régulièrement (environ toutes les 2 000 heures de rotation). En forage pétrolier, seules les tiges de classe S sont utilisées. [8]

### II.1.1.7. Désignation de tiges de forage

On désigne les tiges de forage par son diamètre nominal (en pouce), sa masse nominale (en lb/ft), le grade ou nuance, type de la tige, et le type de filetage avec dimension du tool joint.

**Par exemple : 4" 14,00# EIU 4FH NC40 TJ6<sup>1/4"</sup>**

## II.2. Masse-tiges

Les masse-tiges permettent de :

- mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression.
- Guider l'outil pour forer un trou aussi droit et vertical que possible. Elles ne rempliront pleinement ces conditions que si elles sont aussi rigides que possible donc aussi largement dimensionnées que possible. [2]

### II.2.1. Fabrication des masse-tiges

Les masses-tiges conventionnelles sont usinées à partir de barres d'acier qui ont de bonnes caractéristiques après trempe et revenu. Les filetages sont taillés directement aux extrémités de ces barres. La résistance des aciers utilisés (d'après API) est indiquée dans le tableau suivant :

Diamètre extérieur en pouce	Limite élastique minimale	Contrainte à la rupture minimale	Allongement mini. (%)
3 1/8 à 6 7/8	110 000 psi (758 MPa)	140 000 psi (967 MPa)	13
7 à 10	100 000 psi (689 MPa)	135 000 psi (931 MPa)	13

Tableau II.2: Caractéristiques des aciers utilisés pour la fabrication des masses-tiges

Les aciers utilisés sont en général des alliages au chrome-molybdène qui satisfont aux spécifications mécaniques après trempe et revenu, tout en restant d'une dureté compatible avec l'usinage et d'un prix économique. [8]

### II.2.2.Caractéristiques

Une masse-tige est caractérisée par :

- ses diamètres extérieur et intérieur. Le diamètre intérieur est normalisé par l'API en fonction du diamètre extérieur. Lorsqu'il y a un choix possible, il est avantageux de choisir le plus petit diamètre intérieur de façon à augmenter la résistance de la connexion fileté.
- son type et son diamètre de connexion fileté (Reg - FH - IF - NC).
- son profil : lisse, spiralé ou carré. [2]

### II.2.3.Filetages

Les filetages des masse-tiges sont coniques pour deux raisons :

- un filetage conique a une plus grande résistance,
- un filetage conique offre de grandes facilités et une plus grande rapidité de vissage ou de dévissage.

Par ailleurs ces filetages comportent un épaulement permettant d'assurer l'étanchéité entre les masse-tiges. Les filetages les plus couramment utilisés sont : Internal Flush (IF),Regular (Reg),Full Hole (FH). Ils diffèrent essentiellement par le profil du filet, la conicité et la longueur de la partie fileté. [2]

## II.2.4. Couple de serrage

L'étanchéité entre masses-tiges, vis à vis de la pression, se fait au niveau des épaulements par contact métal sur métal. C'est le couple de serrage qui produit une contrainte de compression suffisante pour obtenir l'étanchéité.

Le calcul du couple de serrage est effectué en utilisant une version modifiée de la formule de **FARR** :

$$T = \frac{S \cdot A}{12} \cdot \left( \frac{P}{2\pi} + \frac{R_t \cdot f}{\cos \theta} + R_s \cdot f \right) \quad (II.1)$$

**T** : Couple de serrage, en **lb . ft**.

**S** : Contrainte du métal au niveau de la surface critique considérée  
(62 500 psi pour l'acier 4145 H), en **psi**.

**A** : Surface critique déterminée sur l'élément le plus faible (mâle ou femelle suivant le cas),  
en **pouces<sup>2</sup>**.

**R** : Rayon moyen du filetage, en **pouces**.

**R<sub>s</sub>** : Rayon de l'épaulement, en **pouces**.

**P** : Pas du filetage, en **pouces**.

**θ** : 1 / 2 angle au sommet du filetage, en **degrés**.

**f** : Coefficient de frottement (= 0.08 pour les graisses API habituellement utilisées).

Le couple de serrage recommandé par l'API produit une pression métal sur métal de 5 000 bar au niveau des épaulements, ce qui donne une étanchéité à une pression de 1 000 bar au niveau de la connexion. [8]

## II .2.5. Différents types de masse-tiges

### II.2.5.1. Masse tiges classiques

**II.2.5.1.1. Masse tiges lisses** : elles sont lisses sur toute leur longueur. L'utilisation du collier de sécurité pour leur manœuvre dans le puits est obligatoire.

**II.2.5.1.2. Masse tiges à rétreints** : deux rétreints sont usinés dans la partie supérieure pour permettre l'utilisation de la cale et l'élévateur sans collier de sécurité.

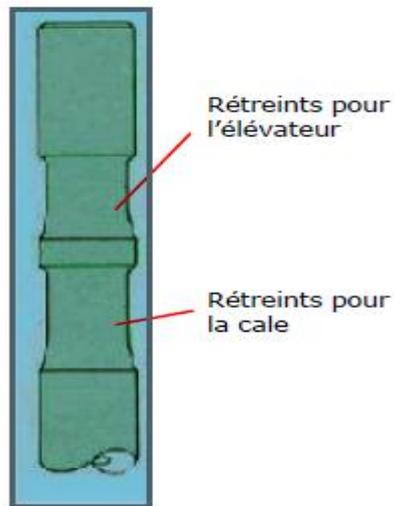


Figure II.2 : Masse tige à rétreint.



Figure II.3 : Masse tige lisse.

### **II.2.5.2.Masse tiges à partie centrale surdimensionnée**

Utilisées dans les grosses dimensions, elles assurent un meilleur guidage et une meilleure rigidité d'où moins de tendance à dévier. La partie supérieure est réduite pour permettre le repêchage par l'extérieur avec un overshot standard et l'utilisation de filetages courants, donc de couples de serrage acceptables.

### **II.2.5.3.Masse-tiges articulées**

Les masse-tiges articulées ne sont utilisées que pour le forage des puits à court rayon. Elles sont composées d'éléments courts reliés par des joints flexibles et incorporent un tube interne en caoutchouc pour permettre le passage du fluide de forage.

### **II.2.5.4.Masse tiges carrées**

Ayant une rigidité importante et un très bon guidage dans le trou (jeu 1/32" seulement), elles sont utilisées pour supprimer les dog legs et diminuer la déviation. Les angles sont rechargés par un composite carbure-diamant pour éviter leur usure dans les terrains abrasifs. Cette masse-tige doit être placée au-dessus d'un aléreur, placé lui-même directement sur l'outil.

La présence de cet aléreur est indispensable car, étant donné le faible jeu de la masse-tige carrée dans le trou, il y aurait coincement en cas de perte de diamètre de l'outil. Cet aléreur devra être du type à rouleaux droits (non inclinés), possédant des picots en carbure de tungstène pour obtenir un parfait calibrage du trou.

### II.2.5.5.Masse tiges spiralées

Elles réduisent le risque de coincement par pression différentielle en diminuant la surface de contact masse-tige/trou. Leur masse est d'environ 4% inférieure à celle des masse-tiges classiques. Elles existent en deux profils :

- Profil SHELL (Sine drill collars) : la section est un triangle curviligne dont les sommets sont tronqués par le cercle du diamètre extérieur.
- Profil FOX (No Wall Stick drill collars) : comporte 3 plats pour les diamètres jusqu'à 6" 7/8 et 9 plats groupés 3 par 3 pour les diamètres supérieurs. Ce profil est utilisé dans le monde entier. [2]



Figure II.4 : Masse-tige spiralée.

### II.3.Tiges lourdes (heavy weight drill pipes)

Les tiges lourdes, incorporées entre les tiges et les masses-tiges, sont des tiges de transition. Elles assurent une meilleure continuité mécanique entre ces deux éléments de la garniture afin de diminuer les concentrations de contraintes, résultats à la fois des efforts de flexion alternée et des efforts générés par les régimes de vibrations transversales et de torsion au cours de la rotation de la garniture.

Dans les puits verticaux, les tiges lourdes sont utilisées uniquement comme tiges de transition. 6 à 7 longueurs de tiges lourdes sont généralement incorporées dans la garniture. Elles sont utilisées également dans les puits déviés comme tiges de transition et en remplacement des masses-tiges pour fournir le poids sur l'outil.

De par leur grande flexibilité, elles diminuent le couple de rotation, les efforts de frottement à la remontée de la garniture et les risques de coincement par pression différentielle. [8]

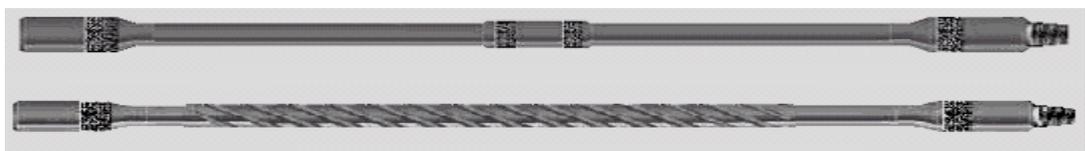


Figure II .5 : Tiges lourdes.

## II.4.Raccords

Pour connecter tous les éléments de la garniture entre eux, il est nécessaire, soit d'utiliser le même fieltage, ce qui n'est pas possible compte tenu de la grande variété de dimensions nominales, soit d'intercaler des raccords d'adaptation (cross over sub ou X sub ou sub ). Le contracteur de forage doit posséder un éventail le plus large possible afin de couvrir tout changement de masse-tiges, de stabilisateur, etc. [7]

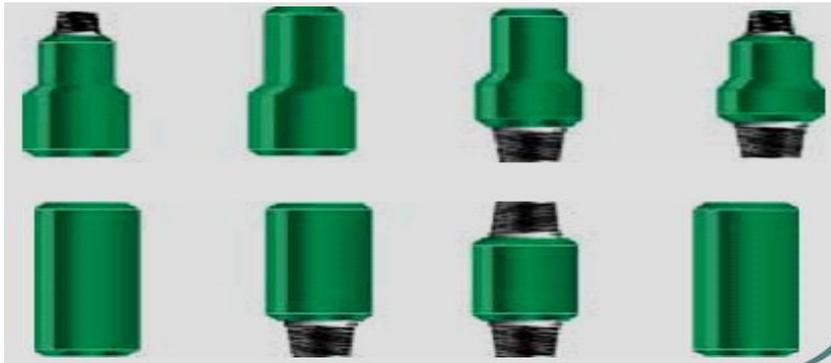


Figure II.6 : Différents type de raccords.

## II.5.Stabilisateurs

Un stabilisateur (stabilizer) est une pièce comportant un corps cylindrique équipé de trois lames à sa périphérie. Dans le puits, les lames prennent appui sur les parois et permettent ainsi d'assurer un meilleur guidage et un meilleur centrage de la garniture. Les stabilisateurs sont incorporés au niveau des masse-tiges afin de garder et contrôler la trajectoire de l'outil, qu'elle soit verticale ou inclinée. Leurs formes et construction sont multiples en fonction des terrains, de leur abrasivité, des appuis plus ou moins longs que l'on désire. Suivant la trajectoire désirée, les stabilisateurs seront placés en différents points de la garniture de fond.

L'utilisation de trois stabilisateurs paraît être un maximum compte tenu des frottements importants qu'ils induisent dans le puits. [8]

Il existe plusieurs types de stabilisateurs :

### II.5.1.Stabilisateurs à lames soudées (Welded Blade stabilisers)

Les stabilisateurs à lames soudées ne perturbent pas la circulation de la boue dans l'annulaire et en raison de la forme des lames, permettent un alésage efficace. Ces stabilisateurs sont utilisés dans les formations de dureté moyenne car ils procurent une petite surface de contact

avec la paroi du puits et ont tendance à élargir le puits dans les formations tendres. Ils ne coûtent pas cher et les lames peuvent être remplacées ou rechargées quand elles sont usées.

### **II.5.2. Stabilisateurs à lames intégrées (Integral Blade stabilisers)**

Le stabilisateur étant d'une seule pièce, les lames ne peuvent pas être remplacées lorsqu'elles sont usées ; car ils sont tournés et usinés dans le corps du stabilisateur. Ces stabilisateurs peuvent avoir l'arête de la lame arrondie pour réduire l'endommagement des parois et procurer une plus grande surface de contact dans les formations tendres. Les lames peuvent être également équipées d'inserts de carbure de tungstène pour augmenter la durée de vie du stabilisateur. Il existe des stabilisateurs à diamètre réglable en cours de forage à partir de la surface par l'intermédiaire du débit de circulation. Un indicateur en surface permet de connaître en permanence le diamètre du stabilisateur.

### **II .5.3. Stabilisateurs à chemise interchangeable (Sleeve Type stabilisers)**

Il existe deux modèles. Sur l'un des modèles, la chemise est vissée sur le corps du stabilisateur tandis que sur l'autre, la chemise se vissant sur la partie supérieure.

Dans les deux modèles, les chemises peuvent être facilement changées et différents diamètres s'adaptent sur le même corps. Cela représente un avantage sur les autres types de stabilisateurs.

### **II.5.4. Stabilisateurs à chemise non rotative (non rotative stabilisers)**

Les stabilisateurs à chemise non rotative en caoutchouc permettent de minimiser l'endommagement des parois du trou dans les formations tendres et de limiter l'usure de la garniture dans les formations abrasives. Ces stabilisateurs sont principalement utilisés dans la partie supérieure de la zone stabilisée afin de maintenir le train de tige centré.

Généralement, le type courant ne doit pas être utilisé lorsque la température du puits est supérieure à 110°C. Cependant il existe des élastomères pouvant être utilisés à des températures atteignant (180°C). [8]

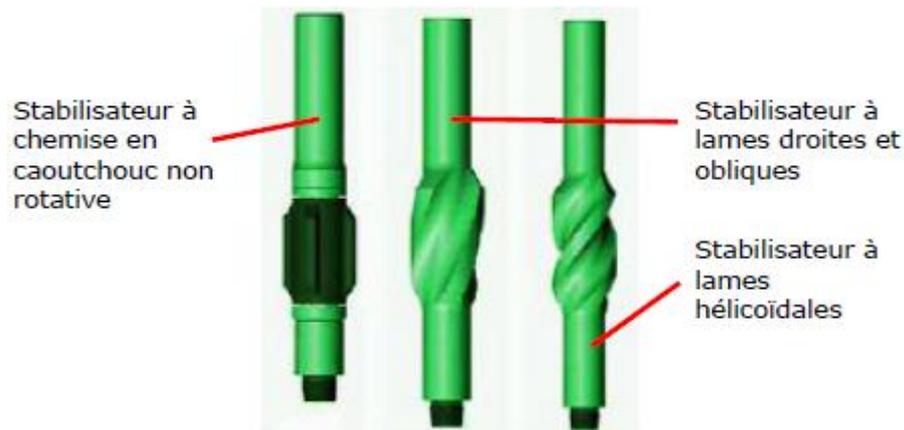


Figure II.7 : Différents types de stabilisateurs.

## II.6.Elargisseurs

Il existe deux sortes d'élargisseurs :

### II.6.1.Elargisseur mécanique fixe "HOLE OPENER"

C'est un ensemble constitué d'un corps et de bras fixes. Les rouleaux peuvent être adaptés suivant la dureté des formations rencontrées. Cet outil peut être opéré avec des paramètres égaux aux préconisations du constructeur de cônes qui équipent l'élargisseur.

Ils sont utilisés plus particulièrement en gros diamètres à partir de la surface. En effet il n'est pas possible d'obtenir une bonne stabilisation dans un gros diamètre même avec des masse-tiges surdimensionnées. Pour cela on fore un avant trou à un diamètre maximum de 26" qu'on élargit ensuite au diamètre désiré (36"). [4]



Figure II.8 : Elargisseur mécanique.

### II.6.2.Élargisseur hydraulique "UNDERREAMER"

C'est un ensemble constitué d'un corps et de bras mobiles actionnés hydrauliquement par le passage de la boue. Les bras peuvent être équipés des mollettes de stratapax ou de diamant suivant la dureté des terrains ou même de lames ou couteaux au carbure de tungstène dans le cas d'une ouverture de fenêtre dans un tubage.

Les élargisseurs hydrauliques sont utilisés pour élargir en dessous d'un trou déjà foré et tubé.

Pour cela le corps et les bras rétractés doivent avoir un diamètre inférieur au diamètre du tubage précédent. [4]

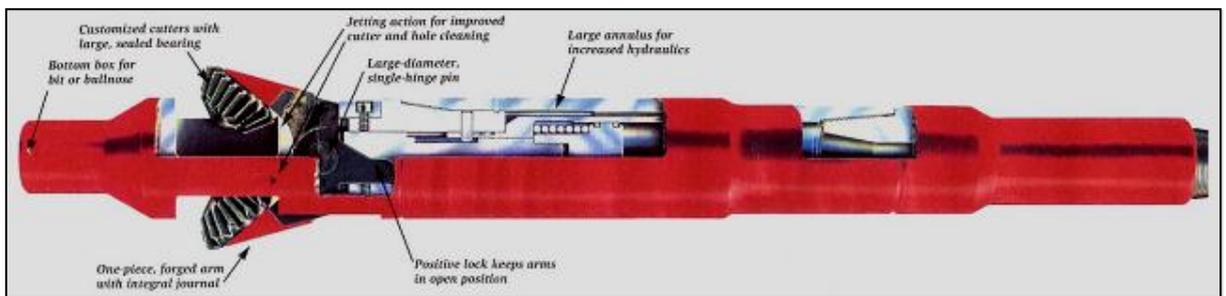


Figure II.9 : Elargisseur hydraulique.

### II .7.Aléseurs

Les aléseurs constitués généralement des rouleaux dont la surface est abrasive, montés autour d'un corps tubulaire. Le nombre de rouleaux varie de deux à six. Ils sont usinés ou fabriqués avec des revêtements différents permettant de s'adapter aux formations traversées (dents d'acier ou boutons de carbure de tungstène).

L'utilisation principale des aléseurs à rouleaux est de maintenir le diamètre d'un trou ayant tendance à se resserrer. Créant moins de torque que les stabilisateurs à lames et étant moins endommageant pour la paroi du trou, ils sont quelquefois utilisés pour centrer la garniture dans le trou.

Pour ces mêmes raisons ils sont quelquefois utilisés en position "near-bit" en lieu et place d'un stabilisateur.

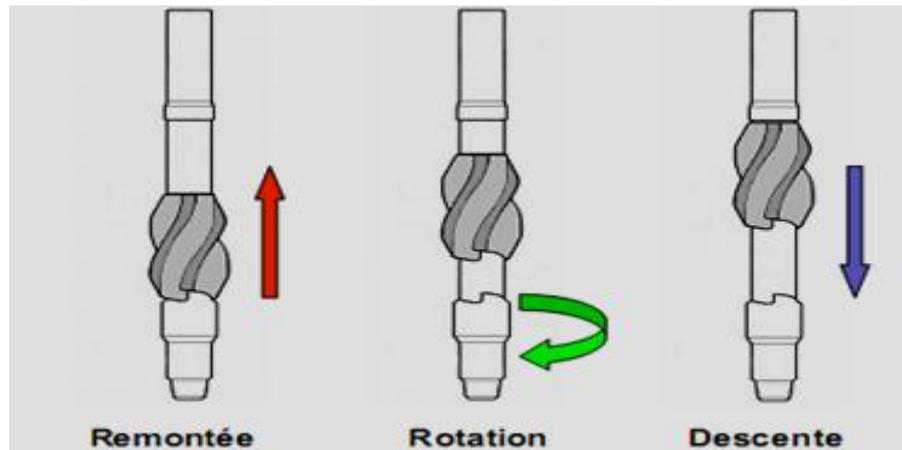


Figure II.10 : Orientation avec un alésoir de Key Seat.

## II.8.Coulisses de battage

Une coulisse de forage est un élément de garniture à longueur variable. Elle dispose pour cela d'une course libre ou libérable. Dans le cas où la garniture est coincée sous la coulisse, cette dernière permet de développer une force d'impact à partir de l'énergie potentielle que représente la garniture libre au-dessus (libre relativement à la course d'ouverture). Cette force, susceptible de libérer la partie coincée, peut être appliquée vers le haut ou vers le bas. Dans ce but, les constructeurs ont étudié divers systèmes, et cela a donné naissance à plusieurs familles de coulisses de forage.

La coulisse est considérée comme un trait d'union entre la garniture libre et la garniture coincée, constitué de deux pièces coulissant l'une dans l'autre : celle de plus faible diamètre appelée "mandrin" et celle de plus fort diamètre appelée "corps de coulisse". [1]

Les coulisses de forage sont systématiquement recommandées dans :

- tous les puits d'exploration (offshore ou onshore).
- tous les puits de forage dirigé.
- les puits où il y a un risque de coincement en développement. [4]

Les coulisses, suivant leur position dans le train de tiges, peuvent être descendues soit en tension soit en compression. Mais certains outils ne peuvent être utilisés qu'en tension, ce qui oblige à les placer très haut dans le train de tiges, au détriment de l'efficacité de battage et avec des risques de coincement accrus dus à la plus grande longueur des masses-tiges.

Du fait que les coulisses ne peuvent pratiquement pas résoudre les coincements par pression différentielle, mais par contre sont très efficaces en cas de coincement à l'outil ou aux stabilisateurs, la meilleure position de la coulisse est en compression à une masse-tige au-dessus du dernier stabilisateur, surmontée d'autres masse-tiges et tiges lourdes. Dans les cas des puits difficiles risquent de coincement à l'outil et en haut de l'assemblage de fond on peut être amené à descendre une deuxième coulisse en haut des masse-tiges. Pour éviter un double battage on règle le déclenchement à des tensions différentes, si les modèles utilisés le permettent.

Les positions à éviter sont :

- aux nœuds, entre masse-tiges et tiges lourdes ou tiges, car l'effet de battage est considérablement amorti.
- dans la zone du point neutre, ce qui entraînerait sa destruction rapide.

De nombreuses coulisses sont disponibles sur le marché. Parmi les coulisses de forage les plus utilisées on peut citer : l'EARTHQUAKER, la DAILEY pour les coulisses mécaniques. La JARCO, la MASON, la BOWEN pour les coulisses hydrauliques. Il y a aussi des coulisses hydromécaniques. [4]



Figure II.11 : Coulisses de battage.

## II.9. Amortisseur de vibration

Le but des amortisseurs de vibrations est de diminuer ou d'éliminer les vibrations axiales du train de tiges. Leur utilisation augmente la durée de vie des outils de forage et celle des composants du train de tiges. [4]

Ils consistent en un mandrin cannelé transmettant le couple par l'intermédiaire du tube extérieur, les vibrations étant absorbées par le tube intérieur relié à une série de ressorts à disques d'acier. Ce système travaille aussi bien en traction qu'en compression. Ils doivent être positionnés le plus près possible de l'outil de forage.

La plupart des constructeurs recommandent de positionner l'amortisseur de vibrations directement au-dessus de l'outil. Dans des cas spéciaux il peut être positionné entre le stabilisateur de l'outil et le stabilisateur suivant, avec une distance maximum de 9 m du tricône.

Dans l'absence d'amortisseur de vibration, il est possible d'atténuer les chocs en :

- variant la vitesse de rotation.
- augmentant la longueur des masse-tiges. [4]

## **II.10.Outils de forage**

### **II.10.1.Outils à molette (roller bits)**

Un tricône est constitué de 3 bras forgés, usinés avec leurs tourillons, qui subissent ensuite un traitement thermique et sont assemblés par soudure.

Les molettes (cônes), usinées et traitées thermiquement à part, sont montées sur les tourillons après la mise en place des galets avec leur cage. Elles sont maintenues sur les tourillons par un rangé de billes, glissés par un canal percé dans le bras, qui sera bouché et soudé une fois toutes les billes en place, ou par une bague à ressort.

Les molettes d'un outil ne sont pas identiques : la première possède une pointe (nez) qui occupe le centre, et les molettes 2 et 3 sont celles qui viennent après, dans le sens des aiguilles d'une montre, en leur faisant face.

Les dents [teeth] peuvent être usinées directement dans la molette ou des pastilles en carbure de tungstène serties dans des trous percés sur la molette.

Dans les formations dures, les outils à pastilles en carbure de tungstène [carbide bits] et à paliers de friction ont une durée de vie plus longue que les outils à dents fraisées et roulements à rouleaux. [2]



Figure II.12 : Outil tricone



Figure II.13 : Molette

### II.10.2. Outils à diamant (diamond bits)

Le diamant (carbone cristallisé) est le matériau le plus dur que l'on connaisse parmi les minéraux. Sa résistance à l'écrasement est de l'ordre de 80 000 bar (carbure de tungstène : 50 000 bar). [2]

La mise en action de l'élément de coupe d'un outil à diamant nécessite en premier, un effort d'écrasement entraînant la pénétration dans la formation. Les taillants soulèvent les copeaux ce qui contribue à un meilleur nettoyage de front de taille, ce qui évite le bourrage de l'outil et avoir des vitesses d'avancement maximales. [2]



Figure II.14 : Outil diamant

# CHAPITRE III

*Les différentes forces  
et phénomènes aux  
quel soumise la  
garniture de forage*

### III. Différentes forces et phénomènes aux quels soumise la garniture

Les propriétés mécaniques pour une pièce d'acier dépendent essentiellement de la composition chimique de l'acier qui la forme et des traitements thermiques que la pièce métallique aura subie après sa mise en forme.

#### III.1. Force de gravité

La gravité terrestre agit sur les éléments du train de tiges, avec des effets utiles ou négatifs

- elles permettent de pousser l'outil de forage.
- elles contribuent aux frottements dans les puits déviés. [5]

#### III.2. Flottabilité

Selon la loi d'Archimède, tout corps plongé dans un liquide pèse moins lourd que dans l'air. Mais si le corps est creux (train de sonde) et si les pressions intérieures et extérieures diffèrent (conditions en forage) un autre facteur de flottabilité doit être employé.

Le coefficient de flottabilité permet de calculer directement le poids apparent d'une garniture dans un fluide de densité  $d_f$ . Le poids apparent d'une garniture dans la boue est égal au poids réel de cette garniture dans l'air multiplié par le coefficient de flottabilité  $k$ . [4]

$K=1-(d_b /d_a)$      $d_b$  : densité de la boue.     $d_a$  : densité de l'acier.

#### III .3.Efforts de traction

Lorsque l'on exerce une traction  $T$  sur une barre de section  $S$ , la contrainte de traction  $\sigma$  produite à l'intérieur de la barre est :

$$\sigma = \frac{T}{S} \quad (III.1)$$

$T$  : Traction exercée sur la barre, en **N**.

$S$  : Section de la barre, en **m<sup>2</sup>**.

$\sigma$  : Contrainte exercée sur la barre, en **Pa**.

Si l'on ne veut pas déformer une tige de grade donné, la contrainte maximale de traction que l'on peut appliquer sera égale à la limite élastique minimale de l'acier correspondant.

La traction maximale applicable sur une tige est donnée par la formule suivante :

$$T_{\max} = \sigma_{e \min} \cdot S \quad (\text{III.2})$$

**T<sub>max</sub>** : Tension maximale applicable sur la tige, en **N**.

**σ<sub>e min</sub>** : Limite élastique minimale de l'acier utilisé, en **Pa**.

**S** : Section minimale de la tige, en **m<sup>2</sup>**.

Le formulaire du foreur donne les valeurs de **T<sub>max</sub>** en fonction du grade d'acier, des dimensions nominales des tiges, du poids nominal et de l'usure (classe) des tiges. Puisque la valeur de la limite élastique choisie par l'API produit un allongement permanent de l'ordre de 0.5 %. [8]

La limite élastique est le niveau de contraintes au dessus duquel des déformations permanentes seront présentes dans le matériau. La capacité de charge normale d'un élément du train de tiges est la charge qui engendrera un niveau de contraintes égale à la limite élastique spécifique de l'élément. [4]

Les limites élastiques minimales des différents aciers utilisés sont données ci-après:

- grade D : 37,9 hbar ou 55 000 psi.
- grade E : 51,7 hbar ou 75 000 psi.
- grade X : 65,5 hbar ou 95 000 psi.
- grade G : 72,4 hbar ou 105 000 psi.
- grade S : 93,0 hbar ou 135 000 psi.

Pour une tige de diamètre extérieur et de poids nominal donnés, la tension à la limite élastique est égale au produit de la limite élastique minimale par la section du corps de la tige.

$$T = 10 \cdot \sigma_0 \cdot S$$

Où : T : tension à la limite élastique (103 x daN).

σ<sub>0</sub> : limite élastique minimale (hbar).

S : section du corps de la tige (cm<sup>2</sup>).

La diminution de section due à l'usure entraîne une réduction de la tension à la limite élastique.

CLASSE (1)	USURE UNIFORME	SECTION (cm <sup>2</sup> )	LIMITE ELASTIQUE MINIMALE (hbar)	TENSION LIMITE ELASTIQUE (103 daN)
I	0	34.03	51.7	176
S	20%	26.79	51.7	138.5
II	30%	26.79	51.7	138.5
III	37.5%	20.66	51.7	107

Tableau III.1 : Effet de l'usure sur la tension à la limite élastique (Tiges 5", 19.5 lbs/ft, Grade E).

Les calculs ont été réalisés pour une usure uniforme. [1]

#### III .4.Forces de pression

##### III .4.1Eclatement

L'API utilise la formule de **BARLOW** qui donne la pression intérieure maximale **P<sub>i max</sub>** pour que la contrainte interne à la paroi du tube ne dépasse pas la limite élastique  $\sigma_{e min}$  . Pour les tiges de classe I, la formule est :

$$P_{i max} = 0,875 \cdot \left( \frac{2 \cdot \sigma_{e min} \cdot e}{D} \right) \quad (III.3)$$

**e** : Épaisseur nominale du corps de la tige.

**D** : Diamètre nominal extérieur du corps de la tige.

Le facteur 0.875 provient d'une tolérance à la fabrication de 12.5 % sur l'épaisseur des tiges neuves. Pour les autres classes, la formule est :

$$P_{i max} = 2 \cdot \frac{\sigma_{e min} \cdot e}{D} \quad (III.4)$$

Il est recommandé de limiter la pression appliquée (ou différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur) à l'extérieur de la tige à 90 % de la pression maximum admissible **P<sub>i max</sub>**. [8]

**III .4.2.Ecrasement**

Plusieurs formules permettant de déterminer la valeur maximale de la pression extérieure que l'on peut exercer sur le corps d'un tube sont utilisées par l'API. La valeur du rapport **D / e** (**e** étant l'épaisseur nominale du corps de la tige et **D** le diamètre nominal du corps de ce tube) indique quelle formule doit être employée.

- La première formule est :

$$P_{e \max} = 2 \cdot \sigma_{e \min} \cdot \left( \frac{(D / e) - 1}{(D / e)^2} \right) \quad (III.5)$$

Cette formule s'applique lorsque le rapport **D / e** est :

- inférieur ou égal à 13.67 pour les tiges de grade E.
  - inférieur ou égal à 12.83 pour les tiges de grade X 95.
  - inférieur ou égal à 12.56 pour les tiges de grade G 105.
  - inférieur ou égal à 11.90 pour les tiges de grade S 135.
- La seconde formule est :

$$P_{e \max} = \sigma_{e \min} \cdot \left( \frac{A'}{(D / e)} - B' \right) - C \quad (III.6)$$

Les valeurs de A', B', C et du rapport D / e sont données dans le tableau suivant.

Grade	A'	B'	C	D / e
E	3.060	0.0642	1 805	de 13.67 à 23.09
X 95	3.125	0.0745	2 405	de 12.83 à 21.21
G 105	3.162	0.0795	2 700	de 12.56 à 20.66
S 135	3.280	0.0945	3 600	de 11.90 à 19.14

Tableau III.2: Valeurs à utiliser dans la formule (III.6).

- La troisième formule est :

$$P_{e \max} = \sigma_{e \min} \cdot \left( \frac{A}{(D / e)} - B \right) \quad (III.7)$$

### Chapitre III : Les différentes forces et phénomènes aux quels soumise GDF

---

Les valeurs de A, B et D / e sont données dans le tableau suivant.

Grade	A	B	D / e
E	1.985	0.0417	de 23.09 à 32.05
X 95	2.047	0.490	de 21.21 à 28.25
G 105	2.052	0.0515	de 20.66 à 26.88
S 135	2.129	0.0613	de 19.14 à 23.42

Tableau III.3 : Valeurs à utiliser dans la formule (III.7).

- La dernière formule utilisée est :

$$P_{e \max} = \frac{46.95 \cdot 10^6}{(D / e) \cdot [(D / e) - 1]} \quad (III.8)$$

Cette formule s'applique lorsque le rapport **D / e** est :

- supérieur ou égal à 32.05 pour les tiges de grade E.
- supérieur ou égal à 28.25 pour les tiges de grade X 95.
- supérieur ou égal à 26.88 pour les tiges de grade G 105.
- supérieur ou égal à 23.42 pour les tiges de grade S 135.

#### Remarque :

Dans les 4 formules précédentes, **P<sub>e max</sub>** et **σ<sub>e min</sub>** sont exprimées en **psi**, **D** et **e** en **pouces**.

La pression d'écrasement pour les tiges déjà utilisées (diamètre et épaisseur inférieurs aux valeurs nominales) est calculée en ajustant le diamètre extérieur nominal **D** et l'épaisseur nominale **e** comme si l'usure était uniforme sur l'extérieur et nulle sur le diamètre intérieur. Les valeurs de **e** pour chaque classe de tige sont données ci-après. Ces valeurs permettront de choisir l'une des 4 formules précédentes et de calculer la valeur de la pression extérieure maximale.

- Pour les tiges de classe Premium (S), **e** sera pris égal à 80 % de l'épaisseur nominale.
- Pour les tiges de classe II, **e** sera pris égal à 70 % de l'épaisseur nominale.

La résistance à l'écrasement est à prendre en compte lors de tests des BOP et de tests de formation (DST).

**Remarque :** Comme dans le cas de l'éclatement, c'est la différence de pression existant entre l'extérieur et l'intérieur de la tige qu'il faut prendre en considération.

Il est recommandé de limiter la pression appliquée (ou différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur) à l'intérieur de la tige à 90 % de la pression maximum admissible  $P_e \text{ max}$ .

Le corps de la tige limite la pression d'écrasement que l'on peut appliquer sur cette tige. [8]

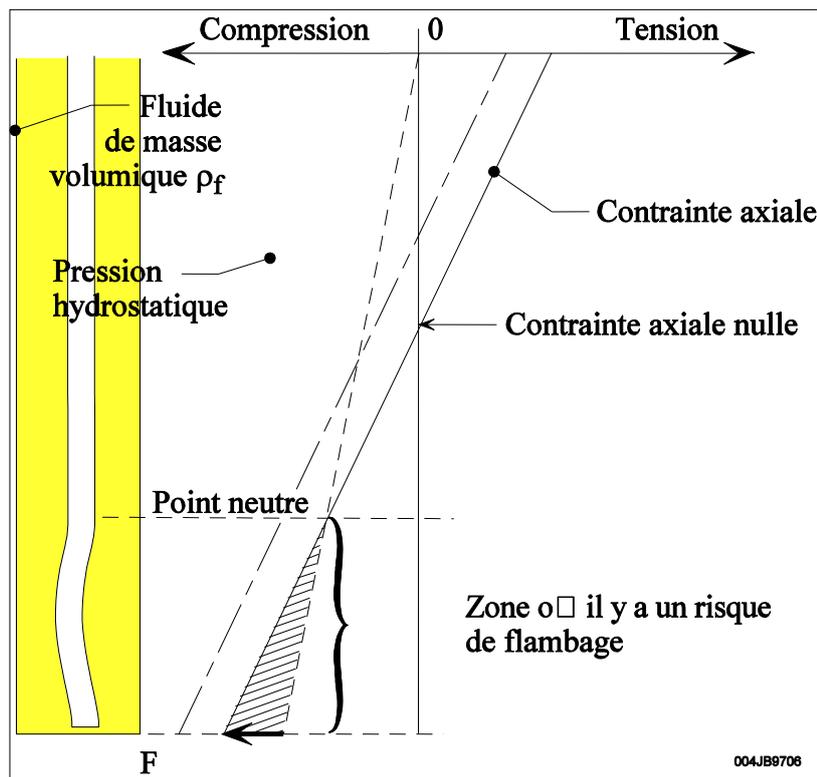


Figure III.1: Répartition des contraintes dans le train de tiges.

#### III.5. Allongement de la garniture de forage

Le train de tiges en outre, placé dans les conditions de fond, s'allonge sous l'action de son propre poids, du poids des masse-tiges et de la température. Cet allongement peut lui aussi atteindre plusieurs mètres.

Pour toutes ces raisons, il est irréaliste de penser que le géologue puisse déterminer avec précision à partir des chiffres donnés par les foreurs la côte des formations forées et surtout établir des corrélations précises avec d'autres puits. Il utilisera plutôt la mesure plus précise réalisée à l'aide d'un câble électrique lors de la réalisation des diagraphies, où la mesure des profondeurs est corrigée, pour tenir compte des allongements.

L'allongement de la garniture  $\Delta L_1$  produit sous l'action du poids des tiges et de la boue est donné par :

$$\Delta L_1 = \frac{L^2}{2E} [\rho_a - 2\rho_f(1 - \nu)] \cdot g \quad (\text{III.9})$$

$\Delta L_1$  : Allongement de la garniture, en **m**.

**L** : Longueur de tiges, en **m**.

$\rho_a$  : Masse volumique de l'acier (**7850 kg / m<sup>3</sup>**).

$\rho_f$  : Masse volumique du fluide de forage dans le puits, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**E** : Module de Young de l'acier, en **Pa** (de **200 000** à **220 000 MPa**).

$\nu$  : Coefficient de Poisson (**0.3** pour l'acier).

**g** : Accélération de la pesanteur égale à **9.81 m / s<sup>2</sup>**.

L'allongement  $\Delta L_2$ , exprimé en **m**, dû à la température est donné par la formule suivante:

$$\Delta L_2 = 11,8 \cdot 10^{-6} \cdot L \cdot \Delta t \quad (\text{III.10})$$

$\Delta t$  : Variation de la température entre la surface et l'extrémité inférieure des tiges, en **°C**.

L'allongement total  $\Delta L$  de la garniture est égal à  $(\Delta L_1 + \Delta L_2)$ . [1]

#### III.6. Torsion

Lorsque l'on exerce un couple de torsion **M** (en fait, **M** est le moment du couple de torsion) sur une barre métallique de rayon **R**. la contrainte de torsion  $\tau$  exercée sur cette barre est :

$$\tau = \frac{\mathbf{M}}{\left( \frac{\mathbf{J}}{\mathbf{R}} \right)} \quad (\text{III.11})$$

$\sigma_{e \min}$  : Contrainte de torsion, en **Pa**.

**M** : Moment du couple de torsion, en **N.m**.

**R** : Rayon de la barre, en **m**.

**J** : Moment d'inertie polaire de la barre, en **m<sup>4</sup>**.

Pour une barre creuse comme les tiges de forage, le moment d'inertie polaire est :

$$\mathbf{J} = \frac{\pi}{2} (\mathbf{R}_e^4 - \mathbf{R}_i^4) \quad (\text{III.12})$$

$R_e$  : Rayon extérieur de la barre, en **m**.

$R_i$  : Rayon intérieur de la barre, en **m**.

La contrainte de torsion est maximale sur la surface extérieure de la barre. C'est cette valeur que l'on considère dans le cas des tiges de forage, d'où :

$$\tau_{\max} = \frac{M}{\left(\frac{J}{R_e}\right)} \quad (\text{III.13})$$

$$\frac{J}{R_e} = \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{R_e^4 - R_i^4}{R_e}\right) \text{ S'appelle module polaire de section transversale.}$$

La contrainte de torsion maximale est toujours inférieure à la limite élastique. Les différentes théories expliquant le cisaillement conduisent à des valeurs du rapport  $\frac{\sigma_{e \min}}{\tau_{\max}}$  comprises entre 1.33 et 2. L'API a choisi  $\sqrt{3}$  comme valeur.

Avec cette valeur, le couple de torsion maximum applicable sur une tige est :

$$\boxed{M_{\max} = 0.577 \cdot \sigma_{e \min} \cdot \left(\frac{J}{R_e}\right)} \quad (\text{III.14})$$

$\sigma_{e \min}$  : Limite élastique minimale de l'acier utilisé, en **Pa**.

$M_{\max}$  : Moment du couple de torsion maximal, en **N.m**.

La valeur du couple de torsion maximal que l'on peut appliquer sur le corps d'une tige est donné dans le formulaire du foreur en fonction du grade et de la classe d'usure (voir caractéristiques mécaniques des tiges de forage).

#### Remarque :

Nous avons mentionné que la valeur de  $\sigma_{e \min}$  utilisée par l'API entraîne une déformation permanente de l'ordre de 0.5 %. On peut penser que la valeur du couple de torsion maximal définie par la relation (2.7) produit une déformation de la tige. Donc, il est préférable de limiter le moment du couple de torsion à 90 % de cette valeur.

### Chapitre III : Les différentes forces et phénomènes aux quels soumise GDF

---

Mais nous avons vu que le couple maximum que l'on peut appliquer sur une tige est le couple de serrage de la connexion qui est bien inférieur à la valeur du couple admissible sur le corps de la tige. Donc, en général, le corps des tiges travaille loin du couple de torsion maximum admissible.

Si l'on exprime la déformation angulaire en nombre de tours, la relation précédente s'écrit :

$$N = \frac{L \cdot M}{\pi^2 \cdot G \cdot \left( R_e^4 - R_i^4 \right)} \quad (\text{III.15})$$

**M** : Moment du couple de torsion, en **N.m**.

**L** : Longueur de tiges soumise au couple **M**, en **m**.

**G** : Module d'élasticité transversal, en **Pa**

(pour l'acier, ce module est égal à 0.4 **E**, ce qui correspond à une valeur d'environ 78 000 MPa).

**J** : Moment d'inertie polaire de la tige, en **m<sup>4</sup>**.

**N** : Nombre de tours.

La résistance du train de tiges à la torsion devient critique en cours de forage de puits profonds, d'alésage du trou et quand la garniture est coincée. [8]

#### III .7.Chocs

Les chocs se produisent quand le train de tiges est arrêté ou dégagé brutalement.

Ces chocs créent des contraintes qui se transmettent à travers les tiges. Elles affectent une partie de la tige pendant un temps très court.

Combiné ou non avec d'autres efforts (tension, écrasement, flexion, etc...), la résultante peut conduire à la rupture. La force consécutive à un choc est donnée par l'équation:

$$F_k = 1040 \cdot m_L \cdot V \quad (\text{III.16})$$

**F<sub>k</sub>** : Force due au choc (Kgf).

**m<sub>L</sub>** : masse linéaire d'une partie de la garniture dans l'air (Kg/m).

**V** : Vitesse moyenne du train de tiges (m/s).

Cette équation est établie en supposant que le poids nominal est proportionnel à la section de l'élément (c'est vrai pour les masse-tiges et la plupart des tubages avec moins de 2% d'erreur).

[5]

### III.8. Vibrations

L'interprétation des phénomènes dynamiques de la garniture de forage est très difficile. Cela tient non seulement à la difficulté de résolution des équations mathématiques auxquelles les hypothèses conduisent, mais encore à la définition précise de ces hypothèses, compte tenu de la multitude des contacts fugitifs et très mal connus entre la garniture et le terrain. On peut, cependant, grouper ces phénomènes en trois catégories :

- des vibrations transversales (comme une corde vibrante).
- des vibrations longitudinales (type ressort pendulaire).
- des vibrations de torsions.

Dans chaque cas, une vitesse de rotation donnée engendre des vibrations de fréquence déterminée. Lorsque cette fréquence devient égale à la fréquence fondamentale de vibration naturelle de la garniture ou à celle d'un de ses harmoniques, l'amplitude des vibrations au sein de la garniture s'accroît considérablement : il y a résonance. La vitesse de rotation qui produit la résonance est appelée vitesse critique. [1]

#### III.8. 1. Vibrations transversales

Il s'agit des vibrations pour lesquelles le mouvement se fait perpendiculairement à l'axe du train de tiges. Le phénomène de "précession" (whirl) peut se déclencher lorsque l'amplitude de ces vibrations devient considérable. Le whirl se produit lorsque les tiges voient leur centre s'écarter de l'axe du puits, et qu'en plus de tourner sur elles mêmes (rotation propre), elles tournent autour du puits (précession).

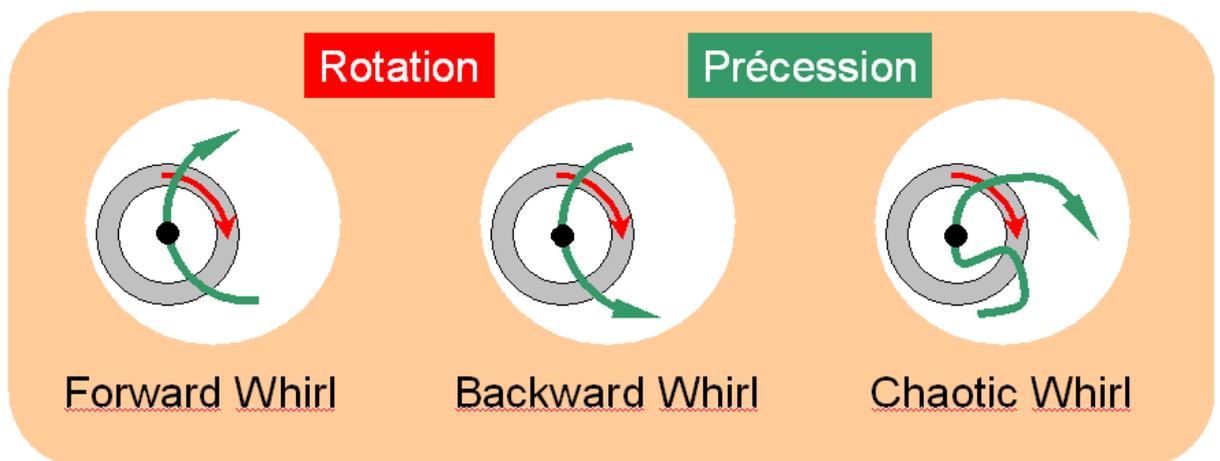


Figure III.2: Différents types de whirl.

On peut distinguer plusieurs types de whirl (figure III.2):

- Forward whirl: La précession est synchrone i.e. la rotation autour du puits se fait dans le même sens que la rotation propre.

### Chapitre III : Les différentes forces et phénomènes aux quels soumise GDF

- Backward whirl: La précession est inverse i.e. la rotation autour du puits se fait dans le sens inverse de la rotation propre. La tige se met donc à rouler sur la paroi du puits. Le roulement peut être avec ou sans glissement.

- Chaotic whirl: Mélange chaotique des deux précédents types de whirl. [11]

Les vitesses critiques sont données à  $\pm 15\%$  près par la formule suivante :

$$f = 1200 \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2} \quad (\text{III, 17})$$

Dans laquelle :

**N<sub>c</sub>** : est la vitesse de rotation critique (t/mn). **D** : le diamètre extérieur de la tige (pouces).

**D** : le diamètre intérieur (pouces). **l** : la longueur d'une tige (m).

Les plages critiques sont données dans le tableau ci-dessous : [1]

Diamètre nominal des tiges (pouce)	Plages de vitesses de rotation critiques (tr/mn)
2"3/8	95 ←(110) →125
2"7/8	110←(130) →150
3"1/2	135←(160) →185
4"	160←(185) → 210
4"1/2	180←(210) →240
5"	200←(235) → 270
5"1/2	220←(260) → 300

Tableau III.4: Des plages des vitesses de rotation critique.

#### III.8.2. Vibrations de torsion

Les vibrations de torsion se manifestent sous la forme d'un phénomène d'adhérence glissement dénommé **stick-slip**. Le stick slip est une vibration de torsion qui provoque des arrêts cycliques de l'outil sur des périodes pouvant représenter jusqu'à 50% du temps de forage. Pendant ces périodes d'arrêt, les tiges, entraînés en rotation depuis la surface, sont mises en torsion grâce à leur élasticité propre. L'outil ne redémarrera que lorsque le couple au fond sera supérieur au couple de frottement statique. La détente des tiges provoque alors une forte accélération favorisée par le fait que le couple de frottement dynamique est inférieur au couple statique. La vitesse de rotation instantanée peut atteindre le triple, voire plus, de la vitesse de surface. Ceci permet une relaxation de la garniture. [11]

### III.8.3. Vibration longitudinale

Le mouvement se fait selon l'axe du train de tiges. Ces vibrations peuvent dégénérer dans certaines conditions en "rebond de l'outil" (bit bounce). Il s'agit d'un phénomène de rebonds successifs de l'outil de forage avec séparation périodique à l'interface outil-roche. Pour les outils tricônes, on a coutume d'associer le bit bounce à la présence d'un motif à l'interface outil-roche, dit motif trilobé.

Le phénomène de bit bounce se manifeste préférentiellement lorsqu'il y'a accord (dans un sens que l'on définira par la suite) entre la vitesse de rotation du train de tiges et une fréquence propre axiale du train de tiges. Le bit bounce peut engendrer le bouncing de surface, c'est à dire, l'entrée en résonance du système de suspension de la garniture en surface provoquant ainsi un mouvement alternatif en translation de forte amplitude. [11]

Il est donc essentiel d'éviter la résonance, c'est à dire, dans la mesure du possible, de soumettre la garniture à une vitesse de rotation très différente de la vitesse critique. Selon des mesures de fond réalisées pour un tricône, la fréquence des vibrations de l'outil est égale à trois fois la vitesse de rotation à la table.

Cette fréquence  $f$  en fonction de la vitesse de rotation est donc égale à :

$$f = \frac{3V_R}{60} = V_R/20 \quad (\text{III.18})$$

$f$  : fréquence naturelle de vibrations longitudinales en cycles/seconde.

$V_R$  : vitesse de rotation en tours/mn.

Si nous supposons que la partie inférieure du train de masse-tiges est fixe et que la partie supérieure est libre (supposée non solidaire du train de tiges), la fréquence naturelle de vibration longitudinale est donnée par l'équation :

$$f = 1284/L \quad (\text{III.19})$$

$L$  : longueur du train de masse-tiges en mètres.

La vitesse de rotation critique est obtenue lorsque les deux fréquences sont égales.

Donc : 
$$V_C = 25680/L \quad (\text{III.20})$$

Les mesures expérimentales et l'application des modèles mathématiques établis à partir de ces mesures montrent bien que cette vitesse critique établie à partir de la résonance du train de masse-tiges est celle qui produit les amplitudes d'oscillations maximum.

### Chapitre III : Les différentes forces et phénomènes aux quels soumise GDF

---

Cette vitesse critique ne dépendant que de la longueur du train de masse tiges, il est possible de la modifier et de s'éloigner ainsi de la zone dangereuse de résonance en augmentant ou en diminuant le nombre de masse-tiges.

La fréquence naturelle de vibration d'un train de masse-tiges équipé à sa base d'un amortisseur de vibrations est donnée en unités anglo-saxonnes par la formule :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (\text{III.21})$$

$f_n$  : Fréquence de vibration naturelle (cycles/seconde).

$K$  : Constante du ressort de l'amortisseur (lbs/ft).

$M$  : Masse des masse-tiges au dessus de l'amortisseur tel que  $M = \frac{L \cdot m_L}{g}$

$L$  : Longueur des masse-tiges (ft).

$m_L$  : Masse nominale des masse-tiges (lb/ft).

$g$  : Accélération de la pesanteur (32.2 ft/s<sup>2</sup>).

La fréquence dépend donc de la rigidité du ressort de l'amortisseur et du poids total dans l'air donc du diamètre et de la longueur des masse-tiges situées au-dessus de l'amortisseur. Diminuer la rigidité du ressort ou augmenter le poids des masse-tiges contribue à diminuer cette fréquence.

En conclusion, pour éviter de trop fortes vibrations dans la garniture lorsque l'on fore des formations dures, l'assemblage de fond peut être déterminé comme suit :

- déterminer la longueur du train de masse-tiges en fonction du poids désiré sur l'outil.
- estimer la vitesse critique en fonction de cette longueur.
- choisir une vitesse de rotation légèrement supérieure à cette vitesse critique.
- réduire la vitesse critique en ajoutant :
  - un amortisseur de vibration.
  - une ou deux longueurs de masse-tiges.
  - plusieurs longueurs de tiges lourdes. [1]

### III.9. Flambage

#### III.9.1. Description du phénomène

Lors de manœuvres et dans les puits ou les frottements sont conséquents, l'outil de forage descend plus lentement que les tiges de surface, entraînant une compression des éléments situés les plus bas. En réaction ces éléments ont alors tendance à occuper un maximum de place dans le trou et à décrire une courbe hélicoïdale.

Ce phénomène appelé "flambage" ou "flambage hélicoïdal " a de nombreuses conséquences et peut conduire à la rupture du train de tiges si le "flambage critique" est atteint.

Le flambage est donc un effort de compression et sera représenté comme tel, c'est à dire conventionnellement par des valeurs négatives. [5]

#### III.9.2. Charge critique

La charge critique est la valeur à laquelle le phénomène introduit un risque de déformation permanente dans les éléments du train de tiges et par conséquent un risque de rupture.

Ce phénomène a été étudié par de nombreux ingénieurs, avec des approches différentes, et plusieurs équations permettent d'évaluer cette valeur critique.

Deux des plus utilisées sont présentées ci-après: 
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_a}{L^2} \quad (\text{III.22})$$

**F<sub>cr</sub>**: Charge critique, en **N**.

**E**: Module de Young de l'acier en **Pa** (de **200 000** à **220 000 MPa**).

**L**: Longueur libre de flambage, qui dépend de la longueur réelle de la tige et du mode de fixation de ces extrémités, en **m**.

**I<sub>a</sub>**: Moment d'inertie de la section droite de la tige, en **m<sup>4</sup>**.

Le tableau suivant donne la charge critique calculée avec la formule d'Euler pour les principaux éléments de la garniture de forage. Le moment d'inertie est calculé en considérant les valeurs nominales des éléments de la garniture.

Dimensions du tubulaire ( <b>D<sub>e</sub> - D<sub>i</sub></b> ) exprimées en <b>pouces</b>	Charge critique exprimée en <b>kdaN</b>
DC 9 1/2 – 3	421.6
DC 8 1/2 – 3	268.7
DC 7 3/4 - 2 13/16	185.3
DC 6 3/4 - 2 13/16	105.3
DC 4 3/4 - 2 1/4	25.3
HWDP 5 – 3	28.5
DP 6 5/8 - 5.955	34.5
DP 5 - 4.276	15.2
DP 3 1/2 - 2.764	3.6

Tableau III.5: Charge critique pour différents éléments de la garniture.

Dans un puits vertical, si l'on utilise les tiges pour mettre du poids sur l'outil, elles vont flamber et risquent d'être endommagées. Pour éviter cela, A. Lubinsky a proposé dans les années 1950 d'utiliser des masses-tiges qui ont un moment d'inertie supérieur à celui des tiges de forage et donc une charge critique plus élevée.

### III.9.3. Garniture se trouvant dans la partie verticale du puits

$$F_{fl\ sin} = 2,55 (E \cdot I_a \cdot K^2 \cdot P^2)^{\frac{1}{3}} \quad (III.23)$$

$$F_{fl\ hl} = 5,55 (E \cdot I_a \cdot K^2 \cdot P^2)^{\frac{1}{3}} \quad (III.24)$$

**E**:Module de Young en **Pa**.

**F<sub>fl sin</sub>**:Force à appliquer sur la garniture pour produire le flambage sinusoïdal, en **N**.

**F<sub>fl hl</sub>**:Force à appliquer sur la garniture pour produire le flambage hélicoïdal, en **N**.

**I<sub>a</sub>**:Moment d'inertie de la section transversale, en **m<sup>4</sup>**.

**P**:Poids linéaire dans l'air de l'élément de garniture considéré, en **N/m**.

**k**:Facteur de flottabilité.

**i**:Inclinaison du puits mesurée à partir de la verticale, en **degré**.

**r**:Jeu radial entre le trou et la garniture (espace annulaire), en **m**,  $r = \frac{D_t - D_e}{2}$

**D<sub>t</sub>**:Diamètre du trou, en **m**.

$D_e$ :Diamètre extérieur de la garniture, en **m**. [5]

#### III.9.4.Point neutre

Il existe un point où la contrainte axiale est nulle (pas de traction, ni de compression), un point au-dessus duquel il n'y a pas de risque de flambage.

Le point neutre (ou section neutre) est défini de façon différente suivant les cas (garniture de forage ou tubing ancré dans un packer, fluides différents entre l'intérieur et l'extérieur du tube, etc.) et les auteurs.

On rencontre dans différents articles les définitions suivantes :

- C'est le point où la contrainte axiale change de signe (passage d'un état de compression à un état de tension).
- Pour **Lubinsky**, c'est le point qui divise la garniture en deux : le poids de la partie supérieure est suspendu à l'élévateur et le poids de la partie inférieure est égal à la force appliquée sur le fond.
- C'est le point où la contrainte axiale est égale à la demi-somme de la contrainte radiale et de la contrainte tangentielle.
- C'est le point où les contraintes axiale, radiale et tangentielle sont égales.
- C'est le point où la contrainte axiale est égale à la pression hydrostatique.

Dans le cas général, la relation donnant la position **n** du point neutre (point au dessus duquel le flambage ne peut pas se produire) peut s'écrire :

$$n = \frac{F}{P_m - (\rho_{f\ e a} \cdot S_e - \rho_{f\ i} \cdot S_i) \cdot g} \quad (III.25)$$

**n** : Hauteur du point neutre définie à partir de l'extrémité inférieure de la garniture, en **m**.

**F** : Force appliquée sur le fond, en **N**.

**P<sub>m</sub>** : Poids moyen au mètre dans l'air du tubulaire se trouvant sous le point neutre, en **N / m**.

**ρ<sub>f i</sub>** : Masse volumique du fluide à l'intérieur de la garniture, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**ρ<sub>f e a</sub>** : Masse volumique du fluide se trouvant à l'extérieur de la garniture, en **kg / m<sup>3</sup>**.

**S<sub>i</sub>** : Section intérieure de la garniture, en **m<sup>2</sup>**.

**S<sub>e</sub>** : Section extérieure de la garniture (espace annulaire), en **m<sup>2</sup>**.

**g** : Accélération de la pesanteur égale **9.81 m / s<sup>2</sup>**.

Lorsque la garniture de fond applique sur l'outil un poids  $P_0$ , la relation devient :

$$n = \frac{P_0}{P_m - \rho_f \cdot S \cdot g} \quad (\text{III.26})$$

La densité de la boue de forage est la même à l'intérieur des tiges et dans l'espace annulaire si on élimine l'effet des déblais.

Le poids au mètre dans l'air des masses-tiges se trouvant sous le point neutre est :

$$P_m = \rho_a \cdot S \cdot g \quad (\text{III.27})$$

Donc la première équation devient comme suite :  $n = \frac{P_0}{K \cdot S \cdot g}$

Tel que **K** : coefficient de flottabilité. [8]

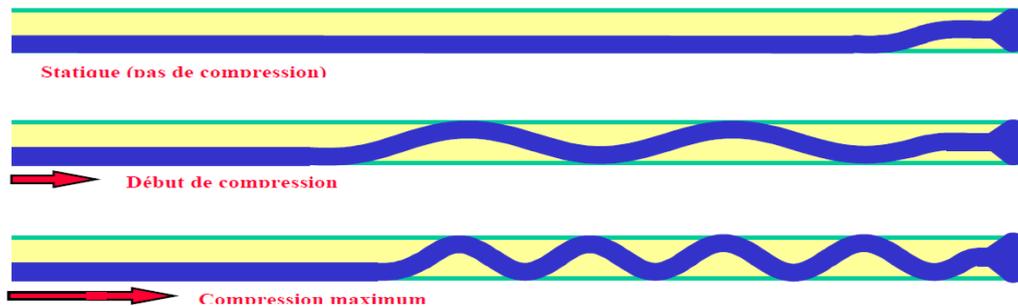


Figure III.3: Développement de flambage.

#### III.10.Frottements (frictions)

La friction est la résistance au mouvement qui se manifeste lorsqu'une masse est déplacée par une force sur une surface, ou bien qu'une tentative de déplacement est effectuée. Lors des calculs des frottements on a besoin des coefficients de friction qui constituent la clé d'un calcul de T&D. Ils caractérisent l'interaction des surfaces de contact de deux éléments, mais en forage ils dépendent également des caractéristiques de la boue, état du tubage et revêtement intérieur, type de formation traversée, conditions du trou et état des parois.

Pour calculer les pertes de couple et frottements axiaux théoriques, il est nécessaire de définir le profil de tension du train de sonde ainsi que les forces latérales agissant à chaque point de contact avec les parois. Les pertes de couples (torque losses) et les frottements axiaux (drag) sont le résultat des frictions engendrées par ces forces latérales. [4]

### III.10.1. Force Latérale (Side Force SF)

Si le puits est parfaitement rectiligne, sans variation d'azimut ou d'inclinaison, la force latérale agissant sur un élément est simplement la composante du poids immergé  $W$  de cet élément selon la perpendiculaire à l'axe du puits.

$$SF = W \cdot \sin i \quad (III.28)$$

$SF$  : la force latérale.       $W$  : le poids d'une partie de la garniture.

$i$  : l'inclinaison du puits. [4]

### III.10.2. Force de friction en rotation

Si la tige est seulement soumise à la rotation sans glisser, la force latérale  $SF$  va créer une force de friction qui va s'opposer à la rotation.

La perte de couple  $TL$  (Torque Losse) pour chaque élément est donnée par :

$$\Delta TL = R \cdot \mu_r \cdot SF \quad (III.29)$$

$\Delta TL$  : incrément de couple causé par l'élément.

$R$  : rayon de courbure effectif de l'élément.

$\mu_r$  : coefficient de friction rotatoire. [5]

### III.11. Fatigue

Par une usure du corps conduisant à l'apparition de criques (washout).

Les tige de forage fatiguent quand elles tournent dans des trous ayant des courbures importantes ou de nombreux dog legs. Il est alors recommandé d'éviter les rotations rapides en étant dégagé du fond.

La plupart des ruptures de tiges sont le résultat direct de leur fatigue.

Le risque de fatigue dépend:

- des efforts de traction dans la tige de forage qui se trouve au niveau du dog leg.
- de la sévérité du dog leg.
- de l'usure de la tige de forage.
- des caractéristiques mécaniques de la tige de forage.

### **III.12. Corrosion**

La corrosion résulte de l'action chimique des fluides rencontrés, fluide de forage ou fluides de formation.

L'hydrogène sulfureux (H<sub>2</sub>S), le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), l'oxygène (O<sub>2</sub>) peuvent réduire considérablement la durée de vie des éléments du train de tiges. [5]

### **III.13. Abrasion et érosion**

L'abrasion et l'érosion résultent des frictions entre les éléments du train de tiges et les autres composantes du puits:

- frictions entre parties métalliques (usure du tubage due aux joints des tiges de forage)
- frictions entre le train de tiges et le puits (usure des joints et des corps)
- frictions entre le train de tiges et les solides contenus dans le fluide de forage.

Pour déminer l'abrasion des tiges de forage on doit :

- Réduire les dog legs au maximum et lisser le profil du puits autant que faire ce peut.
- Diminuer le pourcentage de sables et de silts dans la boue car ce sont des matériaux abrasifs.
- Utiliser des protecteurs de tubage en caoutchouc dans la partie tubée. [5]

# *CHAPITRE IV*

*Etude de cas puits*

*OMI373*

## Chapitre IV:Etude de cas puits OMI 373

L'objectif de forer cette formation est :

- Forage jusqu'au repère **G35@ 3327m** TVD dans les argiles du Trias Argileux.
- Tubage 9 " 5/8 @ **3327m** TVD de profondeur.
- Cimentation du tubage 9"5/8 de façon à couvrir **200 m** au-dessus du sabot 13"3/8.

### IV.1.Programme de forage pour la phase 12"1/4

#### IV.1.1.Programme d'outil

HOLE SIZE	PRIMARY	BACK-UP
12"1/4	PDC New: R813DGX (VAREL)	PDC RR: R616SP2DHXU(VAREL) MT RR: SB117 (SMITH)

Tableau IV. 1 : Programme d'outil pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.

#### IV.1.2.Composition de BHA

ITEM	Joints	OD[in]	ID[in]	Length[m]	Weight[kg /m]	Connection
12 1/4" PDC Bit	1	12.25		0.3		7 5/8" REG
NB Stabilizer 12 3/16"	1	12.19	3.00	2.4	323.2	7 5/8" REG
9 1/2 " Short Drill Collar	1	9.50	3.00	3.6	323.2	7 5/8" REG
Stabilizer 12 3/16"	1	12.19	3.00	2.4	323.2	7 5/8" REG
9 1/2 " Drill Collar	1	9.50	3.00	9	323.2	7 5/8" REG
Stabilizer 12 3/16"	1	12.19	3.00	2.4	323.2	7 5/8" REG
9 1/2 " Drill Collar	2	9.50	3.00	9	323.2	7 5/8" REG
XO 9.5"X8"	1	9.50	3.00	1	323.2	
8" Drill Collar	9	8.00	2.81	81	223.04	6 5/8" REG
8" Hydraulic jar	1	8.00	2.75	9.20	223.04	6 5/8" REG
8" Drill Collar	2	8.00	2.81	18	223.04	6 5/8" REG
XO	1	8.00	2.81	1	223.04	
5" Heavy weight	12	5"	3"	108	74.28	4 1/2 "IF

Tableau IV. 2 : Composition de BHA pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.

## Chapitre IV:Etude de cas puits OMI 373

Les tiges utilisées dans le puits OMI 373 ayant les caractéristique suivantes :

**5" 19.5# G IEU NC 50 TJ 6<sup>1/2</sup>"**

Drill pipe				Tool joint		
OD(in)	ID(in)	Weight (lb.ft)	grade	type	OD(in)	Upset
5	4.276	19.5	G	NC50	6 <sup>1/2</sup>	IEU

Tableau IV. 3 : Caractéristiques des tiges utilisées dans la phase 12"1/4 du puits OMI 373.

### IV.1.3.Programme de boue

Propriétés	12 1/4 Section
Mus system	OBM
MWsg	2.06 before LD2
YP, lb/100 ft <sup>2</sup>	10 – 14
HPHT FL ML	< 10
EST MV	> 1000
O/W Ratio	85/15 - 90/10
LGS %	< 5
Flow rate	2400

Tableau IV. 4 : Programme de boue pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.

- **Paramètres de forage**

La phase est réalisée par les paramètres suivants :

Paramètres	WOB (t)	RPM (tr /min)	Q (l/mn)
Valeurs	15 – 20	110 - 160	2200 - 2400

Tableau IV.5 : Paramètres du forage pour la phase 12"1/4 du puits OMI 373.

## IV.2.Choix de la garniture

### IV.2.1. Choix des masses tiges

#### IV.2.1.1.Diamètre des masses tiges : Le choix du diamètre des masses tiges repose sur

la condition suivante :

$$\frac{S_{tr} - S_{extDc}}{S_{intDc}} = 6 \text{ à } 7$$

(IV.1)

Où:

$S_{tr}$  : Section du trou.

$S_{extDc}$  : Section extérieure de la masse tige.

$S_{intDc}$  : Section intérieure de la masse tige.

D'après le formulaire de foreur :

Les DC 9<sup>1/2</sup>" et 8" les plus utilisés ont les diamètres intérieurs suivants : 1<sup>3/4</sup>", 2", 2<sup>1/4</sup>", 2<sup>13/16</sup>", 3".

D'après la formule :  $\frac{D_{tr}^2 - D_{ext DC}^2}{D_{int DC}^2} = 6 \text{ à } 7$  on choisit le diamètre intérieur  $D_{int DC} = 3"$ .

D'où l'utilisation des DC qui ont les caractéristiques suivantes :

$$D_{int DC} = 3"$$

$$D_{ext DC} = 9^{1/2}"$$

$$m_{DC} = 323.2 \text{ Kg/m}$$

$$l_{DC} = 9 \text{ m}$$

**Application :**

$$\frac{D_{tr}^2 - D_{ext DC}^2}{D_{int DC}^2} = \frac{12.25^2 - 9.5^2}{3^2} = 6.64$$

Les masses tiges utilisées vérifient la condition.

### IV.2.1.2.Longueur des masses tiges

La longueur des masses tiges est calculée par la formule suivante :

$$L_{DC} = \frac{WOB \cdot 10^3}{F_{PN} \cdot m_{DC} \cdot K \cdot \cos \alpha}$$

$$WOB = 20 \text{ t}$$

$$F_{PN} = 0.65$$

$$K = 0.73$$

**Application :**

$$L_{DC} = \frac{WOB \cdot 10^3}{F_{PN} \cdot m_{DC} \cdot K \cdot \cos \alpha} = \frac{20 \cdot 10^3}{0,65 \cdot 323 \cdot 2 \cdot 0,73} = 130 \text{ m}$$

Dans ce puits on à utilise 15 DC pour équilibrer cette longueur.

### IV.2.2.Choix des tiges

#### IV.2.2.1. Diamètre des tiges

Le choix des tiges de forage est conditionné par

la formule suivante :

$$\frac{S_{tr} - S_{extDp}}{S_{intDp}} = 3 \text{ à } 5$$

(IV.2)

Tel que ce rapport est égal à :

$$\frac{D_{tr}^2 - D_{extDp}^2}{D_{intDp}^2} = 3 \text{ à } 5$$

(IV.3)

Ou :

$S_{tr}$  : Section du trou.

$S_{extDp}$  : Section extérieure des tiges de forage.

$S_{intDp}$  : Section intérieure des tiges de forage .

$D_{tr}$  : Diamètre du trou.

$D_{extDp}$  : Diamètre extérieur des tiges de forage.

$D_{intDp}$  : Diamètre intérieur des tiges de forage.

$$\text{Donc : } \frac{D_{tr}^2 - D_{extDp}^2}{D_{intDp}^2} = 6.8$$

Ces tiges de forage 5" 19.5# G IEU NC 50 TJ 6<sup>1/2</sup>" ne vérifient pas la condition mais on les utilise parce qu'elles sont disponibles au niveau du chantier.

### IV.3. Calcul des différentes forces et phénomènes aux quels soumise la garniture de forage

#### IV.3.1. Calcul de traction

La traction admissible des tiges est calculée par la formule:

$$T = 0,8 \cdot T_{max} - R$$

➤ Calcul de traction admissible des tiges 5" 19.5# E IEU NC 50 TJ 6<sup>3/8</sup>" :

$$T = 0,8 \cdot T_{max} - R$$

$$T_{max} = 138.6 \times 1.02 / 1.1 = 128.5 \text{ t}$$

$$R = 35 \text{ t}$$

$$\text{Donc : } T = 67.8 \text{ t}$$

➤ Calcul de poids de la garniture :

$$P = 10^{-3} \cdot K \cdot (m_{DC} \cdot L_{DC} + m_{DP} \cdot L_{DP}) = 81.59 \text{ t}$$

Donc on ne peut pas utiliser les tiges 5" 19.5# E IEU NC 50 TJ 6<sup>3/8</sup>", parce que le poids de la garniture dépasse la valeur de la traction admissible de ces tiges se qui engendre une rupture de la garniture.

➤ Calcul de traction admissible des tiges 5" 19.5# G IEU NC 50 TJ 6<sup>1/2</sup>" :

$$T = 0,8 \cdot T_{max} - R$$

$$T_{max} = 194.1 \times 1.02 / 1.1 = 180 \text{ t}$$

$$\text{Donc : } T = 109 \text{ t}$$

On remarque que le poids de la garniture est inférieur à la valeur de la traction admissible. Donc : on peut utiliser les tiges 5" 19.5# G IEU NC 50 TJ 6<sup>1/2</sup>" choisi dans le puits

OMI 373.

### IV.3.2.Calcul du torsion

le couple de torsion maximum applicable sur une tige est :

$$M_{\max} = 0,577 \cdot \sigma_{e \min} \cdot \left(\frac{J}{R_e}\right)$$

$$J = 19 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$R_e = 5''$$

$$\sigma_{e \min} = 724 \text{ Mpa}$$

$$M_{\max} = 624977.3 \text{ daN.m}$$

La contrainte de torsion maximale  $\tau$  exercée sur cette barre est :

$$\tau_{\max} = \frac{M}{\left(\frac{J}{R_e}\right)}$$

$$\tau_{\max} = 417.74 \text{ Mpa}$$

On remarque que :

$$1.33 < \frac{\sigma_{e \min}}{\tau_{\max}} = 1.73 = \sqrt{3} < 2$$

Donc : les tiges de grade G a une bonne résistance à la torsion.

### IV.3.3. calcul des forces de pression

#### IV.3.3.1.Pression d'éclatement

La pression d'éclatement est calculée par la formule suivante :

$$P_{i \max} = 0,875 \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma_{e \min} \cdot e}{D}\right)$$

$$P_{i \max} = 92 \text{ Mpa}$$

Les pompes de forage utilisées ont une pression de refoulement maximale de 5000Psi (35 MPa) cette pression est beaucoup inférieur par rapport la pression d'éclatement des tiges.

#### IV.3.3.2.Pression d'écrasement

La pression d'écrasement dépend de rapport  $D / e$  qui est égale : **13.81**

Donc on utilise la formule suivante :

$$P_{e \max} = \sigma_{e \min} \cdot \left(\frac{A}{D/e} - B\right) - C$$

$$A=3.162 \quad ; \quad B=0.0795 \quad ; \quad C=2700$$

$$P_{e \max} = 108.2 \text{ Mpa}$$

➤ **Calcul de pression hydrostatique :**

$$P=d \cdot H / 10.2 = 2.06 \cdot 3327 / 10.2 = 671.9 \text{ bar} = \mathbf{67.19 \text{ Mpa}}$$

La pression hydrostatique est beaucoup inférieur que la pression d'écrasement des tiges.

### IV.3.4.Calcul des vibrations

#### IV.3.4.1.Vibrations transversales

➤ **Calcul de la vitesse critique de rotation :**

$$V_c = 1200 \cdot \frac{\sqrt{(D_e^2 + D_i^2)}}{2L^2}$$

$$V_c = \mathbf{239 \text{ tr/min}}$$

$$\mathbf{200 < V_c < 270} \text{ donc :}$$

Les vibrations latérales ont un effet négligeable sur le long de la garniture de forage

#### IV.3.4.2.Vibrations longitudinales

La fréquence de vibration de l'outil est égale :

$$f = \frac{3V_R}{60} = V_R/20$$

$$V_R = 160 \text{ tr/min}$$

$$\mathbf{f = 8 \text{ cycles/seconde}}$$

la fréquence naturelle de vibration longitudinale est égale :

$$\mathbf{f = 1284/L}$$

$$L=135 \text{ m}$$

$$\mathbf{f = 9.5 \text{ cycles/seconde}}$$

la vitesse de rotation critique est égale :

$$V_C = \mathbf{25680/L}$$

$$\mathbf{V_C = 190 \text{ tr/min} > \text{RPM}=160 \text{ tr/min}}$$

La vitesse de rotation critique est supérieur à celle d'outil ce qui traduit que la garniture n'impact pas par l'effet de vibrations longitudinales.

### IV.3.5.Calcul de flambage

#### IV.3.5.1.Flambage sinusoïdal

La force de compression qui produit un flambage sinusoïdal est :

$$F_{fl\ sin} = 2,55 (E \cdot I_a \cdot K^2 \cdot P^2)^{\frac{1}{3}}$$

$$E=200000 \text{ Mpa}$$

$$I_a = 5.93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$F_{fl\ sin} = 1021.29 \text{ daN}$$

#### IV.3.5.2.Flambage hélicoïdal

La force de compression qui produit un flambage hélicoïdal est :

$$F_{fl\ hl} = 5,55 (E \cdot I_a \cdot K^2 \cdot P^2)^{\frac{1}{3}}$$

$$F_{fl\ hl} = 2222.82 \text{ daN}$$

#### IV.3.5.3.Charge critique

Les tiges peuvent supporter une force de compression maximale calculée comme suite :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_a}{L^2}$$

$$F_{cr} = 14.44 \text{ KdaN}$$

**IV.4.Résultats et discussions**

Les résultats des calculs sur les tiges 5" 19.5# G IEU NC 50 TJ 6<sup>1/2</sup>" dans le puits OMI373 :

	Résultats	Discussion
Traction	Le poids de la garniture est : $P=81.59$ t La traction admissible de tige est $T=109$ t	$P < T$ , les tiges sont capable de supporter le poids de la garniture .
Torsion	Le couple maximale de torsion est : $M=624977.3$ daN.m La contrainte maximale de torsion est : $\tau_{max} = 417.74$ Mpa	$1.33 < \frac{\sigma_{e\ min}}{\tau_{max}} = 1.73 = \sqrt{3} < 2$ Les tiges de grade G sont préférables contre la torsion
Forces de pression	-La pression d'éclatement $P_{i\ max} = 92$ Mpa -La pression d'écrasement $P_{e\ max} = 108.2$ Mpa -La pression de refoulement de pompe à boue est $P_{ref}=35$ Mpa La pression hydrostatique $P_h=67.19$ Mpa	$P_{ref} < P_{i\ max}$ et $P_h < P_{e\ max}$ Ces tiges ayant une bonne résistance contre les forces de pression.
Vibrations	La vitesse critique pour les vibrations transversales $V_c = 239$ tr/min	La garniture n'impact pas par l'effet de vibrations transversales et longitudinales
	La vitesse critique pour les vibrations longitudinales $V_C = 190$ tr/min	
flambage	La force de compression qui produit un flambage sinusoïdal est : $F_{fl\ sin} = 1021.29$ daN	Pour éviter le phénomène du flambage sur les tiges il faut confirmer que la force de compression n'atteint pas 1021.29 daN.
	La force de compression qui produit un flambage hélicoïdal est : $F_{fl\ hl} = 2222.82$ daN	

D'après notre étude de la phase 12"1/4 nous distinguons que :

- Les tiges 5" 19.5# E IEU NC 50 TJ 6<sup>3/8</sup>" n'est pas valable de supporter le poids de la garniture dans les puits profonds.
- la vitesse de rotation critique joue un grand rôle dans les phénomènes de vibration.
- La résistance contre les forces de pression comme l'éclatement et l'écrasement dépend de la limite élastique d'acier, comme la limite élastique est grande la résistance est bonne.
- Les tiges de grade G ont une meilleure résistance à la torsion.

---

## **Conclusion :**

Le comportement du trou amène parfois à choisir des compositions particulières pour une zone particulière. Seule l'expérience du champ permet de choisir la bonne garniture.

La garniture de forage est composée par plusieurs éléments nous mentionnons les tiges, les masse tiges, les tiges lourdes, l'outil, les stabilisateurs,.....etc. chaque un a des caractéristiques et un rôle d'utilisation, tout ce qui permet de réaliser les trois fonctions principales de forage rotary : poids sur l'outil, rotation de l'outil, injection d'un fluide.

Lors de l'opération de forage, le train de sonde doit être soumis aux différentes force et phénomènes comme le flambage, les vibrations, la torsion, la traction et les forces de pression qui peuvent engendrer un risque d'endommagement et de rupture de la garniture.

L'étude de l'effet de ces phénomènes sur la garniture de la phase 12 ¼ dans le puits OMI373 qui s'inscrit dans le cadre du développement du gisement de Hassi Messaoud nous permet de choisir et d'estimer une garniture à des bonnes caractéristiques mécaniques convenable d'utilisé dans cette phase.

## **Recommandation :**

D'après notre étude nous recommandons :

- Confirmer que la position du point neutre est au niveau des masses tiges pour éviter le phénomène de flambage.
- Utiliser des tiges à un grade supérieur (grade X ou G) dans les puits profonds à cause de leurs possibilité de supporter le grand poids de la garniture.
- Utiliser d'un amortisseur de vibration pour éviter le risque de la vibration.
- Utiliser les tiges de grade G dans les formations ayant des grandes forces de pression car ils ont d'une bonne résistance mécanique.
- L'utilisation d'une garniture mixte pour minimiser le cout.
- Garder un torque inférieur au couple de torsion lors l'opération de forage pour éviter le cisaillement de la garniture.

---

## **Bibliographie :**

- [1] A.SLIMANI, Janvier 2004, Module M3, SONATRACH - Division forage, Département de formation.
- [2] A. SLIMANI, Mars 2004, M. DADDO, Module M1, SONATRACH - Division forage, Département de formation .
- [3] Bouhebila N , Khettal B, Réalisation et controle de la trajectoire lors d'une reprise eb short radius à HMD, Mémoire master, Université boumerdes.
- [4] F.GRONDIN, Edition janvier 2004, Module M2, SONATRACH - Division forage, Département de formation.
- [5] Forage dirigé ingénierie et méthodes - ENSPM 2005.
- [6] Formulaire de foreur - Edition technip 1989.
- [7] Jean-Paul NGUYEN , Editions technip 1993, Techniques d'exploitation pétrolier -Le Forage, Paris.
- [8] La garniture de forage - ENSPM 2006.
- [9] Rapport d'implantation du puits OMI373- SONATRACH, Division PED, Direction gisement est, Département Pôle Hassi Messaoud.
- [10] SONATRACH-Division forage, Direction Des Opérations., Well Program – OMI 373.
- [11] Zakariae EL MARZOUKI , , Janvier 2008, Etude du comportement dynamique des trains de tiges de forage pétrolier.
-

---

## Résumé :

Cette étude sur la garniture est réalisée selon les fonctions de plusieurs propriétés et caractéristiques mécaniques des tiges. Le puits OMI373 situé au champ de Hassi Messaoud est foré par une garniture dont nous avons étudié les forces comme la traction, la torsion, l'écrasement, l'éclatement, le flambage et les vibrations en déduisant l'utilité de ce choix. L'outil de forage est un PDC, la boue est de type OBM et la longueur de BHA est 269m, la longueur de phase 12 1/4 est 3327m

**Mots clés:** caractéristiques mécaniques, puits OMI373, flambage BHA.

## ملخص :

عملت هذه الدراسة بدلالة العديد من الخصائص و المميزات الميكانيكية لانابيب الحفر. بئر OMI373 يتموقع في حقل حاسي مسعود كان قد حفر باستعمال ماصورة حفر درست فيها خواص الشد، الالتواء، الانفجار، السحق و الاهتزاز مستنتجين نجاعة و فعالية هذا الاختيار الفاس المستعمل هو نوع PDC وسائل الحفر هو الطفلة المزيتة OBM وكان طول ماصورة الحفر السفلية يساوي 269 م وطول مرحلة الحفر 12 1/4 يساوي 3327 م.

**المفتاحية :** بئر الكلمات OMI373، الخصائص الميكانيكية، الالتواء، ماصورة الحفر السفلية.

## Abstract :

The drill string study is focalized on the function of different mechanical characteristics'. The well OMI373 is drilled by drill string that is studying on buckling torsion tensile crushing and vibration that confirm a good choice. The used bit is PDC the mud type is oil based mud OBM the BHA length is 269m and the length of 12 1/4 phase is 3327m

**Key words :** mechanical characteristics OMI373 well buckling BHA .

---