

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERI de TIZI-OUZOU

ⵝⵓⵎⵉⵔ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵓⵔ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵓⵔ ⵏ ⵉⵏⵉⵙⵓⵔ

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master professionnel en Génie Mécanique

Option: Fabrication Mécanique et Productique

THEME

**Amélioration de la dureté de la vanne de contrôle dans les
systèmes de forage à entraînement supérieur
(Top Drive Canrig)**

Réalisé par :

M. AIT GHERBI Hamza

M. SALHI Sofiane

Encadré par :

M^{me} ABERKANE Tassadit

Année Universitaire: 2012/2013

Remerciements

Ce travail a été réalisé à l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits (ENTP) à Hassi-Messaoud. Nous remercions vivement les responsables de l'ENTP, ainsi que (Kheloufi Kader , Mahor Ali et Oubelaid Mohand)

Nous remercions également notre promotrice Madame ABERKANE, pour son aide et sa disponibilité.

Nos remerciements aussi les travailleurs, de la bibliothèque GM et de Hall technologique de Oued Aissi. Ceux de laboratoire SDM pour l'importance qu'il donne aux étudiants.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce mémoire de fin d'études.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- La mémoire de ma mère ;*
- Mon père et ma belle mère ;*
- Mon cher frère et mes chères sœurs ;*
- Toute la famille cousins, cousines, tante et oncle ;*
- Mes amis (es).*

HAMZA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

-Mon père et ma mère ;

-Mes chers frères et sœurs ;

*-Toute la famille cousins, cousines, tante
et oncle ;*

-Mes amis (es).

SOFIANE

SOMMAIRE

Remerciements.....	i
Dédicace.....	ii
Sommaire.....	iv
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	x
Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralités sur le forage	
I. Généralités.....	4
I.1. Aperçu sur le forage.....	4
I.1.1. Forage par percussion.....	4
I.1.2. Forage par rotation.....	4
I.2. Principe de fonctionnement de l'appareil de forage.....	5
I.3. Equipement de forage.....	6
I.3.1. Les mât de forage.....	6
I.3.2 Les outils de forage.....	7
a) Outil a tricône.....	7
b) mode de travail d'un tricône.....	8
c) Outils à pastilles en carbure de tungstène.....	8
d) Outil à jet.....	9
e) Outil diamant.....	9
I.3.3. La garniture de forage.....	10
a) Les tiges.....	11
b) Les tiges lourdes.....	11
c) Les masse-tiges.....	11
d) Les tool-joints.....	12
e) Les stabilisateurs	12
I.4. Les équipements de rotation.....	13
I.4.1. La table de rotation.....	13
I.4.2. La tige d'entraînement.....	14
I.4.3. le carre d'entraînement.....	14
I.5. Les équipements de levage.....	15
I.5.1. Le treuil de forage.....	15
I.5.2. Le mouflage.....	15
I.5.2.1. Le moufle fixe.....	16
I.5.2.2. Le moufle mobile.....	16
I.6. Equipement de pompage.....	16
I.6.1. Pompe de forage.....	16
I.6.2. La tête d'injection.....	17
I.6.3. La boue de forage.....	18
I.7. Les tubages.....	18
I.8. La cimentation.....	18
Chapitre II: Top Drive Canrig	
II. Introduction.....	21
II.1. Top drive.....	21
II.1. Rôle du top drive.....	23
II.2. Classification.....	23
II.3. Description du top drive type canrig modèle 1050E-500.....	25
II.3.1. Introduction.....	25
II.3.2. Désignation du modèle.....	25

II.3.3. Caractéristiques.....	26
II.3.4. Composition du top drive.....	27
a) L'unité de support de Top Drive (TDSU).....	27
b) Guide de couple portable (la glissière).....	28
c) Le top drive.....	28
II.3.4.3.1. Principe de fonctionnement.....	29
II.4. Les parties qui Composent le top Drive.....	30
II.4.1. Partie hydraulique.....	30
II.4.1.1. Unité Hydraulique (HPU).....	30
II.4.1.2. Pompe à piston Hydraulique.....	30
II.4.1.3. Pompe de lubrification.....	30
II.4.2. Partie électronique.....	31
II.4.3. Partie électrique.....	31
II.4.4. partie mécanique.....	31
II.4.4.1. Le bonnet.....	32
II.4.4.2. Boite d'engrenage (Gear case).....	32
II.4.4.3. Le corps principale (Main housing).....	32
II.4.4.4. Pivot intégrale (le Spindle).....	33
II.4.4.5.L'arbre principal (quill).....	33
II.4.4.6. Le crabot (femelle Spline).....	33
II.4.4.7.Generateur de couple (torque boost).....	33
II.4.4.8. Manifold de rotation (Rotary Manifold).....	34
1) Partie fixe.....	34
2) La partie tournante.....	34
II.4.4.9.Vannes de sécurité.....	35
II.4.4.10. Les vannes de contrôle.....	36
II.4.4.11. La glissière.....	37
II.5. Avantages et inconvénients du top drive.....	37
II.5.1. Avantages.....	37
a) Une opération de forage plus sécurisée.....	37
b) Le forage avec des longueurs (stands).....	38
c) Faire tourner la garniture de forage même en utilisant l'indicateur de poids.....	38
d) Un meilleur système pour le (under balanced drilling).....	38
II.5.2. Inconvénients.....	39
Conclusion.....	39
Chapitre III : Les aciers et leurs traitements thermiques	
III. Introduction.....	41
III.1.diagramme fer-carbone métastable (diagramme Fe-Fe₃C).....	42
III.1.1. Définitions des constituants micrographiques.....	43
III.2. Classification des aciers.....	45
III .2.1. Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre.....	45
III.2.1.1. Aciers hypoeutectoïdes.....	46
a) Aciers extra-doux.....	46
b) Aciers doux.....	46
c) Aciers mi-doux.....	46
d) Aciers mi-durs.....	46
e)Aciers durs.....	46
III.2.1.2. Aciers eutectoïdes.....	46
III.2.1.3. Aciers hypereutectoïdes.....	46
a) Aciers durs.....	46

b) Aciers extra-durs.....	46
III.2.2. Classification par composition chimique.....	47
a) Aciers non alliés.....	47
b) Aciers faiblement alliés.....	47
c) Aciers fortement alliés.....	48
III.3. Traitements thermiques des aciers.....	49
III.3.1. Cycle d'un traitement thermique.....	49
III.3.2. Principaux types de traitements thermiques.....	50
III.3.2.1. Le recuit.....	50
III.3.2.1.1. Recuit demandant des températures supérieures à ac1.....	52
a) Recuit complet.....	52
b) Recuit d'homogénéisation (ou de diffusion).....	52
c) Recuit de régénération (ou d'affinage structural).....	52
III.3.2.1.2. Recuit demandant des températures inférieures à ac1.....	53
a) Recuit d'adoucissement.....	53
b) Recuit de coalescence (ou de globulisation).....	53
c) Recuit de recristallisation.....	54
d) Recuit de détente (ou de relaxation).....	54
III.3.2.2. Trempe.....	55
III.3.2.2.1. Austénitisation.....	56
III.3.2.2.2. Choix du temps de maintien.....	56
III.3.2.2.3. Choix de la vitesse de refroidissement pour la trempe.....	57
III.3.2.2.4. Choix du milieu de trempe.....	58
III.3.2.2.5. Trempabilité.....	59
III.3.2.3. Revenu.....	59
a) Revenu à basse température.....	60
b) Revenu à température intermédiaire.....	60
c) Revenu à haute température.....	60
III.4 : Essai mécaniques.....	60
III.4.1. Essai de traction.....	61
III.4.1.1. Principe de l'essai.....	61
III.4.1.2. Eprouvettes.....	62
III.4.1.3. Courbe de traction.....	63
III.4.1.4. Diagramme conventionnel.....	61
III.4.1.5. Lecture et interprétation de la courbe de traction.....	62
III.4.1.6. Caractéristiques obtenues de l'essai de traction.....	63
III.4.2. Essai de dureté.....	67
III.4.2.1. Essai de brinell.....	68
III.4.2.2. Essai de Vickers.....	69
III.4.2.3. Essai de Rockwell.....	70
III.4.2.3.1. Rockwell C.....	70
III.4.2.3.2. Rockwell B.....	70
Chapitre IV : Techniques expérimentales	
IV.1. Introduction.....	73
IV.2. Problématique.....	73
IV.3. Acier utilisé.....	73
IV.3.1. Composition chimique.....	74
IV.3.2. Traitement thermique.....	74
IV.3.3. Emplois.....	74
IV.4. Présentation des éprouvettes.....	75

IV.4.1. Echantillon de dureté.....	75
IV.4.2.Eprouvettes de traction.....	75
IV.5. Machines utilisées pour la réalisation des éprouvettes et des échantillons.....	76
IV.5.1. Découpage des échantillons bruts.....	76
IV.5.2.Usinage des éprouvettes.....	76
IV.6.Traitement thermique effectués sur les éprouvettes.....	76
IV.6.1.Traitement de trempe.....	76
IV.6.2.Le revenu.....	78
IV.6.3. Le recuit.....	79
IV.7. Essais mécaniques.....	79
IV.7.1. Essai de traction.....	79
IV.7.2. Essais de la microdureté.....	80
IV.8.La microstructure.....	80
IV.8.1. Préparation des échantillons.....	80
a. Le prélèvement.....	80
b. Le polissage.....	80
IV.8.2. Attaque chimique.....	81
IV.8.3. Observation microscopique.....	82
Chapitre V : Résultats et interprétations	
V. Introduction.....	84
V.1 Résultats obtenus dans les essais de dureté et de traction.....	84
V.1 .1. Caractérisation de l'acier 42 CD 4 avant traitement thermique.....	84
V.1.2.Acier 42 CD 4 ayant subi un traitement thermique de trempe suivi d'un revenu	85
V.1.3. Acier 42 CD 4 ayant subi un traitement thermique de recuit.....	87
V.1 .4. Acier de la vanne.....	88
V.1 .5 .comparaison des résultats de la vanne avec ceux de l'acier 42CD4 ayant subi les traitements thermiques.....	89
V.I.6. Interprétations des résultats.....	90
V. 2. Observations métallographiques.....	91
Conclusion générale.....	94
Bibliographie.....	

Listes des figures

Chapitre I

Figure.1 : vanne après défection.....	1
Figure I.1 :a) mât de forage, b) La substructure.....	7
Figure I.2 :a)Outil a tricône, b) molette.....	8
Figure I.3 : Travaille d'un outil.....	8
Figure I.4 : Outil à pastilles en Carbure de tungstène.....	9
Figure I.5 : Outil à jet.....	9
Figure I.6 : Outil diamant.....	10
Figure I.7 : Tiges de forage.....	11
Figure I.8 : Tige lourde.....	11
Figure I.9 : Les masse- tiges.....	12
Figure I.10 : Tool- joints.....	12
Figure I.11 : Stabilisateur.....	13
Figure I.12 : Table de rotation.....	14
Figure I.13 : Tige d'entraînement.....	14
Figure I.14 : a) Carré d'entraînement, b) Fourrure principale.....	15
Figure I.15 : Pompe de forage.....	17
Figure I.16 : Tête d'injection.....	17
Figure I.17 : Tubage et cimentation.....	19

Chapitre II

Figure II.1 : Image réelle du top drive.....	22
Figure II.2: Types de Top drive.....	24
Figure II.3: Composition du top drive.....	27
Figure II.4:Vu du Top drive coté porte du derrick.....	28
Figure II.5:Schéma de rotation.....	29
Figure II.6:coupe verticale du Top drive.....	32
Figure II.7:vanne de contrôle.....	36
Figure II.8:système d'ouverture et fermeture.....	36

Chapitre III

Figure III.1 : diagramme d'équilibre fer-Carbone.....	42
Figure III.2 : Structure cristalline de Fer α	43
Figure III.3 : Structure cristalline de Fer γ	43
Figure. III.1 : Cycle d'un traitement thermique.....	50
Figure III.2 : Cycle thermique du recuit.....	51
Figure III.3 : Schéma de coalescence de la cémentite.....	54
Figure III.4 : Domaine de température des différents recuits.....	55
Figure III.5 : Représentation schématique des courbes de refroidissement sur un diagramme TTT.....	58
Figure III.6 : Différentes pénétration de trempe d'une section ronde à différentes vitesses critiques de trempe martensitique.....	59
Figure III.7 : Essai de traction.....	61
Figure III.8 : Eprouvettes de traction.....	62
Figure III.9 : Comportements possibles des matériaux.....	63
Figure III.10 : Courbe de traction.....	64
Figure III.11 : Phénomène de striction.....	65
Figure III.12 : Diagramme des contraintes.....	66
Figure III.13: Module d'Young.....	67

Figure III.14 : Essai de brinell.....	68
Figure III.15 : Essai de Vickers.....	69
Figure III. 16 : Essai de dureté Rockwell HRB.....	71

Chapitre IV

Figure IV.1 : vanne avant et après défection.....	73
Figure IV.2 : échantillon de dureté.....	75
Figure IV.3 : Eprouvette de traction.....	76
Figure IV.4 : cycle thermique de la trempe.....	77
Figure IV.5 : four de trempe.....	77
Figure IV.6 : cycle thermique de revenu.....	78
Figure IV.7 : four de revenu.....	78
Figure IV.8 : cycle thermique de recuit.....	79
Figure IV.9 : machine de traction.....	80
Figure IV.10 : polisseuses.....	81
Figure IV.11 : microscope optique.....	82

Chapitre V

Figure V.1 : Courbe de microdureté pour l'acier 42CD4 sans traitement thermique.....	84
Figure V.2 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 sans traitement thermique.....	85
Figure V.3 : Courbe de dureté pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de trempe a l'huile.....	86
Figure V.4 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 après traitement de trempe et de revenu.....	86
Figure V.5 : Courbe de dureté pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de recuit.....	87
Figure V.6 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de recuit.....	87
Figure V.7 : Courbe de dureté pour l'acier de la vanne.....	88
Figure V.8 : Regroupement des courbes de traction des trois traitements thermiques.....	89
Figure V.9: Regroupement des courbes de dureté des trois traitements thermiques et l'acier de la vanne.....	89
Figure V.10 : Micrographie de l'acier 42CD4 sans traitements thermiques (X200)	91
Figure V.11 : Micrographie de l'acier 42CD4 après traitement de trempe te de revenu (X200)	91
Figure V.12 : Micrographie de l'acier 42CD4 après recuit (X200).....	92

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau. II.1:Caractéristiques du top drive type 1050E-500 [10]. 26

Tableau II.2 : Valeurs des couples de serrage et de desserrage. 34

Chapitre III

Tableau III.1 : Coefficient multiplicateur. 48

Tableau III.2 : Aciers faiblement alliés usuelle. 48

Tableau III.3 : Durée approchée d'austénitisation dans différents types de fours. 57

Chapitre IV

Tableau IV.1 : désignation de l'acier selon quelques normes. 74

Tableau IV.2 : composition chimique de l'acier 42CD4. 74

Tableau IV.3 : température et milieu de traitement thermique. 74

Chapitre V

Tableau V.1 : résultats obtenus pour l'essai de traction. 90

Tableau V.2 : dureté (Hv) moyenne. 90

Introduction générale

L'évolution de l'industrie pétrolière a poussé les constructeurs à s'engager dans la recherche technologique pour alléger et rentabiliser cette activité.

Le développement des Derrick Drilling Machines a commencé aux années 80, pour remplacer la méthode conventionnelle (classique) de forage en utilisant l'ensemble tige hexagonale – table de rotation.

Le premier modèle est réalisé en 1984 ; un top drive désignée aux offshore, avec un moteur électrique à courant continu « 650 V » et qui pèse 650 tonnes.

Le TOP DRIVE qui est une machine performante. Elle assure plusieurs fonctions : forage, remontée et descente des tiges de forage, serrage et desserrage des connections, circulation des fluides de forage, manipulation des tiges et blocage de la garniture de forage. Il réduit le temps et assure une meilleure sécurité pour les opérateurs mais, le coût de sa maintenance est élevé.

En 1987, un développement plus avancé est basé sur l'utilisation des systèmes hydrauliques pour l'entraînement supérieur, et grâce aux demandes, d'augmenter le couple de forage, ce développement est devenu de plus en plus avancé.

Mais pour des raisons de maintenance (trop de flexibles et de joints, saleté due à l'importante utilisation des huiles et graisses), de sécurité (l'utilisation de la haute pression), et de gain en temps, l'emploi des tops drives hydrauliques s'est limité et ce sont les tops drives électriques qui ont pris le relais en maintenant le côté hydraulique qui est indispensable.

L'entreprise nationale des travaux au puits (ENTP) possède neuf tops drives type canrig et quatre type varco. Canrig met à la disposition des entreprises pétrolières plusieurs modèles de top drive de différentes capacités de levage.

type DC: 6027E-500, 8035E-500, 1050E-500, 1165E-500;

Type AC: 4017AC-122, 8050AC-712, 6028AC-500, 1250AC-500, 1275AC-681.

Dans notre étude nous nous sommes intéressé au modèle 1050E-500. Il a été remarqué la défection d'une pièce dans les circuits de boue ; il s'agit de la vanne de contrôle, à cause de l'usure abrasive. Le but de notre étude est d'améliorer la résistance et la dureté du matériau de cette vanne.



Figure 1 : vanne après défection.

Pour remédier à ce problème (arrachement de matière par des particules silice de sable), nous avons effectué des traitements thermiques et des essais mécaniques sur l'acier de fabrication (42CD4) et un échantillon relevé sur la pièce, afin de caractériser le matériau à savoir l'augmentation de la dureté.

Ce mémoire est articulé autour de cinq chapitres:

Le chapitre I s'intéresse au principe de fonctionnement de l'appareil de forage

Dans **le chapitre II** nous présentons le TOP DRIVE CANIG utilisé par l'entreprise des travaux aux puits (ENTP).

Le chapitre III présente une synthèse bibliographique sur les aciers au carbone, les traitements thermiques et les principaux essais mécaniques.

Le chapitre IV a comme objectif de présenter les techniques expérimentales utilisées dans ce mémoire pour caractériser notre acier 42 CD4, à savoir l'essai de traction, l'essai de dureté et la microscopie métallographique.

Le chapitre V est consacré aux principaux résultats expérimentaux obtenus et leur discussion.

Une conclusion générale met l'accent sur les résultats obtenus cette étude.

Chapitre I :

Généralités sur le forage

I. Généralités

I.1. Aperçu sur le forage

On appelle forage, l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux. L'utilisation principale des forages est la reconnaissance et l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz naturel. Les autres utilisations, comprennent notamment : les forages géologiques ou géophysiques pour la reconnaissance des gisements de minerais. [1]

Le forage pétrolier permet d'atteindre les roches poreuses et perméables de sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux. Son implantation est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution de sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent déceler avec certitude la présence d'hydrocarbures. Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [2]

Il existe deux procédés de forage :

- Le forage par percussion ;
- Le forage par rotation.

I.1.1. Forage par percussion

Le forage par percussion utilisé au début du siècle pour la recherche des hydrocarbures dans les terrains tendres à faibles et moyennes profondeurs. De nos jours, il est utilisé dans le forage hydraulique. [3]

I.1.2. Forage par rotation

Les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas) ; elle se développa rapidement à la suite de la découverte, en 1901, du champ de Spindle-top près de Beaumont (Texas) où fut employé un appareil de forage rotary.

La méthode consiste à utiliser des trépons diamantes, de strier et de détruire celle-ci.

La rotation du trépan est obtenus en faisant tourner l'ensemble des tiges de forage qui relient le trépan à la surface.

Pour éliminer les déblais de roches détachés du fond par le trépan, on emploie la technique de la circulation des fluides, inventée par Fauvelle en 1845. Elle consiste en l'injection d'une boue (Mélange d'eau et l'argile) à l'intérieur des tiges de forage. Celle-ci, passant par les orifices du trépan, remonte dans l'espace annulaire en entraînant les déblais jusqu'à la surface. [3]

I.2. Principe de fonctionnement de l'appareil de forage

L'outil de forage (trépan) est entraîné dans son mouvement de rotation au fond du trou par une colonne de tiges creuses vissées les une aux autres appelé garniture de forage.

A hauteur du planché de sondage, au centre de la table de rotation, passe une tige creuse de forme hexagonale solidaire du carré d'entraînement d'une part et du train de tiges d'autre part, la transmission de mouvement de rotation par coïncidence entre la tige carrée et la table, qui est-elle même entraînée par des moteurs électriques par engrenage.

L'ensemble de train de sonde est suspendu du crochet de levage par l'intermédiaire de la tête d'injection, qui joue le rôle de palier de rotation pour l'ensemble de train de tiges, elle comporte une partie mobile solidaire du train de sonde, une partie fixe solidaire du crochet.

Le crochet de levage peut être animé d'un mouvement de translation de haut en bas de tour métallique grâce à un système de mouflage composé d'un moufle mobile au quel est suspendu le crochet et d'un moufle fixe solidaire de mat de sondage.

Le brin actif du câble va s'enrouler sur le tambour de treuil de forage lequel est entraîné par des moteurs, par l'intermédiaire d'un jeu de transmission et d'embrayage pour avoir un mouvement de translation du moufle mobile, et le brin mort du câble s'enroule sur un tambour fixe.

Une injection continue de boue dans le trou est assurée pendant toute la durée de forage.

Des pompes à boue aspirant la boue des bacs et la refoulant par l'intermédiaire de la colonne montante, du flexible et de la tête d'injection dans l'intérieur de train de sonde, la boue descend ainsi jusqu'au fond du trou foré, qui remonte du fond du trou et chargé des déblais

de forage, dès son arrivée à la surface ,elle passe sur tamis vibrants qui la sépare des déblais ; de là elle retourne dans les bacs d'aspiration; la boue effectue un circuit fermé dans le forage.

Aux deux tiers environ du mat du forage se trouve la passerelle d'accrochage, qui sert au gerbage des tiges dans le mat de forage lors de la manœuvre de remontée ou descente. [4]

Le train de tige est donc remonté puis redescendu par élément de deux ou trois tiges grâce au système de levage qui constituent le treuil, le câble les moulles et le crochet.

Le mat de forage repose sur une substructure de 3m de hauteur de ce qui élève d'autant la planche de travail, il permet l'installation sur la tête du puit d'un ou plusieurs obturateurs de sécurité.

I.3. Equipement de forage

I.3.1. Les mâts de forage

Les mâts de forage peuvent atteindre 40 mètre de hauteur, c'est une sorte de charpente métallique, qui sert à supporter et à manœuvrer tous les équipements associe au forage. Il a remplacé la tour grâce à la rapidité de son montage et démontage. Il peut être de type qui ne se démonte pas pour le déménagement, ou de celui qui se démonte en un petit nombre d'élément. Il est dressé tout monté sur la plate-forme de forage. Il est compose de deux montants reliés par des entretoises et des croisillons qui reposent sur une substructure. Une plate-forme installée au sommet, comportant des traverses de fortes capacités, supporte le moufle fixe.

Plates-formes de forage

La substructure est posée sur une plate-forme en béton construite en fonction la résistance des terrains, afin d'assurer sa stabilité. Des rigoles sont aménagées autour de la plate-forme pour drainer efficacement les eaux qui peuvent s'infiltrer sous la plate-forme et la déstabiliser.



Figure I.1 : a) mât de forage, b) La substructure

I.3.2 Les outils de forage

a) Outil à tricône

Les outils à molettes ont été introduits dans le forage rotary par H.R.HUGUES en 1909.ils peuvent êtres des bi-cônes (utilise actuellement dans les déviations par pression), des tricônes (les plus utilisés dans les forages actuels) ou des quadri-cônes (actuellement disparus).Un tricône est constitué de trois barres forgées usinées avec leur tourillon, qui subissent ensuite un traitement thermique et sont assemblées par soudage.

Les molettes sont usinées et traitées thermiquement à part, elles sont maintenues sur les tourillons par une rangée de billes, glissées par un canal percé dans le bras, qui sera bouché et soudé une foi tous les billes en place, ou par une bague à ressort.

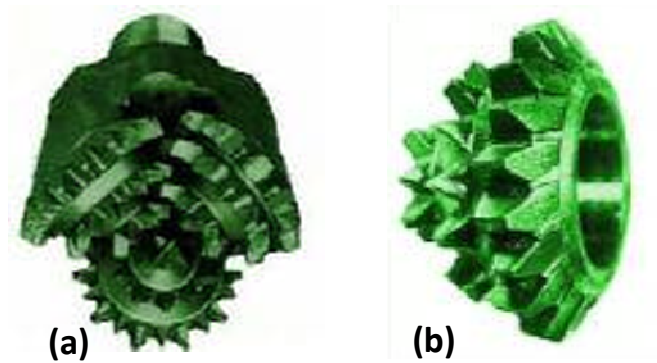


Figure I.2 : a) Outil à tricône, b) molette

Les molettes d'un outil ne sont pas identiques : la molette n°1 possède une pointe (nez) qui occupe le centre, et les molettes 2 et 3 sont celles qui viennent après, dans les sens des aiguilles d'une montre, en leur faisant face.

b) mode de travail d'un tricône

Sous l'effet de la compression, la dent pénètre dans la roche et l'éclate. En tournant sur elle - même sous l'effet de la rotation, la molette ripe la roche et arrache le copeau. L'effet d'éclatement et de ripage sont complémentaires et varient en fonction du terrain : le ripage dans le cas d'un terrain tendre est plus important que dans un terrain dur, tandis que l'éclatement dans un terrain dur est plus grand que dans un terrain tendre.



Figure I.3 : Travail d'un outil

c) Outils à pastilles en carbure de tungstène

Ces outils sont utilisés pour les terrains durs et abrasifs. Ils travaillent par broyage. Pour les terrains tendres et moyennement durs, les pastilles sont longues et de forme tronconique.

Pour les terrains extrêmement durs, elles sont de forme hémisphérique.

Dans les terrains abrasifs, les pastilles de carbure de tungstène sont disposées sur la partie arrière des molettes et protègent son diamètre.



Figure I.4 : Outil à pastilles en Carbure de tungstène

d) Outil à jet

L'outil à jet est apparu en 1948. Entre les molettes, le jet de boue est dirigé directement sur le fond du trou et il crée une turbulence qui refoule instantanément les déblais dans l'espace annulaire, ce qui implique un meilleur nettoyage du fond des déblais. Les dents attaquent alors un terrain propre, la turbulence nettoie également les dents de l'outil.

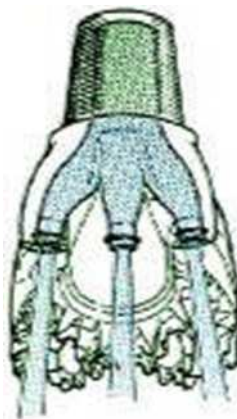


Figure I.5 : Outil à jet

e) Outil diamant

Les outils à diamant ont fait leur apparition vers 1870 pour la recherche du charbon.

L'utilisation du diamant par l'industrie du pétrole est plus récente. L'utilisation du diamant s'est étendue au forage pétrolier vers 1930 (carottage). En Europe, les outils diamantés sont apparus vers 1953.

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: 50000 bar, acier C45 : 15 000 bar)

Son point de fusion est très élevé (3650°), mais il se transforme superficiellement en graphite vers 1450°. [5]



Figure I.6 : Outil diamant

I.3.3. La garniture de forage

Le forage rotary exige l'utilisation d'un arbre de forage creux appelé garniture, qui a pour principales fonction:

- d'entraîner l'outil en rotation ;
- d'y appliquer un certain effort ;
- d'y apporter l'énergie hydraulique nécessaire à l'évacuation des déblais.

Une garniture de forage est constituée des éléments suivants:

- les tiges [drill pipes] ;
- les tiges lourdes [heavy Wight pipes] ;

- les masses-tiges [drill dollars].

a) Les tiges

Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce 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 des tiges.



Figure I.7 : Tiges de forage

b) Les tiges lourdes

Les tiges lourdes ont une flexibilité plus grande que celle des masses tiges et plus petite que celle des tiges normales dans les forages verticaux, les tiges lourdes sont fréquemment utilisées comme intermédiaires entre les masse-tige et les tiges. Il y a à ce niveau une variation de section occasionnant des contraintes plus élevées (flexion plus grande, vibration). On utilise donc avantageusement une, deux ou trois longueurs de tiges lourdes entre les masses-tiges et les tiges, chaque fois que les conditions de forage sont difficiles.

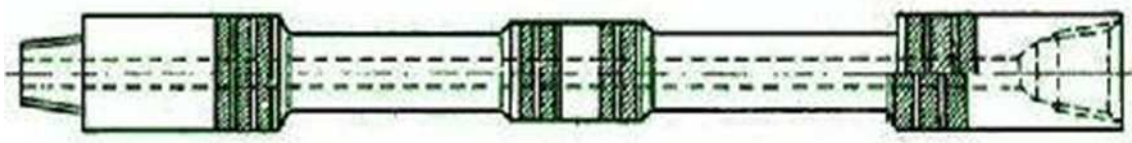


Figure I.8 : Tige lourde

c) Les masse-tiges

Les masses- tiges permettent de: mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masses-tiges ne devra pas excéder 80% de leur poids total dans la boue;

Elles jouent le rôle du plomb du fil à plomb 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.



Figure I.9 : Les masse- tiges

d) Les tool-joints

Ce sont des joints qui assurent la liaison entre les tiges .Il sont soudés et/ou vissés au corps de tiges.



Figure I.10 : Tool- joints

e) Les stabilisateurs

Un outil n'a pas normalement tendance à forer verticalement. Afin de limiter et de contrôler la déviation d'un puits, on intègre dans la garniture de forage des stabilisateur dont on choisit le nombre, le dimensionnement et la position pour répondre au mieux aux problèmes posés.

Un stabilisateur 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.

Le but d'une bonne stabilisation en trou vertical est de :

- maintenir un angle de déviation le plus faible possible ;
- permettre un certain effort sur l'outil ;
- garantir un diamètre correct du trou ;
- éviter le collage par pression différentielle des masse-tiges. [6]

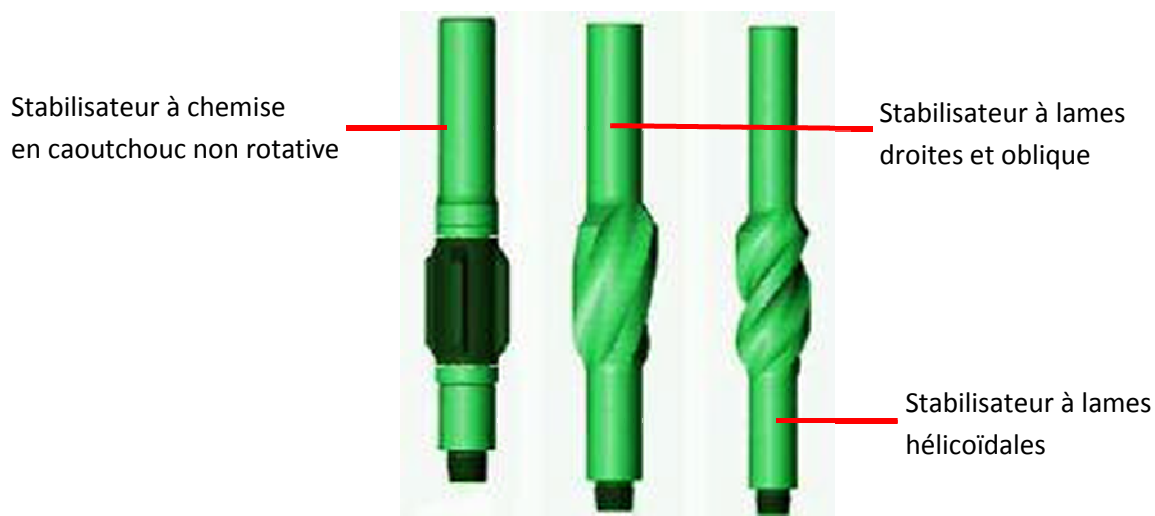


Figure I.11 : Stabilisateur

I.4. Les équipements de rotation

I.4.1. La table de rotation

En cours de forage, la table de rotation transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrure et de la tige d'entraînement, elle est entraînée par un moteur électrique. En cours de manœuvre, elle supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue.

La table de rotation se compose de 3 parties :

- le bâti ;
- la partie tournante ;

- l'arbre d'entraînement.

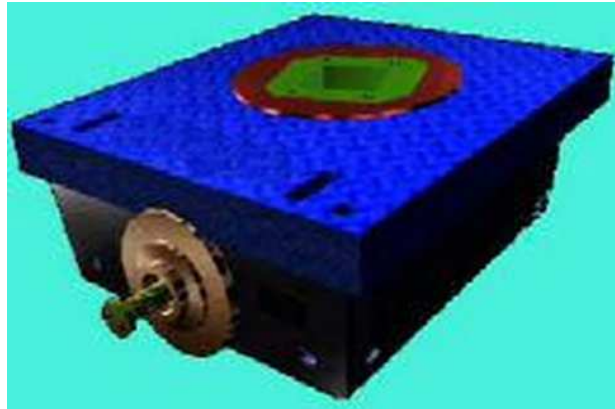


Figure I.12 : Table de rotation

I.4.2. La tige d'entraînement

La tige d'entraînement est généralement de forme hexagonale ou carrée, elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement. [6]

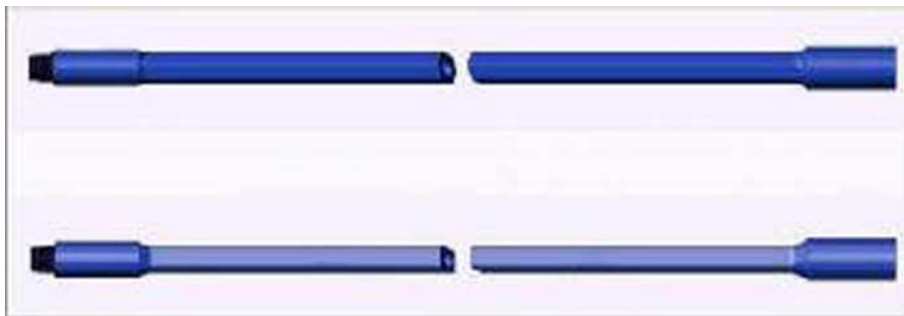


Figure I.13 : Tige d'entraînement

I.4.3. le carré d'entraînement

Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par le biais d'un carré d'entraînement rendu solidaire en rotation de la table par l'intermédiaire d'une fourrure principale. Pendant les manœuvres, les fourrures intermédiaires sont mises en place à l'intérieur des fourrures principales pour pouvoir caler la garniture de forage.



Figure I.14 : a) Carré d'entraînement, b) Fourrure principale

I.5. Les équipements de levage

I.5.1. Le treuil de forage

Le treuil est le cœur de l'appareil de forage, il permet le levage de la garniture de forage et de tubage

Le treuil entraîne également un arbre secondaire permettant de dévisser et visser les tiges et les tubages.

Sur certains appareils, il assure l'entraînement de la table de rotation par l'intermédiaire de cardant ou chaîne de pignons.

I.5.2. Le mouflage

Le mouflage est un moyen de démultiplication des efforts simple utilisé sur les appareils de forage pour lever de lourdes charges.

Le mouflage permet de :

- démultiplier l'effort de traction exercé sur le brin actif de façon à lever de lourdes charges
- répartir sur plusieurs brins de câble les charges considérables à soulever, d'où :
 - Dimensions de câble acceptables
 - Effort réduit sur le brin actif
 - Démultiplication moindre dans le treuil d'où dimension et capacité de treuil acceptable
- Démultiplier la vitesse du moufle mobile.

I.5.2.1. Le moufle fixe

Le moufle fixe est un ensemble des poulies alignées sur le même axe. Cet axe est supporté à ses extrémités par deux paliers montés sur des poutrelles fixées au sommet du mat. L'axe du moufle fixe est perforé pour permettre le graissage des différents roulements des poulies.

I.5.2.2. Le moufle mobile

Le moufle mobile comporte une poulie de moins que le moufle fixe correspondant.

Les poulies sont montées sur le même axe par l'intermédiaire de roulement à rouleaux coniques.

Cet axe est monté sur des paliers situés sur des flasques, en tôle très épaisse, qui reçoivent à leur partie inférieure le crochet ou l'attache du crochet. L'axe est percé pour permettre le graissage des roulements.

Un carter entoure complètement les poulies, laissant seulement passer le brin du moufle.

Les moufles sont simples et robustes. L'entretien principal est le graissage régulier des roulements. Il est aussi nécessaire. [6]

I.6. Equipement de pompage

I.6.1. Pompe de forage

La circulation de la boue dans un forage nécessite l'utilisation des pompes puissantes.

Une bonne installation doit assurer :

- Une vitesse de remontée des déblais suffisants pour éviter leur décantation ;
- Une pression de refoulement suffisante pour vaincre les pertes de charge dans le circuit.

En dehors de sa puissance et son débit, une pompe doit être souple, robuste et facile à entretenir. Les pompes de forage peuvent être de type duplex à double effet ou triplex à simple effet.

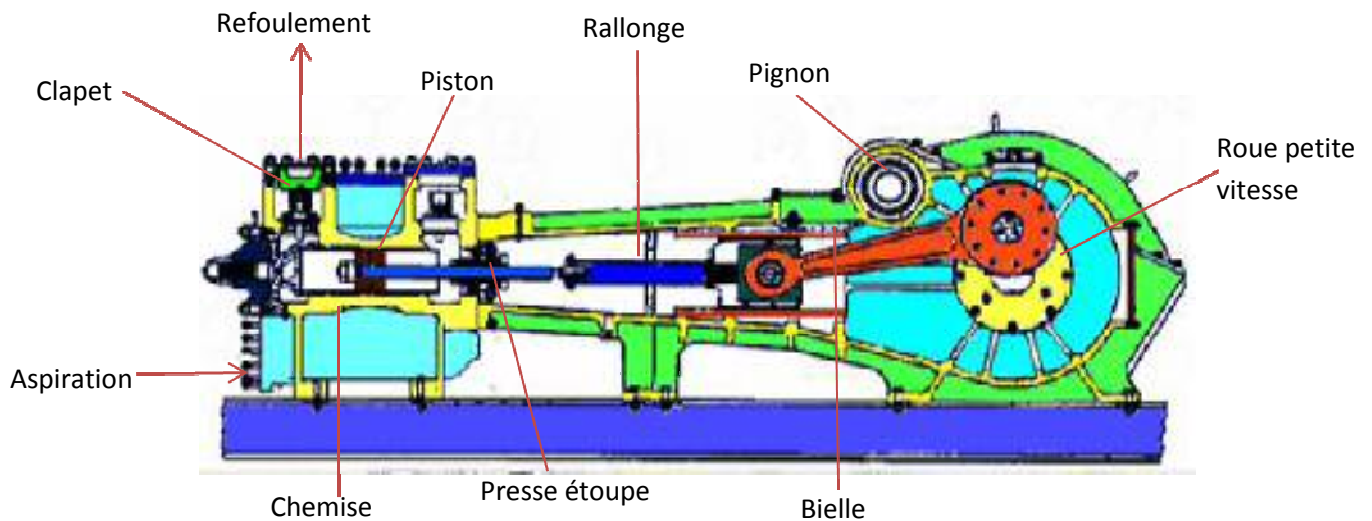


Figure I.15 : Pompe de forage

I.6.2. La tête d'injection

Dans une installation de forage, la tête d'injection supporte la garniture de forage et permet d'y injecter la boue en rotation ou à l'arrêt.

La suspension est assurée par un arbre d'injection creux et fileté à sa partie inférieure pour être raccordé à la tige d'entraînement. Le corps est suspendu au moyen d'une anse au crochet de moufle mobile.

L'injection de la boue arrive à l'arbre d'injection par un tube coude appelé col de cygne relié au corps. [7]

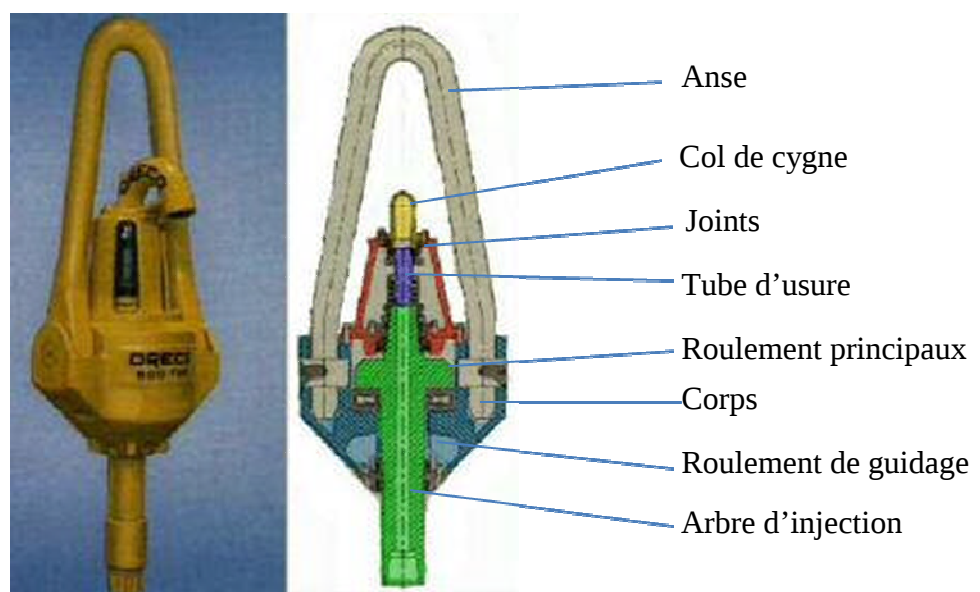


Figure I.16 : Tête d'injection

I.6.3. La boue de forage

En circulant en permanence à l'aide des pompes très puissantes, la boue de forage a pour but :

- Refroidir l'outil de forage ;
- Remuer les déblais de forage ;
- Maintenir les parois des trous ;
- Eviter les éboulements du venant de fluide contenu dans la roche.

La boue de forage est un mélange d'eau et de produit chimique et solide préparé dans les bassins qui font partie de l'ensemble de l'appareil de forage

Ce mélange permet d'avoir une densité, une viscosité, nécessaire pour le bon déroulement de l'opération, aussi des produits chimiques divers utilisés pour leurs propriétés adaptées à la nature des terrains traversés.

I.7. Les tubages

Une fois foré, le puits est couvert par des tubes appelés (tubages) pour empêcher les parois de s'effondrer et pouvoir continuer le forage sans problèmes.

Le choix des tubages, aussi bien en ce qui concerne leur diamètres que leur résistances, est conditionné par plusieurs facteurs, dans les principaux sont :

- La profondeur prévue ;
- Les pressions attendues ;
- Le type d'effluent attendu (huile ou gaz) ;
- Les risques de corrosion.

I.8. La cimentation

Cimenter une colonne de tubage consiste à mettre en place un laitier de ciment dans tous ou partie de l'espace annulaire entre les tubages et le trou foré.

La cimentation a pour objectif :

- Ancrer la colonne au sol ;
- Prévenir le dévissage des tubes pendant le forage ;
- Canaliser en surface les fluides exploités ;
- Eviter la pollution des gisements ;
- Réaliser la séparation entre les différentes couches productrices pouvant contenir des fluides différents à des pressions différentes ;
- Fermer les couches à haute pression pour éliminer les risques d'éruption ;
- Protéger les colonnes contre les agents chimiques et la corrosion électrochimique.

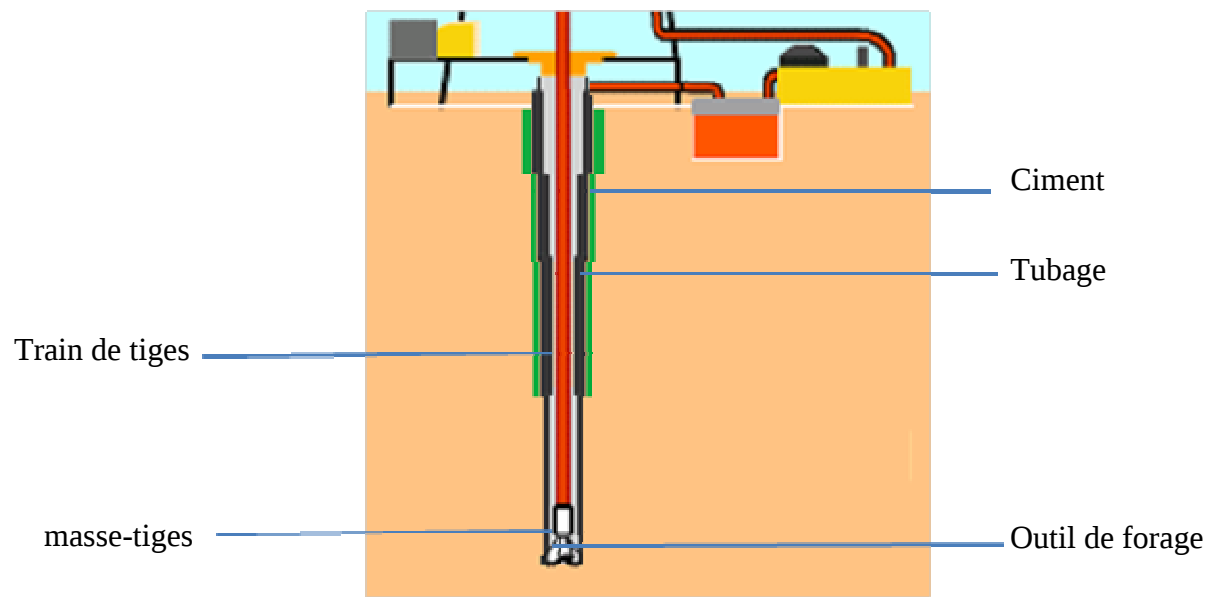


Figure I.17 : Tubage et cimentation

Chapitre II :

Le top drive canig

II. Introduction

Le développement des Derrick Drilling Machines a commencé aux années 80, pour remplacer la méthode conventionnelle (classique) de forage en utilisant l'ensemble Kelly – table de rotation.

Le premier modèle est réalisé en 1984 ; un top drive désignée aux offshores, avec un moteur électrique à courant continu « 650 V » et qui pèse 650 tonnes.

En 1987, un développement plus avancé est basé sur l'utilisation des systèmes hydrauliques pour l'entraînement supérieur, et grâce aux demandes, d'augmenter le couple de forage, ce développement est devenu de plus en plus avancé. [7]

Mais pour des raisons de maintenance (trop de flexibles et de joints, saleté due à l'importante utilisation des huiles et graisses), de sécurité (l'utilisation de la haute pression), et de gain en temps, l'emploi des tops drives hydrauliques s'est limité et ce sont les tops drives électriques qui ont pris le relai en maintenant le côté hydraulique qui est indispensable. [8]

II.1. Top drive

Le top drive est un organe récemment introduit aux chantiers, plus précisément aux appareils de forage pour remplacer :

- Le crochet ;
- La tête d'injection ;
- La table de rotation ;
- La Kelly (la tige carrée) ;
- La Kelly bushing;
- Et partiellement les clefs ;

Le top drive est l'organe en mouvement maintenu au mât, il est commandé par l'opérateur par l'intermédiaire de la console.

C'est un équipement de rotation, maintenu au mât à l'aide d'une raie et d'un moufle mobile. Elle fait tourner la garniture de forage (train de tiges et outil de forage) par l'extrémité de son arbre principal. [8]



Figure II.1 : Image réelle du top drive

II.1. Rôle du top drive

Le top drive effectue plusieurs opérations comme:

- Forage (en utilisant le moteur électrique)
- Remontée et descente des tiges de forage.
- Serrage et desserrage des connections (en utilisant le torque boost).
- Circulation des fluides de forage.
- des tiges (en utilisant les Link Tilts (les bras)).
- Blocage de la garniture de forage (en utilisant le frein) ...

Ces fonctions peuvent être réunies sous trois principaux rôles qui sont :

- la rotation,
- la remontée
- l'injection ou la circulation. [9]

II.2. Classification :

1) Selon le constructeur il existe trois types du Top Drive :

- **Canrig** : Le crochet et la tête d'injection sont intégrés, l'introduction de système hydraulique l'a rendu très compliqué, mais très puissant.
- **Varco** : Il est très simple car le système hydraulique n'existe pas, il a juste : Deux moteurs AC, une glissière, un ventilateur, un manipulateur des tiges.

Il utilise le crochet et la tête d'injection du système conventionnel.

- **Tesco** : Désigné aux petits mâts, il possède un système de manutention très développé qui élimine l'utilisation du mousehole et le stockage des tiges.

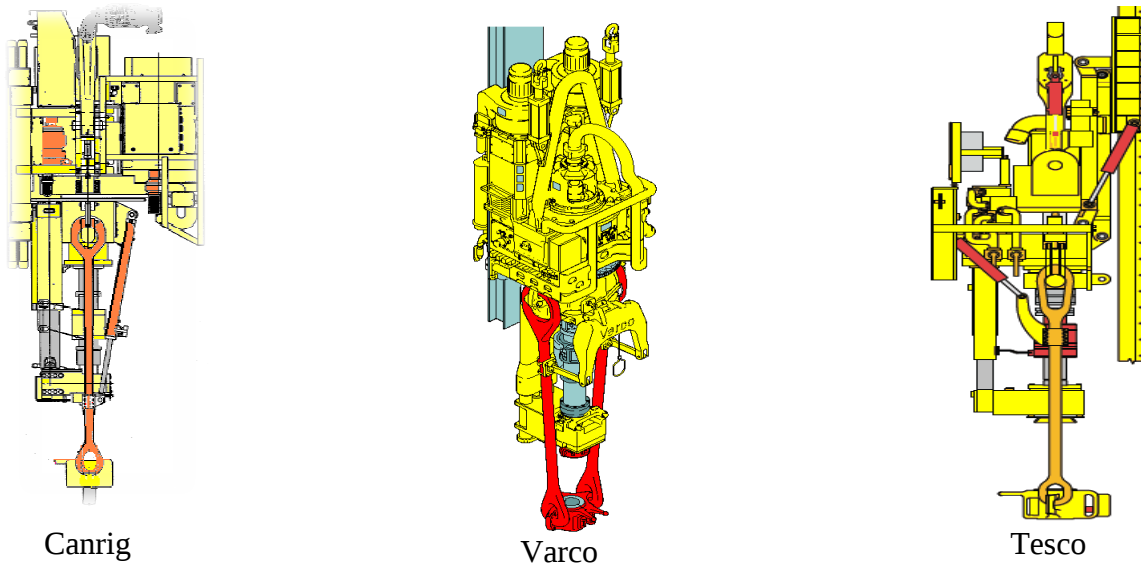


Figure II.2: Types de Top drive

2). Selon le type de moteur d'entraînement :

➤ **Top drive à moteur hydraulique**

Pour des raisons de maintenance (trop de flexibles et de joints, saleté due à l'importante utilisation des huiles et graisses etc...), de sécurité (l'utilisation de la haute pression), et de gain en temps, l'emploi des tops drives hydrauliques s'est limité et ce sont les tops drives électriques qui ont pris le relais en maintenant le côté hydraulique qui est indispensable.

➤ **Top drive à moteur électrique**

Ils sont simples, faciles à commander, non encombrants, maintenables, etc...

Il y a des tops drives à moteur continu et des autres à moteur alternatif.

Les moteurs DC sont plus faciles à commander, et on peut varier la vitesse d'une façon continue c'est-à-dire on peut choisir n'importe quelle valeur de la vitesse.

Mais on trouve que ces moteurs sont plus difficiles à fabriquer, à maintenir et ils sont trop lourds.

Contrairement aux moteurs AC qui sont légers, maintenables, mais la variation de la vitesse est discrète.

II.3. Description du top drive type canrig modèle 1050E-500**II.3.1. Introduction**

L'ENTP possède neuf tops drives type canrig et quatre type varco.

Canrig met à la disposition des entreprises pétrolières plusieurs modèles de top drive de différentes capacités de levage.

type DC: 6027E-500, 8035E-500, 1050E-500, 1165E-500;

Type AC: 4017AC-122, 8050AC-712, 6028AC-500, 1250AC-500, 1275AC-681.

Dans notre étude nous nous sommes intéressé le modèle 1050E-500. [9]

II.3.2. Désignation du modèle

10 : 10X100=1000 HP : la puissance nominale du moteur électrique ;

50 : 50X10=500 tons : la capacité nominale de levage ;

E : électrique (à courant continu) ;

500 :5 :1 : rapport de réduction.

II.3.3. Caractéristiques

Capacité nominale de levage statique	500 tonnes
Moteur	A courant continu à excitation séparée (GE 752)
Puissance de sortie	
Continue	840 kW
Intermittente	1020 kW
Rapport de démultiplication	5:1
Couple continu nominal	(40700 Nm) à 180 RPM
Couple intermittent nominal	(45100 Nm) à 180 RPM
Vitesse maximale nominale	(21700 Nm) à 260 RPM
Puissance des freins	40700 Nm
Couple de moteur électrique maximum	45100 Nm
générateur du couple développe au:	
Vissage	32500 Nm
Dévissage	50800 Nm
Couple maximum de vissage des connexions	77700 Nm
Couple maximum de dévissage des connexions	96000 Nm
Système de lubrification	1.5 KW, 15 l/min de débit
Poids (sans moufles)	12700 kg

Tableau. II.1: Caractéristiques du top drive type 1050E-500 [10]

II.3.4. Composition du top drive

Ce type de top drive est regroupé essentiellement en trois grands blocs :

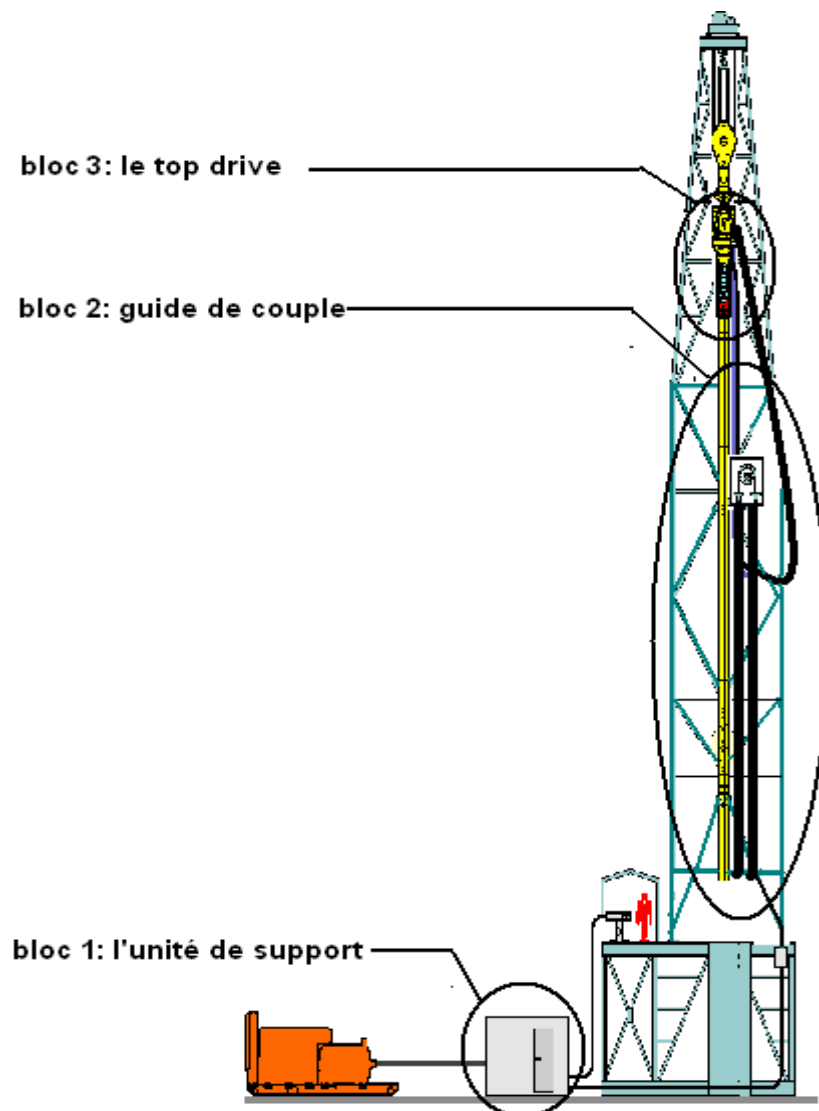


Figure II.3: Composition du top drive

a) L'unité de support de Top Drive (TDSU)

Elle englobe un SCR (redresseur commandé pour l'alimentation principale du TD avec moteur à courant continu) ou un VFD (variateur de fréquence) pour les TD entraînées par moteur à courant alternatif, plus les circuits de contrôle, de commande, de protection, et même le circuit d'excitation du moteur à courant continu pour les DC top drives.

La HPU (hydraulic power unit) est associée à la TDSU aussi, elle assure la circulation et l'arrivée de l'huile pour assurer les opérations de nature hydraulique (pression). [10]

b) Guide de couple portable (la glissière)

Il est suspendu par le Harpon en haut du mât et fixé horizontalement à l'extrémité inférieure par le levier de battage de réaction de couple.

c) Le top drive

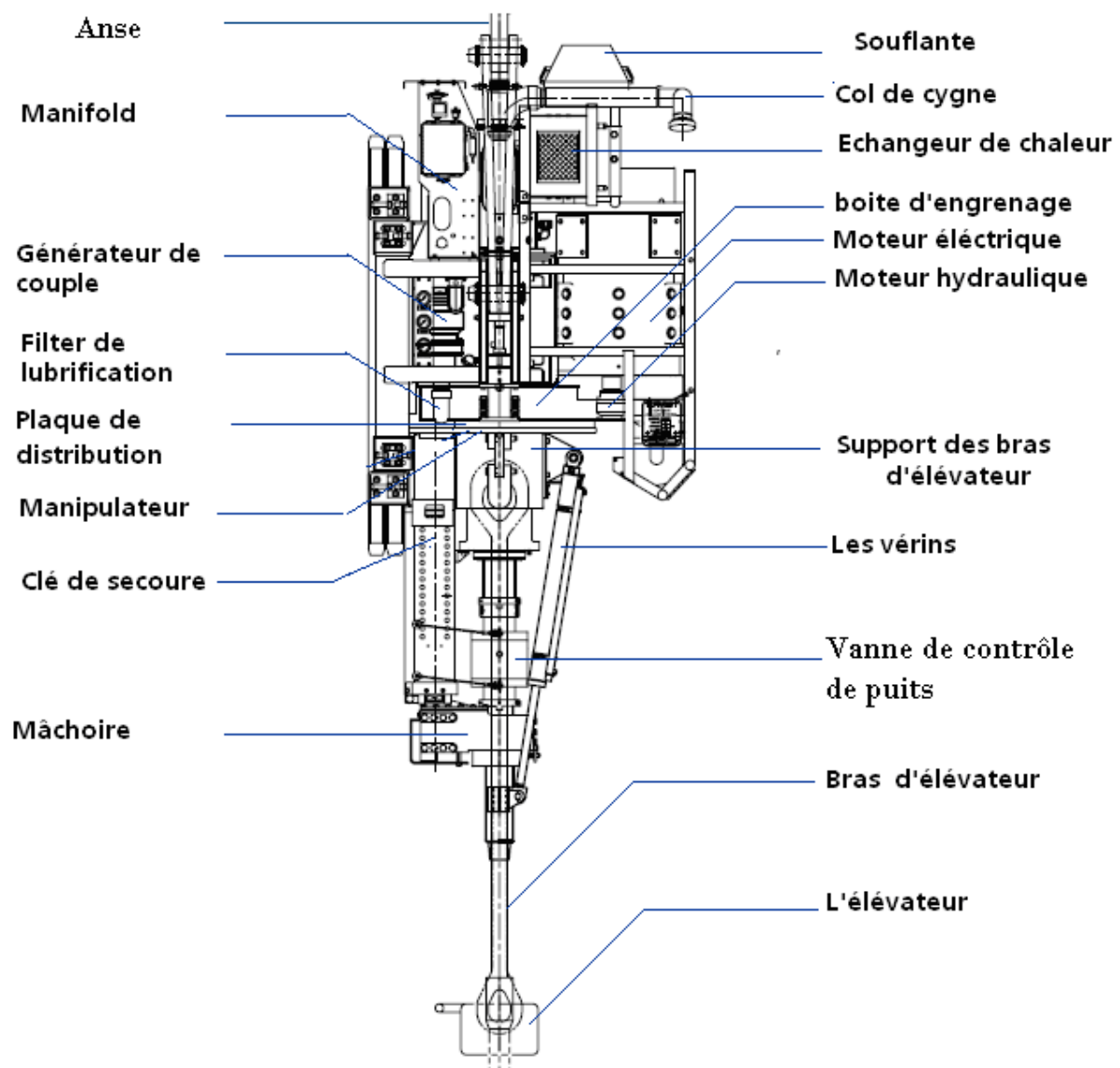


Figure II.4: Vu du Top drive coté porte du derrick

II.3.4.3.1. Principe de fonctionnement

➤ La fonction rotation

Le moteur travail verticalement avec une double extension (marche avant, marche arrière), l'arbre de moteur avec le pignon transmettent le mouvement de rotation à une grande roue dentée, à l'intérieur de la roue dentée il y a le moyeu (HUB) qui est solidaire au spindle par quatre (4) clavettes.

Le spindle tourne la femelle spline qui à son tour fait tourner l'arbre principale (Quill).

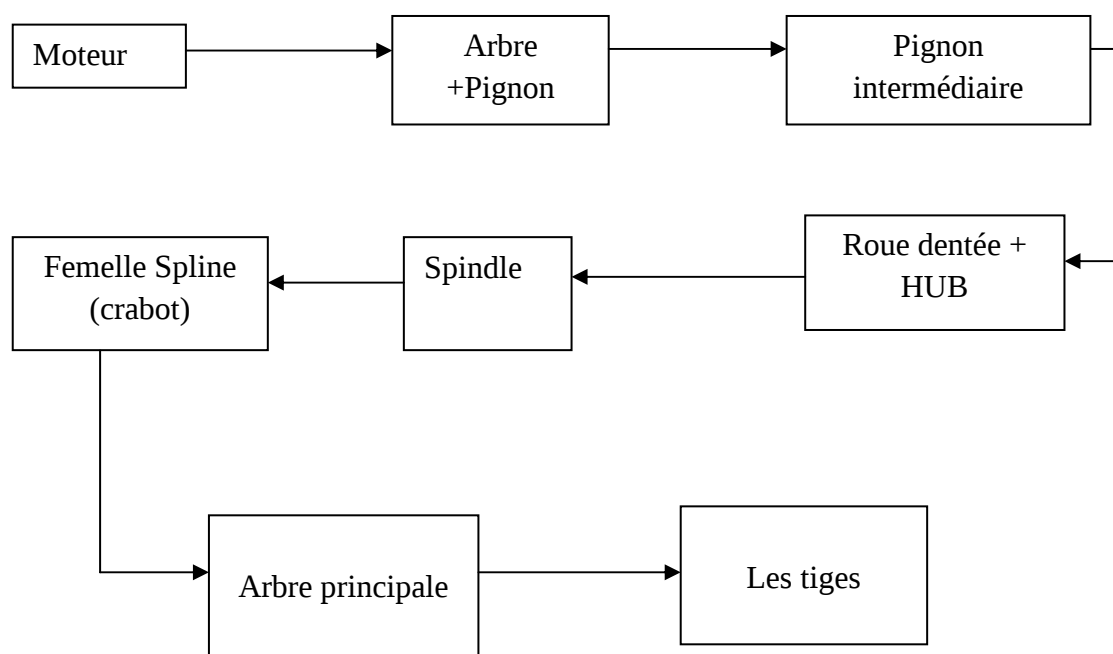


Figure II.5: Schéma de rotation

➤ La fonction pompage

Le Top drive à une tête d'injection intégrée qui est suspendue en permanence au moufle mobile.

Le flexible d'injection amène la boue de forage vers le washpipe par l'intermédiaire de col de sygne puis elle est dirigée vers la garniture de forage.

➤ **La fonction remontée et descente**

Le Top drive est suspendu au moufle mobile par une anse et l'ensemble Top drive, chariot se déplace verticalement sur la glissière.

➤ **La fonction manutention**

Le Top drive possède un mécanisme de manutention des tiges qui comprend UWCV, une LWCV, et une clé de secours servant à serrer (connecter) et à desserrer (déconnecter) les tiges de forage.

L'ensemble de manutention des tiges comprend aussi les bras, un élévateur et un mécanisme d'inclinaison des bras automatisés.

Le chef de poste active ce mécanisme pour placer les bras et l'élévateur au niveau de plateforme d'accrochage pour mettre les tiges de forage, ou pour sortir et ranger les stands de tiges par les passerelles d'accrochage.

II.4. Les parties qui Composent le top drive

Les blocs du top drive sont composés de quatre parties essentielles :

II.4.1. Partie hydraulique

Elle est composée du circuit hydraulique et HPU (unité de puissance hydraulique), du générateur de couple (torque boost) et circuit de lubrification.

II.4.1.1. Unité Hydraulique (HPU)

L'unité de puissance hydraulique est un ensemble de plusieurs composants (réservoir d'huile, pompes, vannes, régulateurs, moteurs...etc.) qui forme un circuit fermé.

II.4.1.2. Pompe à piston Hydraulique

C'est une génératrice de débit, elle transforme l'énergie mécanique en énergie Hydraulique entraînée par un moteur électrique (huile facile à transporter dans les canalisations) vers des récepteurs, ce type de pompe utilise des pistons coulissants de manière étanche dans les cylindres pour repousser l'huile.

II.4.1.3. Pompe de lubrification

Ce sont des pompes à engrenage qui transforment l'énergie mécanique de rotation de l'arbre en énergie de fluide, la transmission de cette énergie se fait par deux pignon de même

taille, le pignon menant est l'extension de l'arbre d'entraînement. Quand le pignon tourne, il entraîne avec lui le second pignon et aspirent le fluide par la conduite. [10]

II.4.2. Partie électronique

Cette partie contient des "ADAPTERS" (convertisseurs analogique – numérique et vice versa), une carte mère et un microprocesseur pour la vérification des circuits et des conditions de fonctionnement, et des scanners pour le filtrage. Cette partie contient aussi des API (automates programmables industrielles) qui assurent la commande (arrêt d'urgence, alarmes ...) et la protection, relie tous les capteurs, et limite les surtensions et les intensités supérieures à l'intensité nominale du moteur. [10]

II.4.3. Partie électrique

C'est la partie qui fait la principale différence entre les tops drives électriques. Cette partie contient un moteur électrique (à courant continu ou alternatif), et son alimentation s'effectue à partir des convertisseurs (un système à vitesse variable).

Les éléments principaux montés sur le top drive sont :

- Moteur d'entraînement ;
- Moteur ventilateur (blower) ;
- Armoire électrique ;
- Armoire PLC (Programmable Logique Contrôle).

II.4.4. partie mécanique

Elle est constituée de : le bonnet, boîte d'engrenage, le corps principal, pivot intégral, l'arbre principale, le crabot, générateur de couple, manifold de rotation, vannes, la glissière.

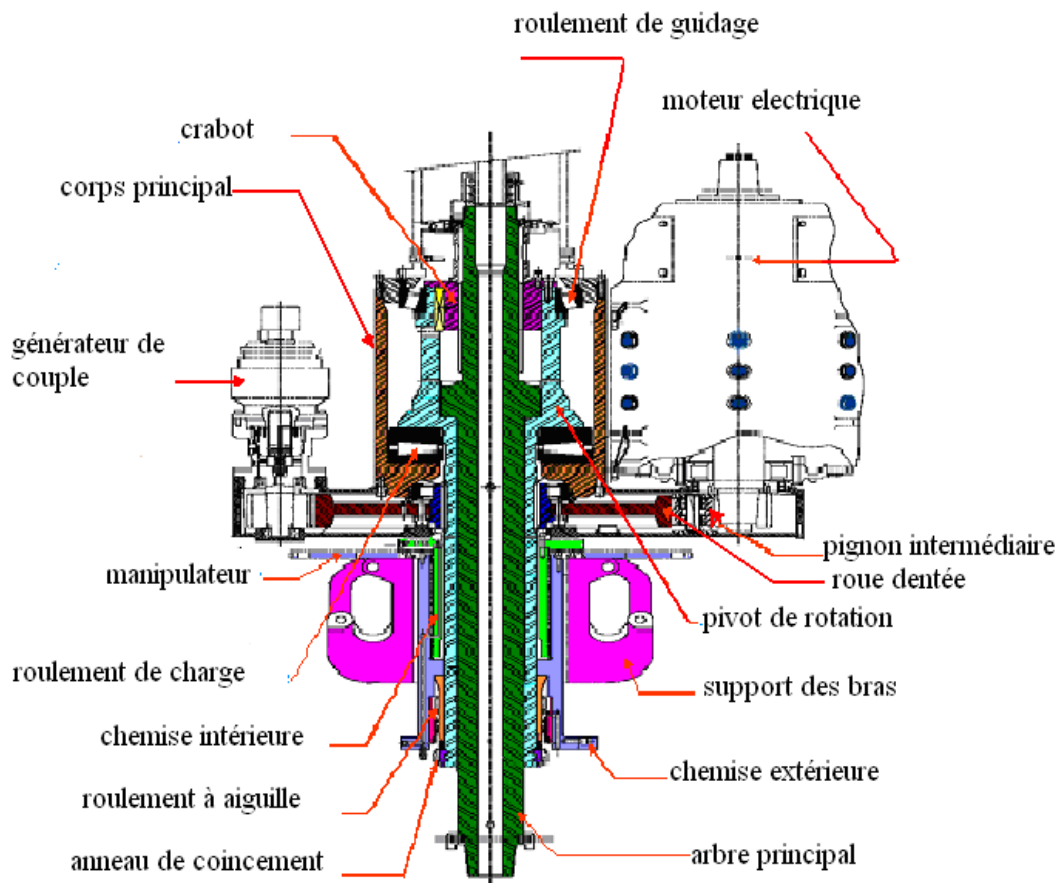


Figure II.6: coupe verticale du Top drive

II.4.4.1. Le bonnet

Le corps qui contient le Wash pipe, permet le passage de la boue entre la partie tournante et la partie fixe.

II.4.4.2. Boîte d'engrenage (Gear case)

La transmission du mouvement est assurée par un pignon cylindrique à denture droite extérieur monté à chaud sur l'arbre de moteur d'entraînement, contient 25 dentures, un pignon intermédiaire à denture droite extérieure de 31 dents, une roue dentée de 125 dents à denture droite extérieur, engrené au pignon intermédiaire, elle assure la réduction de vitesse de rotation et la transmission de mouvement au moyeu, toute cette chaîne de transmission baigne dans l'huile de lubrification.

II.4.4.3. Le corps principale (Main housing)

C'est le corps extérieur où se repose le roulement principal qui supporte la charge du spindle (le pivot de rotation) et toute la garniture.

II.4.4.4. Pivot intégrale (le Spindle)

Arbre creux solidaire avec le Hub par quatre clavettes, pour assurer la rotation du quill (arbre principal).

II.4.4.5.L'arbre principal (quill)

C'est arbre creux frottant, mené des dentures mal sur l'extrémité supérieur, il s'introduit dans les dentures femelles du spline (le crabot) pour transmettre la rotation aux tiges de forage, permet aussi le passage de la boue.

II.4.4.6. Le crabot (femelle Spline)

C'est un cylindre mené des dentures à l'intérieur, lié avec le spindle par un boulon et une clavette pour transmettre le mouvement (la rotation) au quill.

II.4.4.7.Générateur de couple (torque boost)

Le générateur de couple est un générateur à entraînement hydraulique, il développe des couples importants à basse vitesse il permet les opérations de vissage et dévissage des raccords, il est constitué de :

- Un moteur d'entraînement hydraulique ;
- Une boîte de vitesse ou multiplicateur de couple ;
- Embrayage :

Le fonctionnement de générateur de couple est assuré par l'embrayage qui sert à l'arbre de pignon et l'arbre principal.

- l'embrayage de générateur de couple est automatiquement engagé quand la fonction de blocage ou de déblocage est sélectionnée ;
- il est automatiquement désengagé quand la fonction de vissage ou dévissage est réalisée ;
- il ne peut pas s'engager pendant que l'entraînement supérieur tourne ;
- Il fonctionne avec deux couples, un couple de serrage (make-up) et un couple de desserrage (break-out).

Couple de serrage (Make-up)	32500Nm. Egale 24 000 ft/lbs
Couple de desserrage (break-out)	50 800 Nm. Egale 37 000ft/lbs

Tableau II.2 : Valeurs des couples de serrage et de desserrage

Pour un serrage de couple important le générateur travaille avec le moteur.

Le générateur de couple est équipé de trois systèmes de sécurités :

- a). Sécurité par ressort qui empêche l'embrayage de venir en contact avec l'arbre de pignon
- b). Sécurité par une butée placée dans un trou lors de la remonté de l'embrayage
- c). Sécurité par un check valve qui assure tous les dix minutes un renvoie d'huile hydraulique à une pression de 100Psi pour empêcher l'embrayage de ne pas descendre.

II.4.4.8. Manifold de rotation (Rotary Manifold)

Transmet la charge de la manœuvre jusqu'au moufle mobile et permet le passage de l'huile hydraulique de la partie stationnaire à la partie tournante, il se compose de deux parties (partie fixe et partie tournante) :

1). Partie fixe :

Elle se composée de:

- Plaque de distribution (goofy plate) : C'est une plaque de forme complexe, permettant le passage de l'huile hydraulique à l'intérieur de la chemise (inner sleeve).
- Chemise intérieur (inner sleeve) : Chemise fixe à la plaque de distribution par boulon, Elle a des rainures et des trous taraudés, assurent le passage de l'huile hydraulique de la plaque de distribution à la deuxième chemise (la chemise extérieur) à travers les trous. Chaque trou est entouré par deux joints (o ring) pour assurer l'étanchéité. Il y a sept trous entourés par quatorze (14) joints.

2). La partie tournante

Elle se composée de :

- Cylindre de rotation (handler-rotate) : c'est une plaque cylindrique qui contient à sa surface des trous de positionnement (32 position). Elle fait tourner l'ensemble des organes suivants :

- Chemise extérieure (outer-sleeve) : Chemise liée avec le cylindre de rotation contient des trois avec un jeu de (1/8) pouce entre les deux chemise (intérieure et extérieure) .
- Support d'articulation (link-support) : A commande hydraulique actionné par deux pistons, supportant la charge de levage et portant les bras d'élévateurs.
- La pression de commande atteint 500 Psi pendant le levage.
- Vérin hydraulique (link-tilt) : A commande hydraulique, destine pour la commande des bras de l'élévateur, possède deux positions (float-maintain) l'élévateur doit être installé avec les poignées du cote opposé aux vérins du dispositif d'inclinaison des bras.
- Clé de secours (back up wrench) : Elle fait positionner les tiges de forage pour les serrer ou les desserrer avec l'arbre principal, elle comprend :
 - Cylindre de préhension de clé de dévissage (gripper cylindrer) : C'est une mâchoire composé d'un piston qui se déplace vers l'avant et vers l'arrière pour bien fixer la tige. Fonctionnement : quand en commence à serrer il y a une réaction qui pousse le système vers l'arrière, le check valve ne permet pas au piston de retourner, donc la pression augmente. Le pilote check valve est utilisé à une pression d'huile qu'action le piston dans le sens inverse.
 - Un positionneur pour maintenir les tiges dans une position déterminé. Le voyant lumineux de la clé de secours, clignoteras lorsque la pièce est fermé. L'ouverture de la pince de clé de secours est empêchée de fait que l'unité hydraulique (HPU) n'est pas en marche
 - Anneau de coincement (split ring) : anneau pour le coincement des bagues de roulement, contient à l'intérieur des clamps que supporte la charge de toute la garniture.
 - Bagues de roulement (baring inner-race) : chemise cylindrique utilisée pour protéger le spindle contre l'usure et pour la fixation de roulement, ainsi pour regrouper les joints.

II.4.4.9. Vannes de sécurité

Les tiges d'entraînement sont toujours équipées d'une vanne de fermeture à leurs parties supérieures entre la tête d'injection et son filtrage femelle supérieur. C'est un dispositif destiné à fermer l'intérieure du train de tiges en cas de venue et du protéger ainsi l'ensemble du circuit de refoulement. Par mesure de sécurité complémentaire, on équipe aussi la partie inférieure de la tige d'entraînement d'une deuxième vanne de fermeture. Située immédiatement au-dessus de raccord d'usure, elle est plus accessible au personnel de plancher et permet après fermeture de déconnecté la tige d'entraînement malgré la pression.

La vanne inférieure peut par ailleurs être fermée pendant les ajouts pour éviter les écoulements de boue de la tige d'entraînement.

Le principe de ses vannes est simple : un boisseau sphérique ou cylindrique comportant un orifice central est commandé extérieurement par une clé à profil hexagonal ; un quart de tour est suffisant pour en assurer la fermeture ou l'ouverture.

II.4.4.10. Les vannes de contrôle : deux vannes hydrauliques de contrôle de puits:

Vanne de contrôle supérieur (UWCV) : elle est à commande hydraulique, montée à l'entrée de la boue, au-dessus du TD (au niveau du bonnet).

Vanne de contrôle inférieur (LWCV): elle est à commande hydraulique et manuelle, qui est montée sur l'arbre creux au-dessous du TD, commandée par un bouton dans la console.

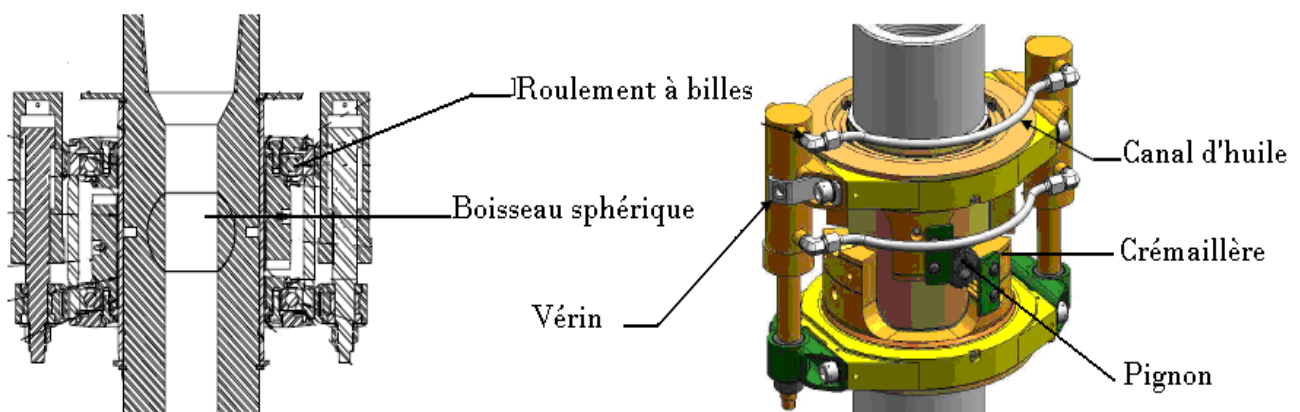


Figure II.7: vanne de contrôle

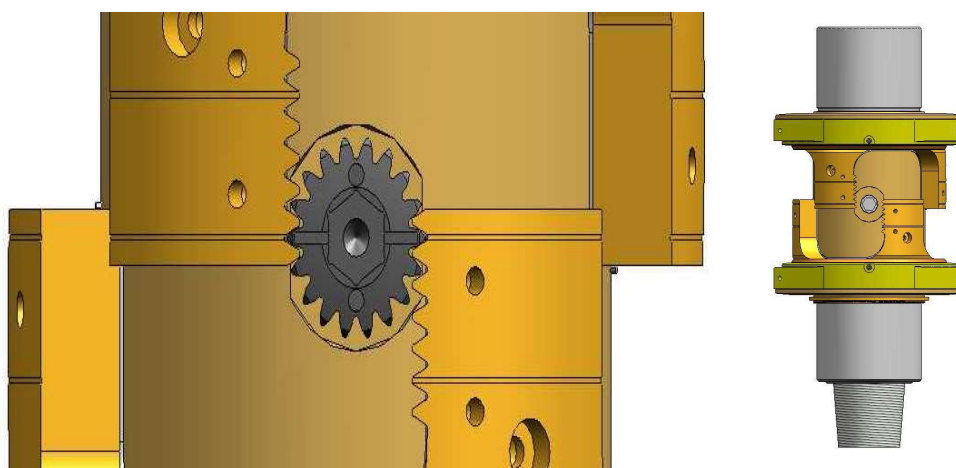


Figure II.8: système d'ouverture et fermeture

II.4.4.11. La glissière

Rail où se glisse le top drive, composée de cinq (5) actions elle est fixée au derrick du haut par le harpon et par de guides vers le bas pour centrer le top drive sur une tige droite dans la table de rotation

II.5. Avantages et inconvénients du top drive**II.5.1. Avantages****a) Une opération de forage plus sécurisée**

- Le top drive serre et desserre les connections ;
- Elle est équipée d'un système pipe Handling pour le déplacement et la manipulation des tiges pour alléger le travail et le rendre plus sécurisé ;
- L'utilisation de l'élévateur automatique diminue les accidents causés par les travailleurs dans l'opération de forage ;
- Elle réduit au maximum les pertes de temps dues à l'emplacement et l'enlèvement de la Kelly et la tête d'injection en passant du "tripping" au "drilling" et vice versa ;
- Elle augmente la vitesse de pénétration des tiges ;
- Elle réduit l'utilisation du "mouse hole" et du "rat hole" ;
- Elle permet de passer (consacrer) plus de temps en forage et moins de temps en "making up/out connections", "tripping, surveying, reaming", et toute autre opération hors du forage ;
- Le plus important avantage de la top drive est de pouvoir faire la rotation et la circulation de la boue de forage même pendant les manœuvres, ce qui va réduire essentiellement les grands risques de coincement et ce qui réduit à son tour le coût total de forage ;
- Elle réduit l'endommagement du réservoir dû au phénomène de gélation des fluides de forage ;
- Elle réduit également les coûts totaux des puits horizontaux en utilisant moins d'agents lubrifiants et d'additifs aux fluides de forage.

b) Le forage avec des longueurs (stands)

- Réduction du temps de “reaming” (descente, rotation, et circulation) au “sloughing shales” (argiles) ou bien au “cleaning to bottom”, ou bien lors de l’ouverture du trou ;
- Les puits multiples peuvent être forés avec les mêmes stands (longueurs) sans gerbage et dégerbage (gain de temps) ;
- Forage de 90ft (27.4m) sans faire de connections (réduire le nombre de connections) ;
- L’utilisation du top drive lors du forage dirigé réduit le temps de correction après chaque ajout ;
- L’utilisation des trois tiges simples de forage va aider à avoir un puits plus vertical.

c) Faire tourner la garniture de forage même en utilisant l’indicateur de poids

Le top drive rend l’opération du “back reaming” plus sécurisée

- Permet d’effectuer la torsion et la traction d’une façon plus sécurisée (durant l’opération du “free point and back off”) ;
- Rend les procédures plus effectives et plus prospères lors du repêchage (fishing opérations) ;
- Réduit le danger causé par la procédure d’enlèvement de la Kelly dans le cas du coincement.

d) Un meilleur système pour le (under balanced drilling)

- Augmente la durée de vie de l’étanchéité du BOP annulaire ;
- Réduit les incidents du coincement ;

Généralement, les coincements dans les industries de forage coûtent entre 200 à 500 millions de dollars.

Une analyse faite par BP a indiqué que 90% des incidents de coincement se produisent pendant les manœuvres ou lors des ajouts. Cela veut dire qu’en comparant avec la méthode de forage classique, la possibilité de coincement est réduite à $\frac{1}{3}$, et par conséquent le coût est réduit par $\frac{2}{3}$.

- Soulager le travail des accrocheurs. [11]

II.5.2. Inconvénients

- Le coût de la maintenance du top drives qui est plus élevé en comparant avec l'ancien système.
- Leurs dimensions importantes.
- Du fait du poids supplémentaire, le câble de forage s'use plus rapidement.
- Elles sont aussi plus difficiles à déplacer sur les installations de forage sur terre qui doivent être démontées lors du déménagement. [11]

Conclusion

En forage, il existe plusieurs types de top drive (hydrauliques ou électriques). Dans notre cas, les top drives étudiées sont des top drives électriques du fabricant **Canrig**.

Vu les différents avantages qu'offre la top drive dans un système de forage tels que, entre autre, le fait qu'elle effectue plusieurs tâches en un temps très réduit, elle devient de plus en plus avantageuse.

Chapitre III :

Les aciers et leurs traitements thermiques

III. Introduction

A chaque fois que l'on est amené à s'intéresser à la structure d'un alliage, la première chose à faire est de regarder son diagramme de phase ; ce dernier nous indique quelles phases qui devraient, à l'équilibre, apparaître dans notre alliage. Pour un système binaire, un diagramme d'équilibre permet de représenter les conditions d'équilibre en fonction de deux variables : la température et la composition C ; la concentration des composants est exprimée en pourcentage massique.

Deux catégories de diagrammes d'équilibres sont à considérer :

- la première se rapporte aux transformations donnant lieu à des équilibres entre phases métalliques solides et liquides ; ce sont les diagrammes de solidification.
- la seconde catégorie de diagrammes concerne les transformations dont le métal est le siège à l'état solide ; celles-ci revêtent une importance considérable, car c'est sur eux que repose la plupart des traitements thermiques qui confèrent aux alliages les propriétés spécifiques recherchées par les utilisateurs.

On distingue deux types de diagramme d'équilibre de système binaire fer-carbone, qui sont :

- diagramme fer-carbone métastable (diagramme Fe-Fe₃C)
- diagramme fer-carbone stable (diagramme Fe-C) [12]

III.1.diagramme fer-carbone métastable (diagramme Fe-Fe₃C)

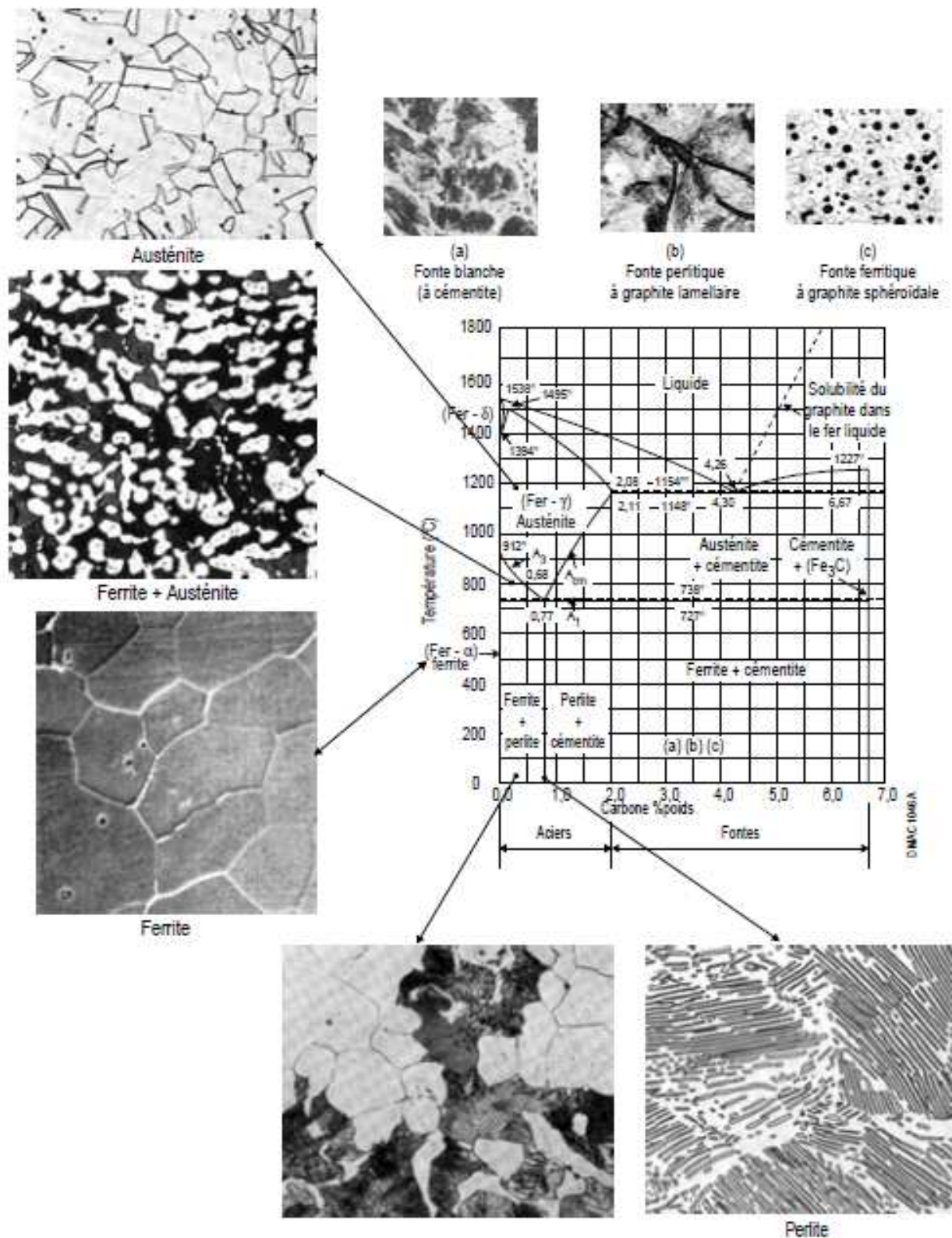


Figure III.1 : diagramme d'équilibre fer-Carbone.

III.1.1. Définitions des constituants micrographiques

Fer α :

Cette variété existe entre la température ambiante et 912°C. Sa structure est cubique centré (CC) à la température 912°C. Son paramètre cristallin (a) = 0.287nm.

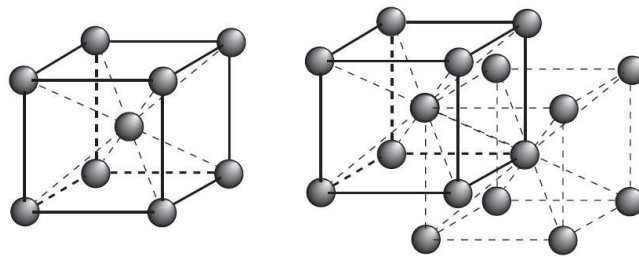


Figure III.2 : Structure cristalline de Fer α .

Le fer γ :

Cette forme existe entre la température 912°C et 1401°C, le fer cristallise dans le réseau cubique à face centrées (cfc). son paramètre cristallin varie entre 0.364 et 0.368 nm

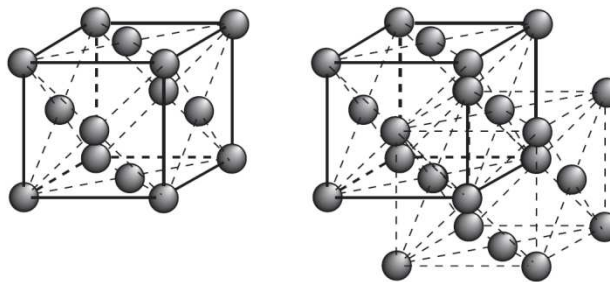


Figure III.3 : Structure cristalline de Fer γ .

Le fer δ :

Cette forme existe entre la température 1401°C et 1538°C température à la quelle fusionne le fer, sa structure est cubique centres (cc).son paramètre cristallin varie entre 0.2926 et 0.2935 nm.

Le carbone :

C'est un élément polymorphe. Dans les conditions ordinaires, il se trouve sous la forme d'une variété de graphite, mais il peut exister également sous la forme d'une variété métastable de diamant. Le carbone est soluble dans le fer à l'état liquide et solide, mais peut aussi former une combinaison chimique, la cémentite Fe_3C .

Le graphite (G) :

C'est de carbone pur ; il possède un réseau hexagonal. Sa température de fusion est de 3550°C .

En plus de ces diverses forme d'alliage ; entre le fer et le carbone peut se former des solutions solides. Parmi ces solutions solides on cite :

La ferrite (F) :

C'est une solution solide de carbone dans le fer α , c'est à dire la ferrite est constituée par le fer α renfermant des traces de carbone (faible teneur en carbone, inférieure à 0,02 %), ainsi que d'autres inclusions.

On distingue la ferrite α à basse température et à solubilité du carbone allant jusqu'à 0,02 % et la ferrite δ à haute température et à solubilité limite en carbone allant jusqu'à 0,1 %. La ferrite est peu tendre et très ductile ($\text{HV} = 90$, $\text{Rm} = 300 \text{ N/mm}^2$, $K = 300 \text{ J/cm}^2$), Elle est magnétique à la température ordinaire, au microscope la ferrite a l'aspect de grains homogènes polyédriques. Elle possède un réseau cubique centré et elle est ferromagnétique jusqu'à 760°C .

L'austénite (A) :

C'est une solution solide de carbone et d'autres inclusions dans le fer γ , La solubilité limite du carbone dans le fer γ est de 2,14 %. L'austénite est stable à haute température, elle est peu dure est relativement malléable ($\text{HB} = 300$). La microstructure de l'austénite est composée de gains polyédriques. Elle peut exister à la température ambiante que dans un état métastable. Elle est antiferromagnétique.

La cémentite (C) :

La cémentite ou carbone de fer (Fe_3C) est une combinaison chimique de fer et de carbone dont la teneur en carbone peut atteindre 6,67 %. Elle est magnétique jusqu'à 210°C et très dure ($\text{HB} = 700$) mais fragile. Elle se cristallise dans un réseau rhomboédrique, sa température de fusion est de 1550°C. La microstructure de la cémentite peut se présenter dans les aciers sous les formes suivantes :

- Lamellaire dans la perlite lamellaire.
- Grains dans les aciers ayant subi un traitement thermique de recuit.
- Précipites inter-granulaires dans les aciers ayant un pourcentage de carbone supérieur à 0,8 %.

Selon le diagramme Fe- Fe_3C et lors du refroidissement, la cémentite peut exister sous trois différentes formes de liaisons mais avec la même composition chimique.

La perlite (P) :

C'est un eutectoïde formé d'un mélange de grains de cémentite, sphéroïdaux noyés dans la ferrite globulaire en couches alternées (88 % de ferrite et 12 % de cémentite). Elle est obtenue lors du refroidissement et par décomposition de l'austénite à 0,8 % de carbone. Elle présente dans l'acier ordinaire toujours une teneur en carbone de 0,85 %. La perlite est dure ($\text{HV} = 200$) et assez ductile $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$, $A = 10^{40}$. [12]

III.2. Classification des aciers**III .2.1. Classification des aciers selon le diagramme d'équilibre**

D'après le diagramme d'équilibre fer-carbone, on distingue trois types d'aciers dans la teneur en carbone est différente ;

- Aciers hypoeutectoïdes.
- Aciers eutectoïdes.
- Aciers hypereutectoïdes. [13]

III.2.1.1. Aciers hypoeutectoïdes

Ceux sont des aciers dont la teneur en carbone est inférieure à 0,8% et leur structure est constituée de grains de ferrite et d'agrégats de perlite.

Selon les propriétés mécaniques on peut scinder les aciers hypoeutectoïdes en cinq sous-groupes :

a) Aciers extra-doux : sont des aciers dont la teneur en carbone est comprise entre 0,05 et 0,1%. Ils contiennent uniquement de la ferrite et une faible quantité de perlite et de cémentite tertiaire.

b) Aciers doux : la teneur en carbone de ces aciers est comprise entre 0,1 et 0,25%.

c) Aciers mi-doux : leurs teneurs en carbone sont comprises entre 0,25 et 0,4%.

d) Aciers mi-durs : leurs teneurs en carbone sont comprises entre 0,4% et 0,6%.

e) Aciers durs : leurs teneurs en carbone sont comprises entre 0,6% et 0,8%.

III.2.1.2. Aciers eutectoïdes

Ce sont des aciers dont la teneur en carbone égale à 0,8% à la température de 727°C. La structure métallographique est constituée de lamelles alternées de ferrite et de cémentite. Ils sont obtenus par la transformation eutectoïde triphasique.

III.2.1.3. Aciers hypereutectoïdes

Leurs teneurs en carbone sont comprises entre 0,8 et 2,11%, ils présentent une structure constituée de plages de perlite séparées par des lisières de cémentite.

On distingue les deux sous-groupes suivants ;

a) Aciers durs : leurs teneurs en carbone sont comprises entre 0,8% et 1%

b) Aciers extra-durs : leurs teneurs en carbone sont comprises entre 1% et 2,11% [13]

III.2.2. Classification par composition chimique

a) Aciers non alliés

(Teneur en Manganèse $\leq 1\%$)

La désignation se compose de la lettre **C** suivie de pourcentage de la teneur en Carbone multiplier par 100.

Exemple :

C22 Acier non allié de 0.22 % de Carbone.

S'il s'agit d'un acier moulée la désignation est précédée de la lettre **G**.

Exemple : **GC40** Acier non allié obtenu par moulage de 0.40 % de Carbone.

Principaux aciers non alliés :

C22 C25 de construction mécanique

C30, C35, C40, C45, C50, C55, C60 ces aciers conviennent aux traitements thermiques

b) Aciers faiblement alliés

(Teneur en manganèse $\geq 1\%$).

La teneur de chaque élément d'alliage $\leq 5\%$.

La désignation comprend dans l'ordre :

Un nombre entier égal à 100 fois le pourcentage de la teneur moyenne en carbone.

Un ou plusieurs groupes de lettre qui sont les symboles chimiques des éléments d'addition ranger dans l'ordre des teneurs décroissantes.

Une suite de nombres rangés dans le même ordre que les éléments d'alliage, et indiquant le pourcentage de la teneur moyenne de chaque élément.

Les teneurs sont multipliées par un coefficient multiplicateur variable en fonction des éléments d'alliage. [14]

Coefficient multiplicateur			
Elément d'alliage	Coef.	Elément d'alliage	Coef.
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4	Ce, N, P, S	100
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10	B	1000

Tableau III.1 : Coefficient multiplicateur.

Aciers faiblement alliés		
Nuances usuelles	Traitement de référence	
	R min	Re min
38 Cr 2	800	650
34 Cr 4	880	660
37 Cr 4	930	700
41 Cr 4	980	740
55 Cr 3	1100	900
25 Cr Mo 4	880	700
35 Cr Mo 4	980	770
42 Cr Mo 4	1 080	850
16 Cr Ni 6	800	650
17 Cr Ni Mo 61	1 130	880
30 Cr Ni Mo 81	1 030	850
51 Cr V 4	1 180	1 080
16 Mn Cr 5	1 080	835
20 Mn Cr 5	1 230	980
36 Ni Cr Mo 16	1 710	1 275
51 Si Cr 7	1 000	830
60 Si Cr 7	1 130	930

Tableau III.2 : Aciers faiblement alliés usuelle.

c) Aciers fortement alliés

Teneur d'au moins un élément d'alliage $\geq 5\%$.

La désignation commence par la lettre **X** suivie de la même désignation que celle des aciers faiblement alliés à l'exception des valeurs des teneurs qui sont des pourcentages nominaux réels. [15]

Exemple : XC 30 Cr 13 Aciers fortement alliés de 0.30 % de Carbone – 13% de Chrome.

Nuances usuelles :

X 4 Cr Mo S 18, X 30 Cr 13, X 2Cr Ni 19-11, X 5 Cr Ni 18-10, X 5 Cr Ni Mo 17-12, X 6 Cr Ni Ti 18-10, X 6 Cr Ni Mo Ti 17-12.

III.3. Traitements thermiques des aciers

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage jusqu'à une certaine température, de maintien à cette température, et suivies d'un refroidissement à une vitesse plus ou moins accélérée en vue de donner au métal des propriétés appropriées, pour son emploi ou sa mise en forme.

Il permet d'améliorer dans une large mesure les propriétés de résistance et de réduire les défauts.

La température de maintien et la vitesse de refroidissement permettent de distinguer entre les différents types de traitements thermiques.

III.3.1. Cycle d'un traitement thermique

En générale le traitement thermique comprend trois étapes :

- un chauffage jusqu'à une température qui dépend de types de traitement voulu.
- Maintient isotherme à cette température de traitement.
- Un refroidissement dans un milieu préalablement défini.

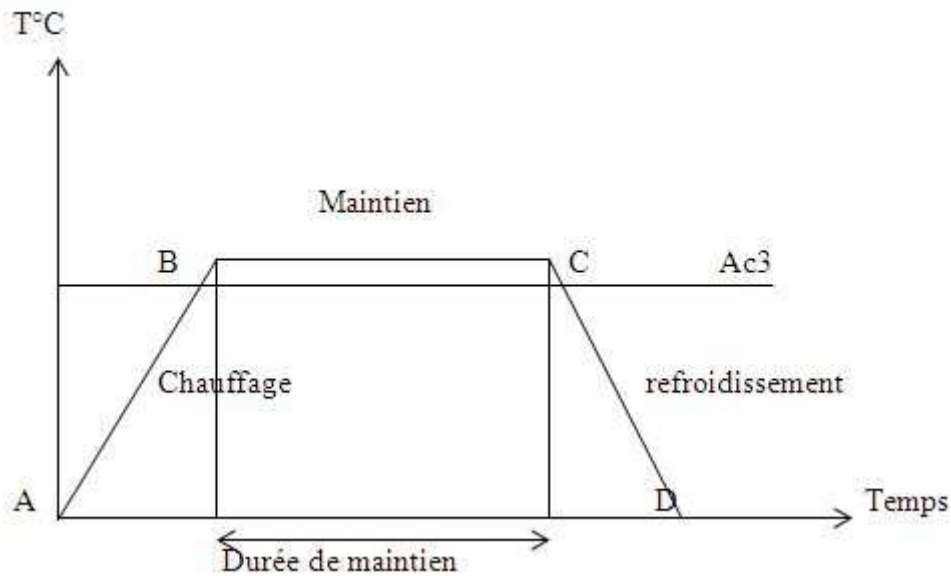


Figure. III.1 : Cycle d'un traitement thermique.

III.3.2. Principaux types de traitements thermiques

Les traitements thermiques appliqués aux aciers peuvent être classés en trois types principaux :

- Les traitements d'homogénéisation, généralement appliqués sur les produits coulés avant leurs transformations ou également sur les produits déjà corroyés.
- Les traitements d'adoucissements par recuit ou restauration généralement appliqués en cours ou en fin de transformation.
- Les traitements de trempe structurale comportent :
 - une mise en solution.
 - une trempe.
 - une maturation ou /et un revenu produisant le durcissement.

III.3.2.1. Le recuit

Le recuit amène les alliages en équilibre physico-chimique et mécanique. Il tend à réaliser l'équilibre structural en faisant disparaître les états hors d'équilibre résultant des traitements thermiques et mécaniques antérieurs.

Le recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité (résilience et allongement) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance (dureté, limite élastique, charge à la rupture). Le recuit a pour but de :

- diminuer la dureté d'un acier trempé.

- Obtenir le maximum d'adoucissement pour faciliter l'usinage ou les traitements mécaniques.
- Régénérer un métal écroui ou surchauffé.
- Homogénéiser les textures hétérogènes.
- Réduire les contraintes internes.

Le cycle thermique d'un recuit comprend:

- ✓ Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- ✓ Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température
- ✓ Un refroidissement très lent généralement à l'air calme. La vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit (VCR) (figure III.2)

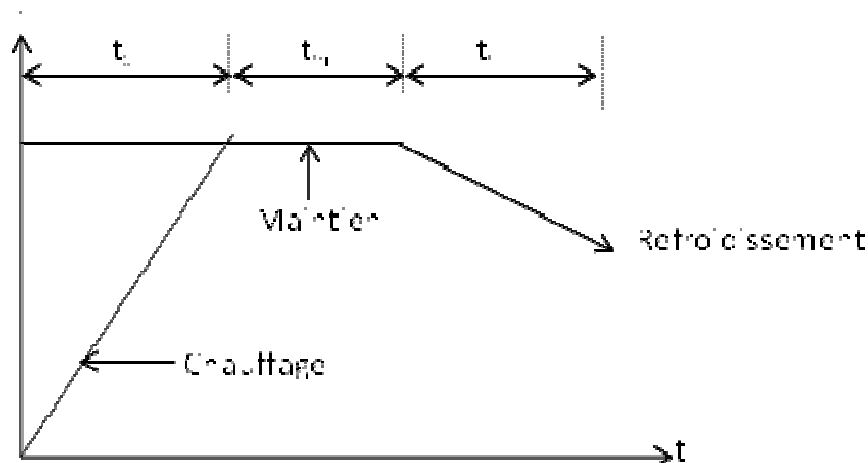


Figure III.2 : Cycle thermique du recuit.

T_r = température de recuit.

t_c = temps de chauffage.

t_m = temps de maintien.

t_r = temps de refroidissement. [14]

III.3.2.1.1. Recuit demandant des températures supérieur à Ac_1 **a) Recuit complet**

Il comporte un chauffage et un maintien vers ($Ac_3 + 50^\circ C$) suivis d'un refroidissement au four à de faible degrés de surfusion afin d'assurer la décomposition de l'austénite et de parer à la formation de structures à grande dureté (martensite, bainite). Ce recuit s'effectue sur des pièces ayant subies des traitements thermiques et mécaniques variés afin de faciliter leur usinage ou leur déformation à froid. C'est ce qu'on désigne généralement sous le terme "recuit". [14]

b) Recuit d'homogénéisation (ou de diffusion)

Ce recuit s'applique aux aciers bruts de coulée et aux aciers moulés dans le but d'affaiblir les effets de la ségrégation dendritique ou intercrystalline (les éléments d'alliage et le carbone sont répartis de manière hétérogène à l'échelle du grain austénitique). Cette ségrégation diminue la plasticité et ductilité d'un acier allié. Le chauffage du recuit d'homogénéisation doit être assez poussé ($1100 + 1200^\circ C$) sans toutefois atteindre le domaine de surchauffe du métal qui provoque un grossissement indésirable des grains. Ce genre de recuit est souvent suivi d'un recuit complet ou de régénération pour affiner les grains et améliorer les propriétés mécaniques. [14]

c) Recuit de régénération (ou d'affinage structural)

Ce recuit est appliqué aux pièces qui ont souvent des structures surchauffées telles que:

- celles ayant subi un traitement d'homogénéisation par diffusion.
- Les pièces moulées.
- Les zones voisines des joints de soudure.
- Les pièces forgées à haute température, etc.....

Le recuit de régénération comprend:

- un chauffage sans maintien prolongé à une température légèrement supérieure à Ac_3 de manière à obtenir une austénite à grains fins.

- Un refroidissement à une vitesse convenable conduisant à une structure ferritoperlitique fine (cas des aciers hypoeutectoïdes). [14]

III.3.2.1.2. Recuit demandant des températures inférieures à ac_1

a) Recuit d'adoucissement

C'est un recuit qui est réalisé à quelques dizaines de degrés en dessous de Ac_1 (650 - 680°C) suivi d'un refroidissement lent afin d'obtenir un état suffisamment stable et, si possible exempt de contraintes. Ce traitement a pour but d'améliorer l'usinabilité ou l'aptitude à la déformation à froid. Pour les aciers hautement alliés, il est le seul traitement qui détruit les structures hors d'équilibre et qui réduit la dureté. [14]

b) Recuit de coalescence (ou de globulisation)

Ce traitement est utilisé pour améliorer l'aptitude à la déformation à froid de l'acier (filage par exemple), et où on cherche en général à obtenir une structure globulisée de la cémentite. Ce recuit a pour but d'améliorer l'usinabilité des aciers en rendant possible l'application de grandes vitesses de coupe et en assurant un très bon état de surface. Le cycle thermique comprend:

- un chauffage juste au-dessous d' Ac_1 ,
- un maintien prolongé à cette température, ou une oscillation autour.
- Un refroidissement lent pour obtenir la coalescence de la cémentite.

La figure III.3, montre le processus schématisé de sphéroïdisation de la cémentite à partir d'une perlite lamellaire. Rappelons que la coalescence peut être obtenue aussi par un revenu à haute température d'une structure initialement martensitique. [14]

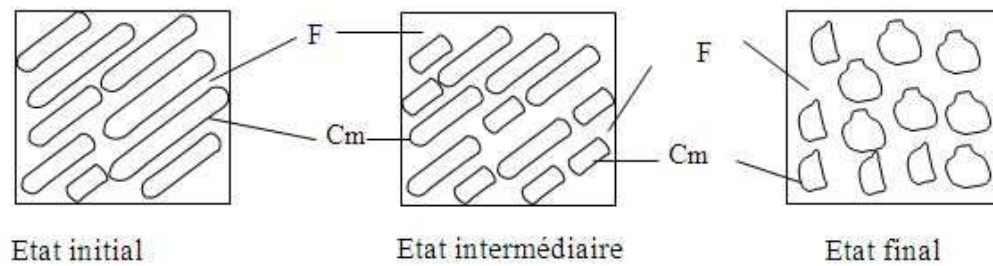


Figure III.3 : Schéma de coalescence de la cémentite.

c) Recuit de recristallisation

Le travail à froid d'un métal par déformation plastique (laminage, tréfilage...) conduit à un écrouissage. Une structure écrouie est caractérisée par une forte déformation orientée des grains et une grande densité de défauts cristallins. La structure devient fragile et s'accompagne d'un accroissement des propriétés de résistance et d'une réduction des propriétés plastiques. Ce recuit s'effectue dans la zone de recristallisation située au-dessus d'une température qui dépend de la nuance de l'acier et de son degré d'écrouissage. Il y a germination de nouveaux grains puis croissance jusqu'à contact mutuel. [14]

d) Recuit de détente (ou de relaxation)

Ce recuit (voir figure ci-dessous) a pour but le relâchement plus ou moins complet des contraintes résiduelles dues au moulage, soudage, usinage. Il s'effectue généralement pendant 1 heure vers $(600 + 650^{\circ}\text{C})$, mais souvent beaucoup plus bas pour les aciers alliés après déformation plastique à froid.

La figure III.4, résume les domaines de température des principaux recuits décrits.

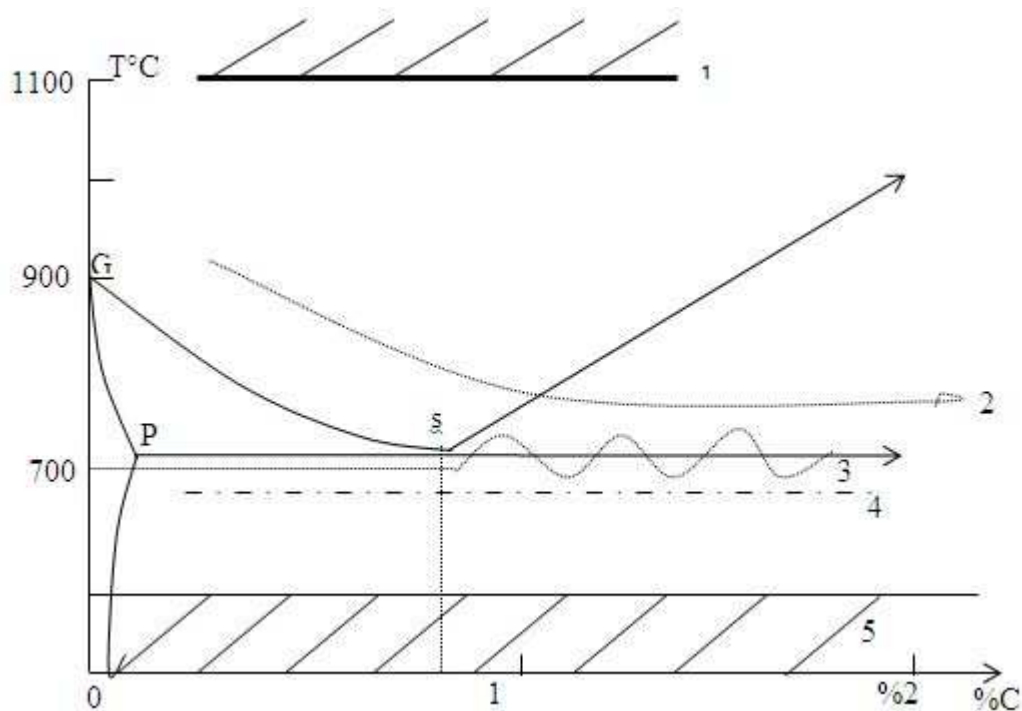


Figure III.4 : Domaine de température des différents recuits.

- 1- Recuit de diffusion;
- 2- Recuit de régénération, recuit complet;
- 3- Recuit d'adoucissement, de coalescence;
- 4- Recuit de recristallisation;
- 5- Recuit de détente. [14]

III.3.2.2. Trempe

C'est un traitement thermique qui consiste à chauffer le métal et le refroidir à une grande vitesse. Il permet de donner le maximum de dureté et le minimum de résilience grâce à l'obtention d'une structure martensitique.

La trempe n'est pas un traitement thermique définitif. Pour diminuer la fragilité et les contraintes qu'elle produit et obtenir de bonnes propriétés mécaniques. [16]

III.3.2.2.1. Austénitisation

Durant l'austénitisation, la structure de l'acier s'homogénéise en transformant les éléments microstructuraux ferritiques (cc) en austénite (cfc) et en dissolvant la cémentite et les carbures dans l'austénite.

L'austénite consiste :

- A chauffer l'acier à au moins quelques degrés (30-50) °C au-dessus de son point de transformation.
- Le maintenir pendant environ 30 minutes dans son domaine austénitique. [16]

III.3.2.2.2. Choix du temps de maintien

Le maintien du métal à la température de trempe doit assurer le chauffage à cœur et l'achèvement des transformations de phase, sans qu'il soit trop lent pour éviter le grossissement des grains et la décarburation des couches superficielles des pièces.

La durée totale du chauffage t_t dépend:

- du temps d'échauffement à cœur " $t_{éc}$ " jusqu'à la température demandée. Ce temps dépend de la forme et des dimensions des pièces, de la nuance de métal, du type de fours, ...etc.
- du temps de maintien isotherme " t_{mi} " qui dépend de la composition et de l'état initial de métal.

Donc: $t_t = t_{éc} + t_{mi}$

En réalité pour déterminer t_t , on se réfère aux données expérimentales. (Le tableau III.3) résume la durée moyenne rapportée à 1 mm d'épaisseur dans différents types de fours.

Moyen de chauffage	Durée en (s/mm) d'épaisseur de pièce		
	Ronde	carrée	Rectangulaire
Four électrique	40-50	50-60	60-75
Four à flamme	35-40	45-50	55-60
Bain de sel	12-15	15-18	18-22
Bain de plomb	6-8	8-10	10-12

Tableau III.3 : Durée approchée d'austénitisation dans différents types de fours.

III.3.2.2.3. Choix de la vitesse de refroidissement pour la trempe

Pour estimer la vitesse de refroidissement, on utilise la relation entre la température et le temps: $T = f(\log t)$ représentée graphiquement. L'échelle logarithmique permet un étalement convenable des courbes de refroidissement rapide.

La vitesse critique de trempe martensitique est soit:

- mesurée à 700°C (V_{r700})
- exprimée dans un gradient de température généralement compris entre 700 et 300°C (v).

Le refroidissement doit se réaliser à une vitesse supérieure à la vitesse critique de trempe. Celle-ci étant la vitesse limite qui assure la transformation totale de l'austénite en martensite.

La figure III.5, représente les courbes TTT de la transformation de l'austénite surfusionnée avec indication de la vitesse critique de trempe V_c qui effleure le domaine de transformation Austénite Perlite. Chaque vitesse de trempe $V_{tet}V_c$, assure donc la transformation Austénite Martensite, c'est à dire qu'elle assure la trempe martensitique.

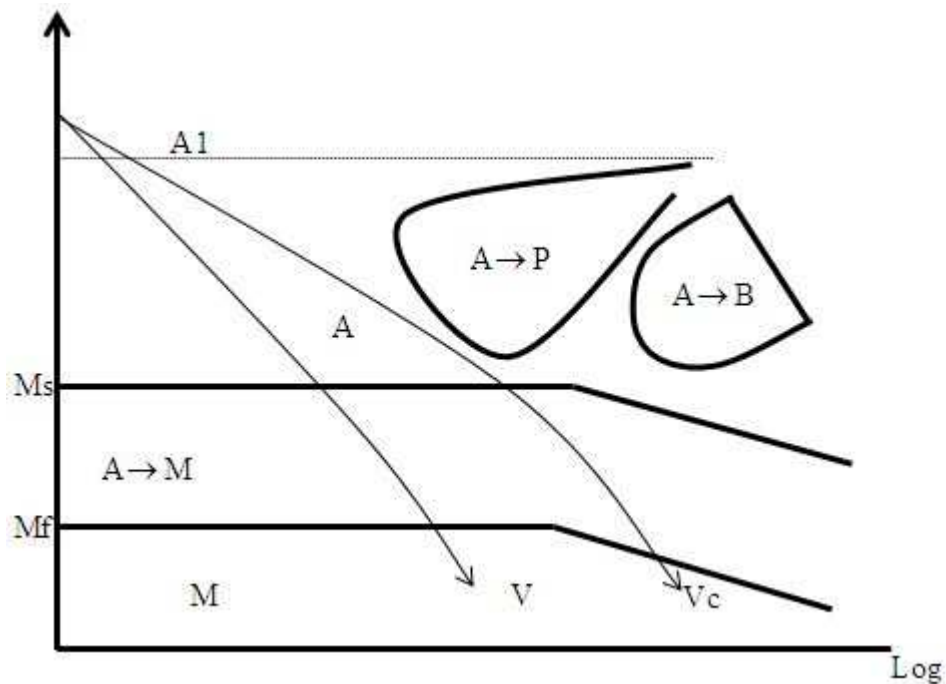


Figure III.5 : Représentation schématisée des courbes de refroidissement sur un diagramme TTT.

III.3.2.2.4. Choix du milieu de trempe

Le milieu de trempe doit assurer le refroidissement dans toute la section des pièces, et l'obtention d'une structure martensitique sans produire de défauts tels que tapures, déformations, gauchissements, contraintes résiduelles ...etc. Le meilleur refroidissement est celui qui se fait à grande vitesse dans l'intervalle de température $A1 - Ms$. Ceci permet d'étouffer la décomposition de l'austénite surfusionnée dans le domaine des transformations: perlitique et intermédiaire.

Ce refroidissement est ralenti vers les basses températures dans le domaine de la transformation martensitique $Ms-Mf$. Une grande vitesse de refroidissement dans l'intervalle martensitique est indésirable car elle accroît les contraintes résiduelles et produit des tapures.

Généralement, on utilise pour les bains de trempe des liquides qui peuvent bouillir: eau, solutions aqueuses de sels et d'alcalis, huiles. La trempe par ces agents passe par une étape de refroidissement pelliculaire (ou caléfaction) où une gaine de vapeur protège les pièces et empêche le refroidissement. [16]

Une fois que l'agent refroidissant se met en ébullition, la gaine se rompt et l'évacuation de la chaleur s'accélère.

Pour les aciers au carbone, on utilise le plus souvent de l'eau comme milieu de trempe: alors que pour les aciers alliés on utilise soit de l'huile, soit un bain de sel.

III.3.2.5. Trempabilité

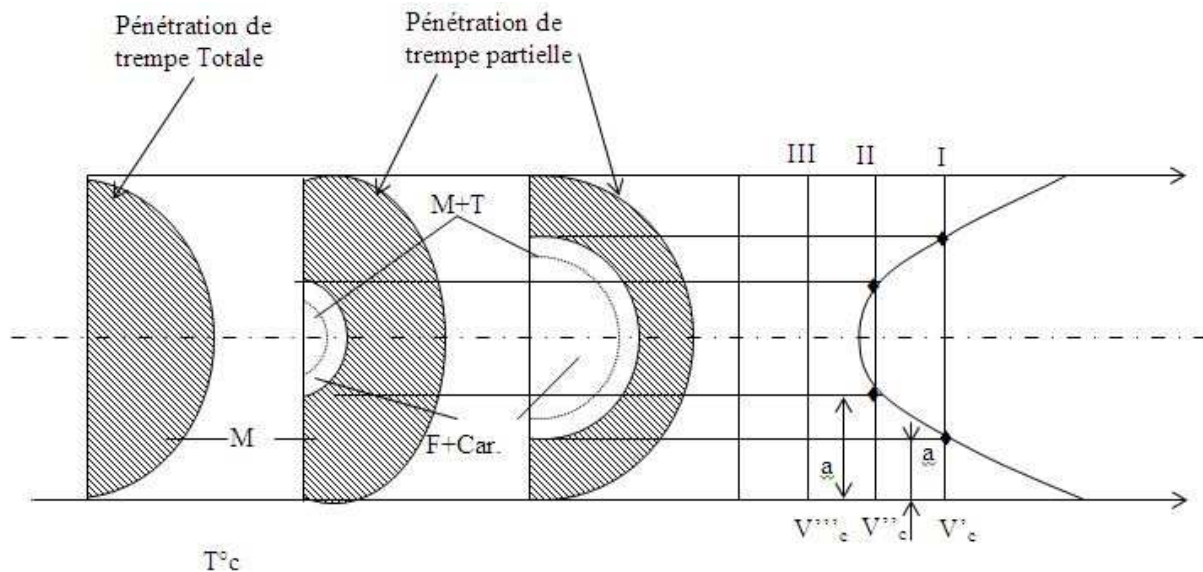


Figure III.6 : Différentes pénétration de trempe d'une section ronde à différentes vitesse critiques de trempe martensitique.

III.3.2.3. Revenu

Le revenu est une opération finale du traitement thermique qui a pour but de corriger les défauts causés par la trempe. Il consiste à chauffer le métal trempé à une température inférieure à A_{c1} , à le maintenir à cette température et enfin à le refroidir jusqu'à la température ambiante. Le revenu provoque une évolution de la structure du matériau vers un état plus proche de l'état physico-chimique d'équilibre, sans toutefois l'atteindre. Il permet d'avoir un compromis satisfaisant entre les propriétés de résistance (R_m , R_e , H) et de plasticité (A , Z et K).

La vitesse de refroidissement après revenu a une influence très faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles.

Du point de vue applications industrielles, on distingue trois types de revenu:

a) Revenu à basse température

Il s'effectue avec un chauffage vers 250°C et permet de diminuer les contraintes internes. Il transforme la martensite de trempe en martensite de revenu. Ce revenu augmente la résistance et améliore la ductilité sans altérer sensiblement la dureté (58 + 63 HRC), d'où une bonne tenue à l'usure. Il s'applique aux outils de coupe et aux instruments de mesure en acier au carbone et faiblement alliés.

La durée de ce revenu varie de 1 à 3 heures.

b) Revenu à température intermédiaire

Il se réalise entre 350 et 500°C et s'emploie pour les ressorts variés et les étapes. Il permet d'obtenir une limite élastique et une résistance à la fatigue élevées. La structure est de type troostite de revenu ou troostite - martensite dont les duretés varient de 40 à 50 HRC. Le refroidissement après revenu à 400 ou 450°C se fait à l'eau, ce qui contribue à la formation en surface de contraintes de compression résiduelles qui élèvent la limite de fatigue des ressorts.

c) Revenu à haute température

Il se fait entre 500 et 680°C. Il donne à l'acier la structure sorbite de revenu. Ce type de revenu crée un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité de l'acier. La trempe suivie de revenu à haute température (ce traitement double est appelé amélioration) améliore par rapport à l'état normalisé ou recuit les limites de rupture et d'élasticité. La striction et surtout la résilience.

L'amélioration est appliquée surtout aux aciers de construction à moyen carbone (0,3 + 0,5%).

III.4 : Essai mécaniques

Les essais mécaniques ont pour but de déterminer un certain nombre de caractéristiques des métaux et des alliages.

Aptitude à la déformation par traction ou compression, résistance à la pénétration d'une pièce soumise à un effort constant, etc.

Les résultats obtenus dans ces différents essais qui mettent en œuvre des techniques qui sont en relation directe avec la structure du métal et permettent de prévoir son comportement dans les conditions et d'utilisation.

III.4.1. Essai de traction

III.4.1.1. Principe de l'essai

L'essai de traction est l'un des essais mécaniques les plus fréquents. Il sert, comme nous le verrons, à déterminer avec certitude plusieurs propriétés mécaniques des matériaux.

On déforme graduellement une éprouvette, habituellement jusqu'à la rupture, en appliquant le long de son axe une force qui croît graduellement. La figure ci-dessous représente une éprouvette d'essai de traction (normalement la section transversale est circulaire mais on utilise aussi des éprouvettes à section transversale rectangulaire).

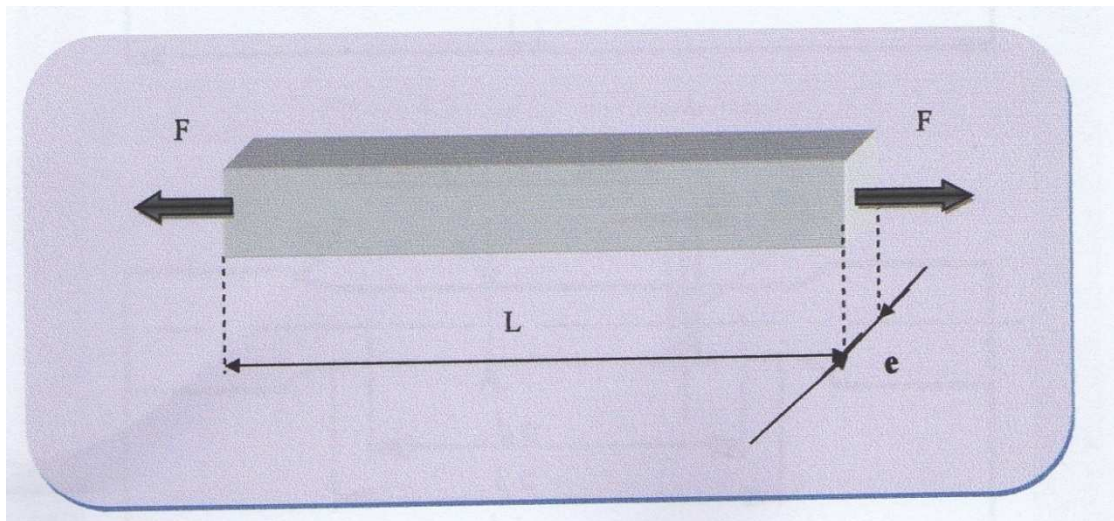


Figure III.7 : Essai de traction.

Pendant l'essai on relève un diagramme au sont enregistrés les allongements en fonction des charges, ensuite on peut calculer plusieurs caractéristiques mécaniques :

- La limite élastique et de la rupture ;
- Le module de Young et la contrainte maximale de traction ;
- Le coefficient de poisson.

III.4.1.2. Epreuves

Les éprouvettes comportent généralement deux têtes d'amarrage et une partie calibrée soigneusement polie de section constante comportant deux repères distants d'une longueur L_0 , la partie calibrée est raccordée aux extrémités par des congés de rayon R , et les têtes d'amarrage sont adaptées aux mâchoires de la machine de traction.

La section droite de l'éprouvette peut être circulaire, carrée, rectangulaire ou hexagonale.

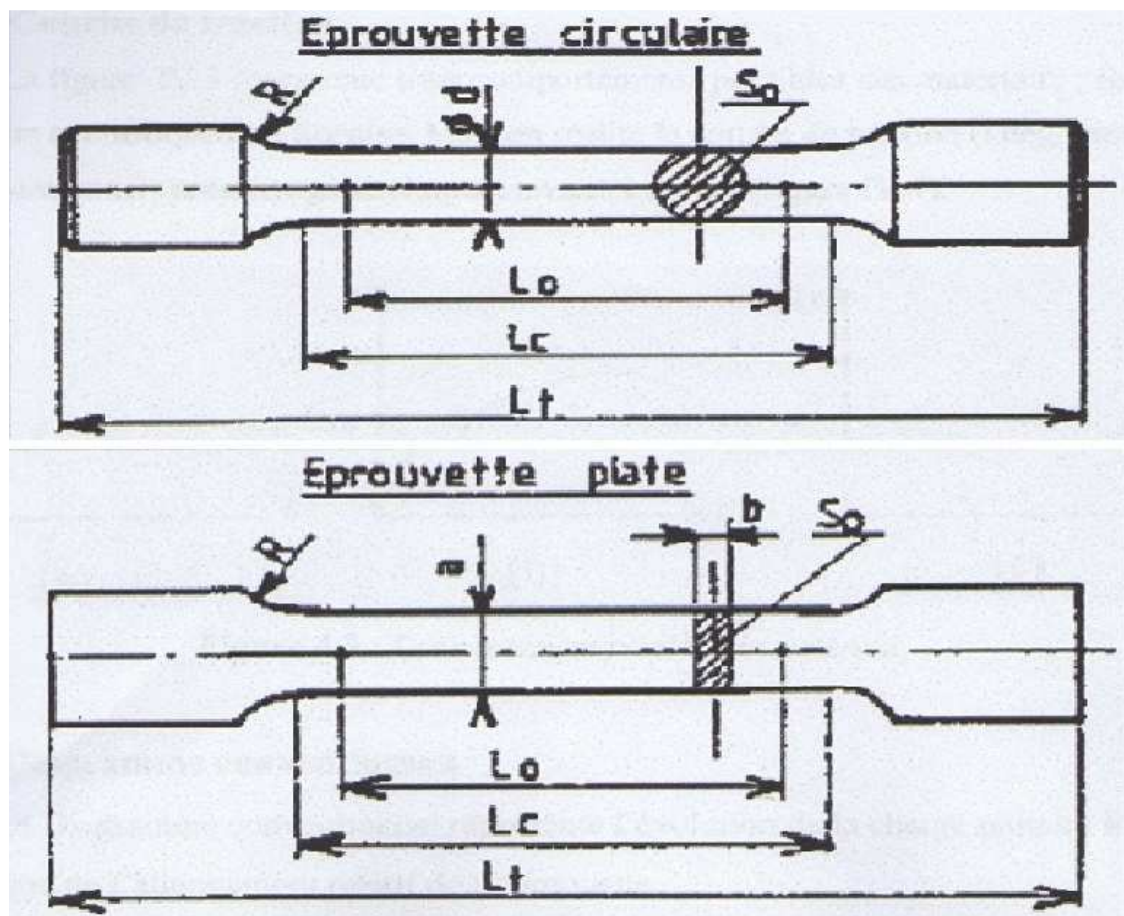


Figure III.8 : Epreuves de traction.

Où :

- **a** : Epaisseur de l'éprouvette plate
- **b** : Largeur de l'éprouvette plate
- **S_0** : Section initiale de l'éprouvette
- **L_c** : Longueur de la partie calibrée

- **L_t** : Longueur totale de l'éprouvette
- **L₀** : Longueur initiale entre repères : il s'agit de la longueur utilisée pour l'étude de l'allongement.

Les dimensions des éprouvettes sont fixées par des normes en fonction du type d'alliage (acier, fonte, aluminium...), de la forme (rond, plate, fil..) et des dimensions des sections.

Pour les aciers de forme (d ou $b > 0,3$ mm), la norme est NF A 03-251 et le dimensionnement normalisé est : $L_0 + d/2 < L_c < L_0 + 2d$

III.4.1.3. Courbe de traction

La figure III.9 représente respectivement à (a, b, c) trois comportements possibles des matériaux : fragile, ductile et élastique non linéaire. Mais en réalité la courbe de traction (Diagramme conventionnel) présente généralement un autre aspect (figure III.10).

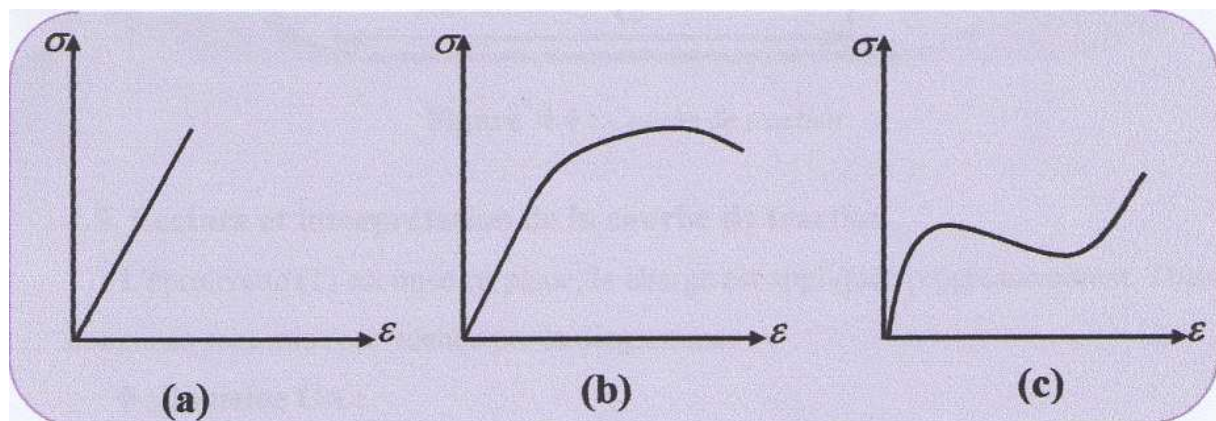


Figure III.9 : Comportements possibles des matériaux.

III.4.1.4. Diagramme conventionnel

Le Diagramme conventionnel représente l'évolution de la charge unitaire R en fonction de l'allongement relatif de l'éprouvette.

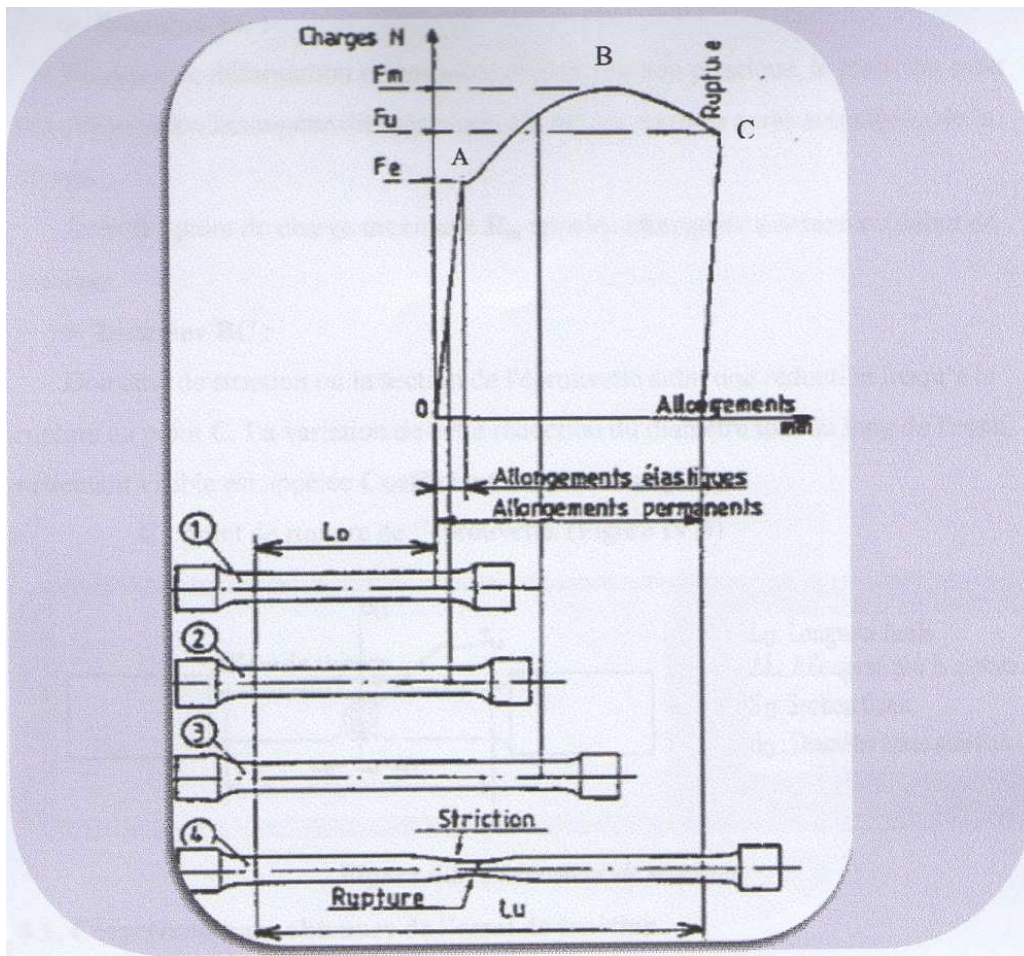


Figure III.10 : Courbe de traction.

III.4.1.5. Lecture et interprétation de la courbe de traction

L'éprouvette (1) est mise en place, la charge est appliquée progressivement. Trois domaines sont mis en évidence par le diagramme.

- **Domaine OA**

Domaine élastique où la déformation est réversible une fois la charge supprimée. Le point A correspond à la limite élastique R_e . Dans le domaine OA la charge est proportionnelle à l'allongement. La loi de variation de la charge en fonction de l'allongement ϵ est connue sous le nom de la loi de HOOKE donnée par : $R = E \cdot \epsilon$

- **Domaine AB**

Domaine de déformation permanente ou déformation plastique, le matériau subit une déformation homogène dite plastique qui est permanente après suspension de la charge.

Avec **B** : point de charge maximale R_m appelée charge de rupture ou début de striction.

- **Domaine BC**

Domaine de striction ou la section de l'éprouvette subit une réduction jusqu'à la rupture au point **C**. La variation de cette réduction du diamètre tout au long de l'essai, nettement visible est appelée Coefficient de Striction. [17]

C : point de rupture de l'éprouvette. (Figure III.11)

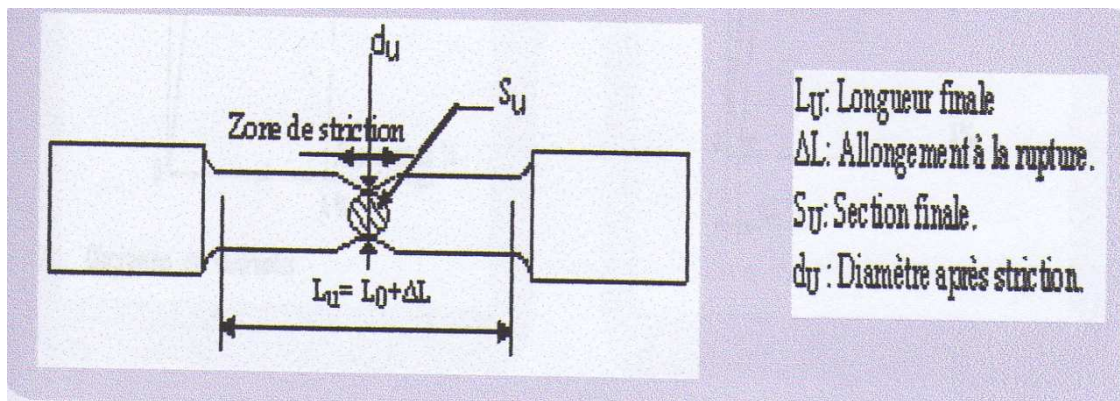


Figure III.11 : Phénomène de striction.

III.4.1.6. Caractéristiques obtenues de l'essai de traction

- **Limite apparente d'élasticité**

R_e , Où F_e est la charge apparente d'élasticité exprimée en N et S_0 la section initiale en mm^2 . La limite élastique exprimée en (MPa) correspond au seuil d'écoulement plastique car elle représente aussi le début de la déformation plastique.

- **Résistance à la traction R_m**

C'est la résistance limite à la traction exprimée en (MPa), cette valeur est utilisée pour estimer la limite d'endurance à la fatigue. (Figure III.6.a). Elle est le rapport de l'effort maximal de traction F_m à la section initial S_0 de L'éprouvette.

- **Limite conventionnelle d'élasticité $R_{0,2}$**

Est atteinte quand on observe la première chute de l'effort lors de l'essai. En l'absence de ce phénomène, quand **OA** n'est pas rectiligne, on doit utiliser la limite conventionnelle d'élasticité.

R 0,2 correspond à l'intersection de la courbe de traction et la parallèle à OA menée de l'axe des abscisses correspondant à un allongement plastique de 0,2% (Figure III.12.b).

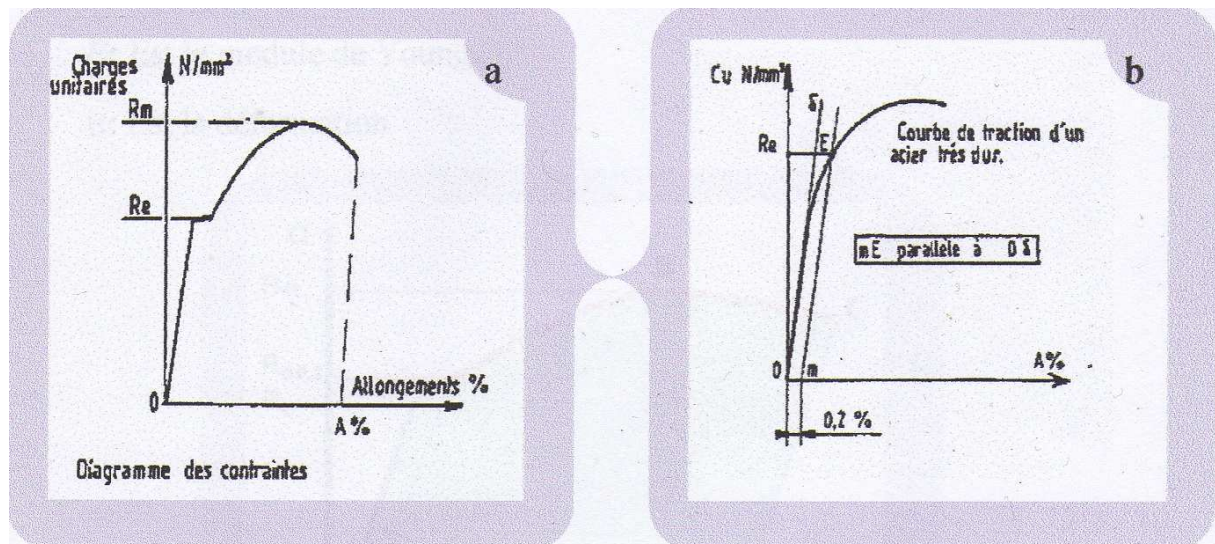


Figure III.12 : Diagramme des contraintes.

- **Allongement à la rupture A%** est le rapport

$$A\% = \frac{Lu - Lo}{Lo} \cdot 100$$

Ou:

Lu : est la longueur de l'éprouvette reconstituée après rupture.

- **Coefficient de striction Z%**

$$Z\% = \frac{So - Su}{So} \cdot 100$$

- **Allongement de striction Zu%**

$$Zu\% = \frac{So - Su}{Su} \cdot 100$$

Module d'Young E

Est la pente de la partie linéaire **OA** (figure III.13) représente le module d'Young **E** ou module l'élasticité, exprimée en (MPa ou GPa). On appelle **loi de HOOK** la relation :

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Avec :

- σ : est la contrainte
- E : est le module de Young
- ε : est la déformation

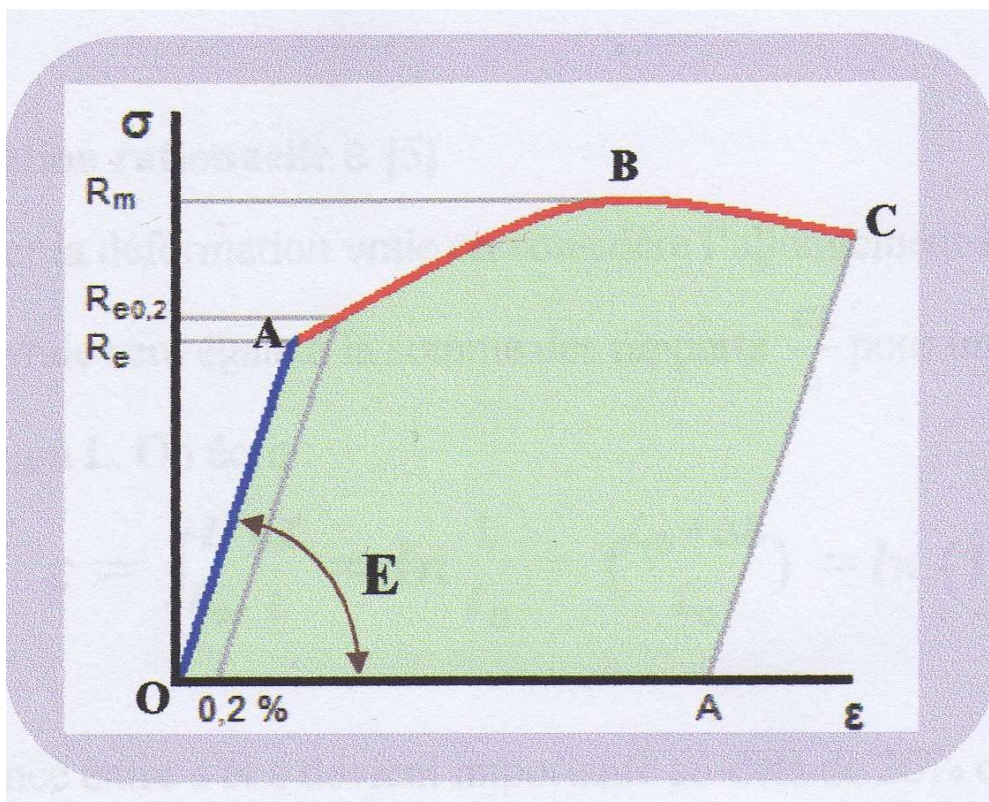


Figure III.13: Module d'Young.

III.4.2. Essai de dureté

Les essais dits de dureté mesurent la pression moyenne de contact des matériaux, lors de l'enfoncement d'un indenteur (conique, pyramidal ou sphérique) sur une surface plane. La dureté est évaluée après retrait de l'indenteur, à partir de la mesure des dimensions de l'empreinte laissée par l'indenteur, ou pendant l'essai à partir de la courbe d'indentation qui lie la profondeur d'indentation à la charge appliquée.

L'intérêt principal de cet essai est qu'on peut le réaliser sur des échantillons de dimensions très réduites, sans préparation particulière, excepté un polissage de surface, ceci permet de tester la réussite d'un traitement de surface qui porte sur quelques centaines de micromètres de profondeur.

III.4.2.1. Essai de brinell

Le pénétrateur est une bille en acier trempé (dureté HBS) ou en carbure de tungstène (dureté HBW) de diamètre D (mm). L'empreinte est une calotte sphérique moyen d [mm] ; moyenne de deux diamètre orthogonaux mesures à l'aide d'un appareil optique approprié). [18]

La charge d'essai F (N) est choisie dans une gamme normalisée adaptée à D et au matériau testé la dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force à l'origine) à la surface de l'empreinte, exprimée sans dimension :

$$\text{HBS ou HBW} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Avec :

- F : Charge d'essai en Newtons.
- D : Diamètre de la bille en millimètres.
- d : Diamètre de l'empreinte en millimètre.

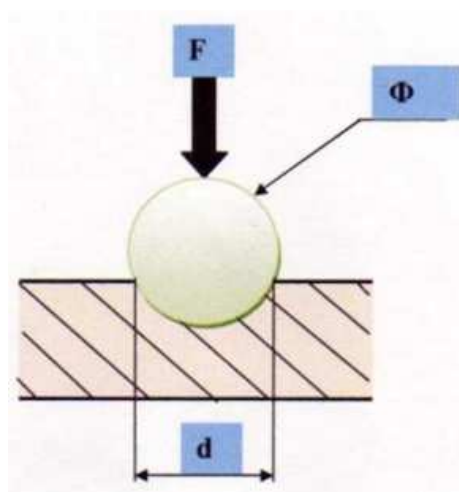


Figure III.14 : Essai de brinell.

Pour éviter la déformation et la détérioration de la bille, l'usage de l'essai brinell est limité aux matériaux tels que $HBS < 350$ ou $HBW < 650$.

Les diamètres de la bille en acier sont : $D = 10-5-2.5-1$ en mm et les charges P valent $30D^2$ pour les aciers. La bille est en acier dur, trempé, et ne doit pas être déformée par l'essai [19].

Le diamètre D de l'empreinte est mesuré au $1/100$ de mm près (en général au microscope).

III.4.2.2. Essai de Vickers

Le pénétrateur est une pyramide en diamant, à base carrée et d'angle au sommet entre face opposée égal à 136° . L'empreinte est une pyramide en creux de diagonale moyenne D (en mm, moyenne de deux diagonales du carré de base, mesurées à l'aide d'un appareil optique approprié). La charge d'essai $F(N)$ est choisie dans une gamme normalisée. La dureté est donnée par le rapport de la charge (en Kg force à l'origine) à la surface latérale de l'empreinte pyramidale, exprime sans dimension :

$$HV = 0.12 \times [(2F \sin^{136^\circ}/2) / d^2] = 1.854 \times (F/d^2)$$

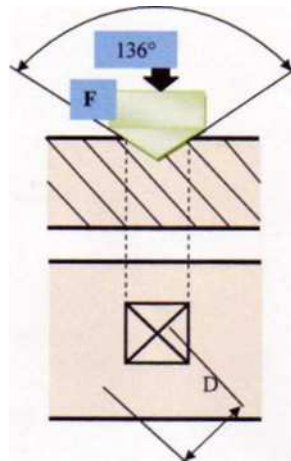


Figure III.15 : Essai de Vickers.

Les duretés brinell et Vickers donnent des résultats du même ordre, variant de quelques unités pour des matériaux très mous. Jusqu'à quelques milliers pour les matériaux très durs (Céramique, carbures métalliques). [19]

III.4.2.3. Essai de Rockwell

Mesure de la dureté d'un métal selon l'enfoncement d'une bille d'acier, appelé dureté Rockwell B (HRB) ou d'un cône de diamant de 120°, dureté Rockwell C (HRC).

L'essai consiste à appliquer un pré charge de 10 Kg (100N) sur le pénétrateur qui s'enfonce d'une profondeur e_0

On applique une force supplémentaire F, pendant 3 à 8 s, le cône s'enfonce d'une profondeur e_1 . On supprime la force F, le cône reste enfoncé d'une profondeur e_2 . La profondeur rémanente ($e_2 - e_0$) permet le calcul de la dureté

Les indices Rockwell peuvent se lire directement sur un cadran gradué.

III.4.2.3.1. Rockwell C

Dans ce type le pénétrateur est un cône de diamant d'angle au sommet 120° et d'extrémité sphérique ($\varnothing 0,2$ mm).

L'accroissement (r) se mesure en unités égales à 0,002. La charge utilisée est 150 Kg (1400 N) dont 10 Kg de charge initiale.

$HRC = 100 - r$ (r est mesurée en unités égales à (1.002 mm))

Exemple : si $e=0,12$ mm,

$r = 0,12 / 0,002 = 60$ alors $HRC = 100 - 60 = 40$.

III.4.2.3.2. Rockwell B

Le pénétrateur est une bille en d'acier trempé de diamètre 1,59 mm. L'accroissement se mesure en unités égales à 0,002 mm. Cet essai est utilisé pour les aciers doux, non trempé et les métaux et alliages non ferreux.

La charge F utilisée est de 100 kg (900 N).

$HRB = 130 - r$

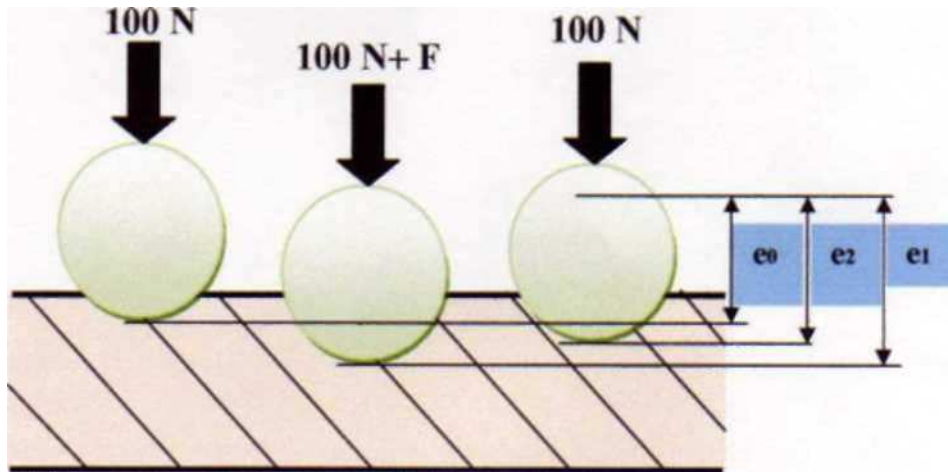


Figure VI. I2 : Essai de dureté Rockwell HRB.

Chapitre IV:

Techniques expérimentales

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'acier utilisé dans notre étude, ainsi que les techniques et les équipements expérimentaux employés.

IV.2. Problématique

L'usure abrasive causée par les impacts de particules de sable qui sont parfois de nature silice (matière très dur qui dépasse dans quelques cas la dureté des aciers) s'introduit dans la boue de forage malgré un tamisage avec des sas superposé (ouverture entre fils allons jusqu'à 5,66 mm), donc il s'agit des masses de particules importantes.

La boue qui s'écoule dans les conduites avec un débit important et une pression élevée procure à ces particules une énergie cinétique, lors de la fermeture de la vanne la vitesse des particules augmente et le phénomène de sifflage (formation de petit jets très fins et bruyants) qui arrache la matière, à force de répéter l'opération par utilité d'usage, le défaut s'accroît.

Puisque ce type d'érosion se produit entre la pièce (42CD4) et les grains de sable, nous avons opérés des traitements thermiques, afin d'améliorer certaines propriétés mécaniques (à savoir la dureté)



Figure IV.1 : vanne avant et après défection.

IV.3. Acier utilisé

Acier pour traitement thermique faiblement allié au Chrome et au Molybdène 42CD4. Cet acier, dont l'analyse, l'élaboration et le traitement ont été particulièrement ajustés,

présente une excellente aptitude à l'usinage, des caractéristiques mécaniques, homogènes et assurées, répondant aux exigences "pétrole" (ASTM A 193 Gr. B7) et (ASTM A 320 Gr. L7).

Par trempe superficielle, on peut lui conférer une dureté supérieure à 56 HRc tout en maintenant la haute résilience à cœur.

Sa désignation selon quelque norme sont présentées dans le tableau suivant ;

Afnor	W.L	EN	DIN	BS	AISI
42CD4	1.7225	42CrMo4	42CrMo4	708M40	4140

Tableau IV.1 : désignation de l'acier selon quelques normes.

IV.3.1. Composition chimique

La composition chimique de l'acier 42CD4 selon la Norme NF EN 10 083-1

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo
Mini	0.38	0.60				0.90	0.15
Maxi	0.45	0.90	0.40	0.035	0.035	1.20	0.30

Tableau IV.2 : composition chimique de l'acier 42CD4.

IV.3.2. Traitement thermique

	Température	Milieu
Recuit de normalisation	725°-750°C	Air
Trempe	825°-875°C	Huile
Revenu	450°-650°C	Air

Tableau IV.3 : température et milieu de traitement thermique.

IV.3.3. Emplois

Cet acier de Traitements Thermiques. permet de réaliser des pièces de moyennes et grosses sections soumises à des contraintes élevées. Il permet d'obtenir une dureté élevée ainsi qu'une bonne résistance à l'usure.

De plus, il est souvent utilisé pour la fabrication de pièces trempées superficiellement. Apte aussi pour les emplois à chaud jusqu'à la température de 500°C.

Exemples d'utilisation

Construction automobile et aéronautique. Pièces à ténacité élevée telles que fusées d'essieux, bielles, roues dentées, pignons et bandages.

Pièces de transmission chargées: arbres, colonnes de presse, vérins, pignons de réducteurs de vitesse, couronnes dentées d'engins de levage, boulonnerie et tiges filetées pour l'industrie du pétrole.

IV.4. Présentation des éprouvettes**IV.4.1. Echantillon de dureté**

Dans le but de réaliser des essais de dureté, avant et après traitement thermique nous avons usiné des échantillons sous forme cylindrique de diamètre $D = 16$ mm et hauteur $H = 10$ mm ; la figure IV.2 présente la forme et les dimensions des échantillons utilisés.

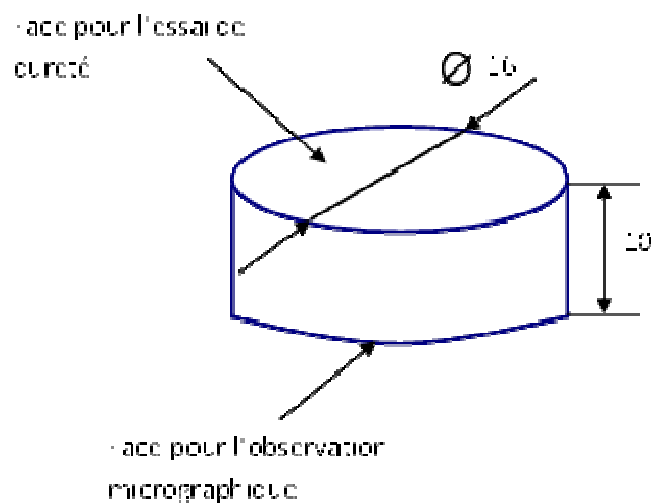


Figure IV.2 : échantillon de dureté.

IV.4.2. Eprouvettes de traction

Les éprouvettes de traction que nous avons réalisé sont des éprouvettes cylindrique de même dimension chaque éprouvette se compose d'un corps cylindrique de section ronde, prolongée à ses extrémité par deux têtes permettant de saisir l'éprouvette dans le système d'amarrage de la machine de traction.

Remarque

Ces dimensions ont été choisies tout en respectant la norme AFNOR

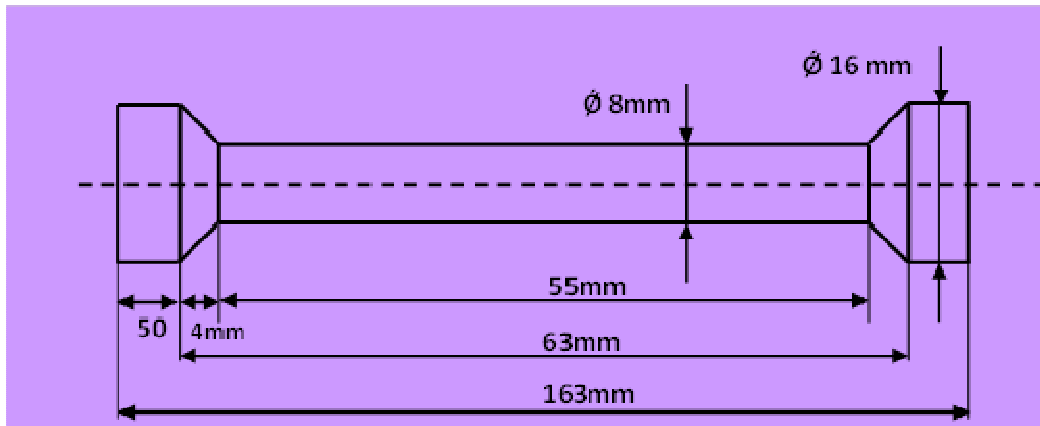


Figure IV.3 : Epreuve de traction.

IV.5. Machines utilisées pour la réalisation des éprouvettes et des échantillons

IV.5.1. Découpage des échantillons bruts

Pour le découpage des échantillons brute, nous avons utilisé la scie mécanique cette dernière de type ALMO SMA3, est alimenté sous une tension 380 V avec une puissance P de 1.5 KW et une fréquence de 50 HZ.

IV.5.2. Usinage des éprouvettes

Pour l'usinage des éprouvettes nous avons utilisé un tour horizontale de type ALMO ZF.B5, est alimentée avec une tension 380 V avec une puissance P de 3 KW et une fréquence de 50 HZ.

IV.6. Traitement thermique effectués sur les éprouvettes

IV.6.1. Traitement de trempe

Traitement de trempe est effectué à une température supérieure à AC1 (diagramme fer carbone) .nous avons choisi 850°C comme température d'austénisation, une durée de une demi-heure comme temps de maintien et l'huile comme milieu de trempe.

Avec

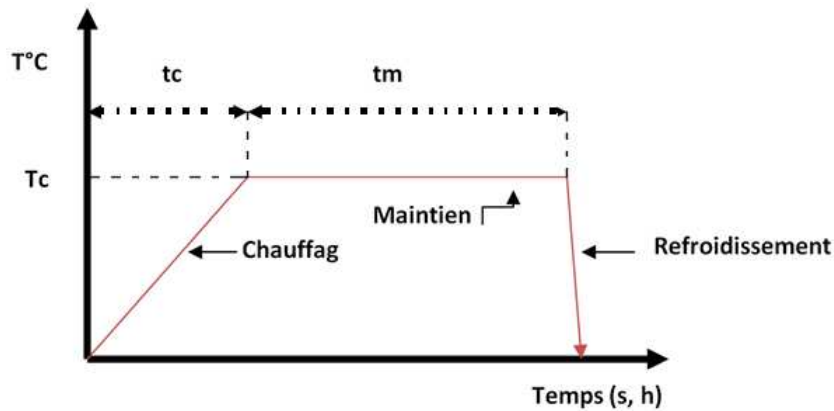


Figure IV.4 : cycle thermique de la trempe.

IV.6.1.1. Four de trempe

Pour les traitements thermiques de trempe nous avons utilisé le four à moufle, qui est alimenté sous une tension de 380V avec une puissance P de 11 KW. Il est constitué d'une chambre isolée thermiquement appelée moufle et protégé extérieurement par une carcasse métallique. Sur les murs internes de four on trouve des résistances métalliques destinées à produire la chaleur nécessaire pour le chauffage, dont la température maximale atteint 1200°C . Afin d'assurer la régulation de la température de chauffage, la vitesse de chauffage et la durée de séjour, le four est équipé d'un régulateur de type OMRAN et un thermocouple placé dans la chambre du four permettant ainsi la mesure instantanée de la température.



Figure IV.5 : four de trempe.

IV.6.2. Le revenu

Le revenu se pratique après le traitement de trempe. nous avons chauffé notre matériau à une température inférieure à celle d'austénisation à 450°C . Le temps de maintien est de 30 mn et le refroidissement à l'air.

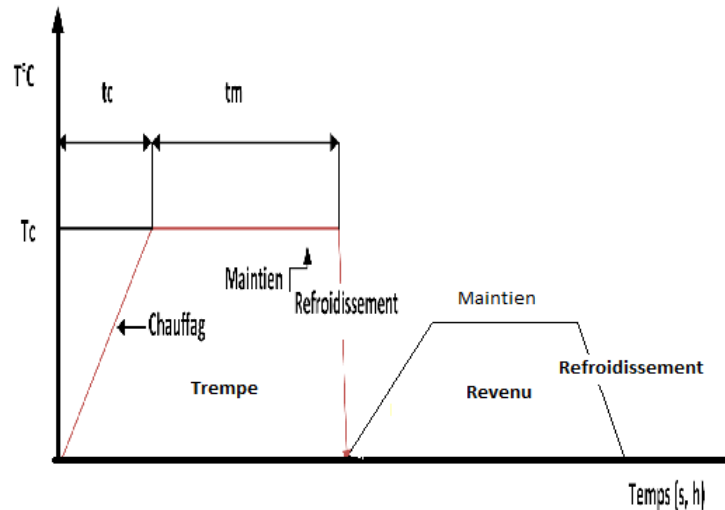


Figure IV.6 : cycle thermique de revenu.

IV.6.2.1. Four de revenu

Pour les traitements thermiques de revenu, nous avons utilisé un four analogue au précédent, sauf que pour ce type la température maximale est de 700°C ; il est aussi équipé d'une turbine assurant l'homogénéisation de la température.



Figure IV.7 : four de revenu.

IV.6.3. Le recuit

Traitement de recuit est effectué à une température supérieure à AC_1 . nous avons choisi 600°C comme température d'austénisation, une durée d'une demi-heure comme temps de maintien et l'air comme milieu de refroidissement.

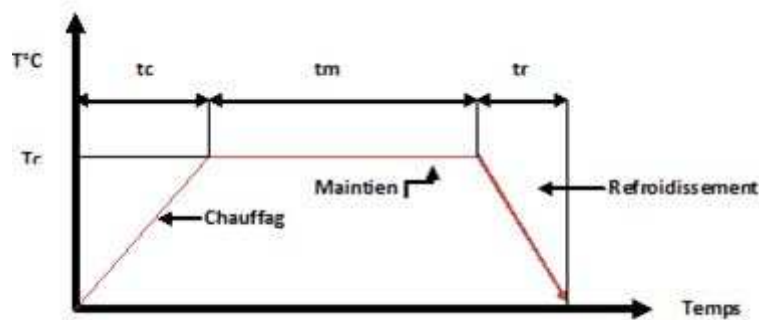


Figure IV.8 : cycle thermique de recuit.

IV.7. Essais mécaniques

Nous avons fait trois essais mécaniques, essai de traction et essai de dureté Rockwell C et l'essai de microdureté HV.

IV.7.1. Essai de traction

Il consiste à soumettre une éprouvette sur laquelle on a tracé deux repères initialement distants de L_0 à un effort de traction continue jusqu'à la rupture.

Machine de traction

Machine de traction à commande numérique de type IBERTEST, ses caractéristiques sont :

- ✓ Charge d'essai: 200KN.
- ✓ Vitesse d'essai : 10 à 500 mm/min.
- ✓ Alimentation électrique : $T=220\text{V}$, $F=50\text{Hz}$.



Figure IV.9 : machine de traction.

IV.7.2. Essais de la microdureté

Dans ce travail on a utilisé l'essai VICKERS avec un pénétrateur de forme pyramidale à base carrée d'angle au sommet de 136° avec une charge de 50g. Le résultat du diamètre de l'empreinte ainsi que sa microdureté sera affichés automatiquement par le microduromètre.

IV.8.La microstructure

IV.8.1. Préparation des échantillons

La microscopie métallographique nécessite une préparation des échantillons à observer, cette préparation passe par plusieurs étapes, à savoir :

a. Le prélèvement

Le prélèvement des échantillons s'effectue à l'aide d'une scie.

b. Le polissage

Consiste à rendre la surface de l'échantillon plane, bien dégraissée et sans déformation gênante. Le Polissage comporte trois phases :

- ❖ **Dressage** : il a pour but de créer la surface lisse, qui se fait sur un papier émeri de granulométrie P80, P120 et P240 sur une polisseuse avec un arrosage abondant pour éviter tout risque d'échauffement.
- ❖ **Dégrossissage** : Cette phase permet d'arriver à une surface lisse, qui se fait sur un papier abrasif de plus en plus fin.
- ❖ **Polissage de finition** : Elle est faite à l'aide d'un tapis de tissu moulé à l'alumine sur lequel on fait rayer les échantillons rigoureusement dans un sens puis dans le sens perpendiculaire des raies précédentes. Le passage d'un papier nécessite une rotation de 90° de l'échantillon, cette étape permet d'arriver à une surface comparable à un miroir.



Figure IV.10 : polisseuses.

IV.8.2. Attaque chimique

Après polissage, les échantillons sont attaqués chimiquement pour révéler les joints de grains et de différencier les constituants de l'alliage. Nous avons utilisé le réactif par immersion, chronométré l'attaque, qui est de l'ordre de 15 secondes, puis les échantillons sont lavés sous un jet d'eau et séchés à l'aide d'un séchoir.

La composition du réactif est la suivante : C_2H_5OH

IV.8.3. Observation microscopique

L'échantillon est posé sur une platine qui se déplace dans trois directions. Les surfaces préparées auparavant sont observées par un microscope optique. Ces observations permettent d'évaluer qualitativement l'état de la microstructure des différents échantillons. Pour chaque échantillon observé on a pris des photos différents grossissements.



Figure IV.11 : microscope optique.

Chapitre V :

**Résultats &
interprétation**

V. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus dans l'essai de microdureté de traction avec et sans traitements thermiques. Les différentes micrographies correspondantes à chaque état sont également présentées. Il faut rappeler que le matériau d'étude (de la vanne) est l'acier faiblement allié, hypoeutectique, l'acier 42CD4;

V.1 Résultats obtenus dans les essais de dureté et de traction

V.1.1. Caractérisation de l'acier 42 CD 4 avant traitement thermique

Résultats de l'essai de microdureté Vickers

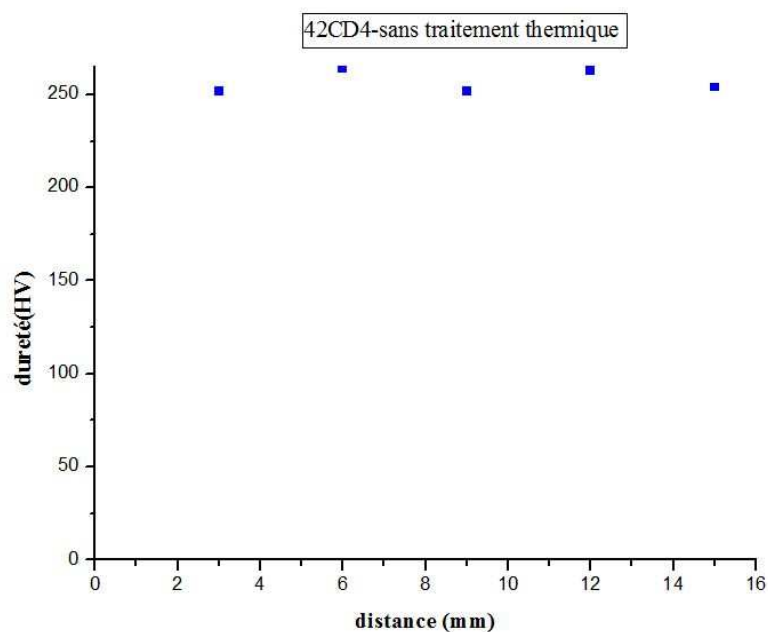


Figure V.1 : Courbe de microdureté pour l'acier 42CD4 sans traitement thermique.

Les résultats montrent que l'acier 42CD4 a une dureté moyenne de $H_v = 257$

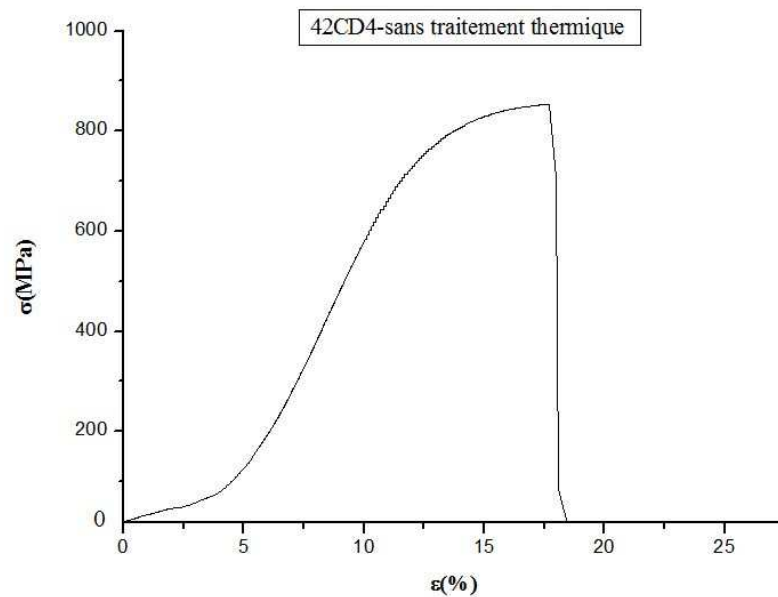
Essais de traction

Figure V.2 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 sans traitement thermique.

La courbe nous montre un comportement élastoplastique avec une déformation 17%.

V.1 .2. Acier 42 CD 4 ayant subit un traitement thermique de trempe suivi d'un revenu**Traitement de trempe**

Le traitement de trempe est effectué à une température supérieure à AC1 (diagramme fer carbone). Nous avons choisi 850°C comme température d'austénisation, une durée de une heure et demi comme temps de maintien et l'huile comme milieu de trempe. Ce traitement de trempe est suivi d'un revenu à 450°C avec un temps de maintien d'une demi-heure; le refroidissement est fait à l'air.

Essais de dureté

Les résultats de la microdureté sont illustrés dans la figure V.3

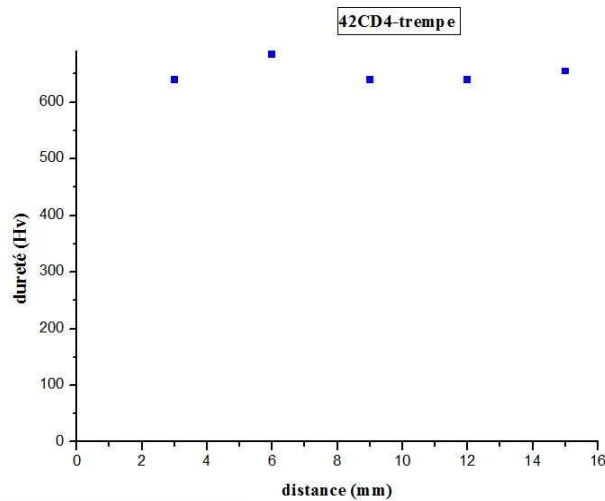


Figure V.3 : Courbe de dureté pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de trempe a l'huile

Les résultats révèlent une dureté moyenne de $H_v = 651,4$; Nous remarquons que la dureté a bien augmenté.

Essais de traction

La courbe de traction est illustrée par la figure V.4. la déformation n'atteint pas 15% mais la résistance à la traction a fortement augmenté.

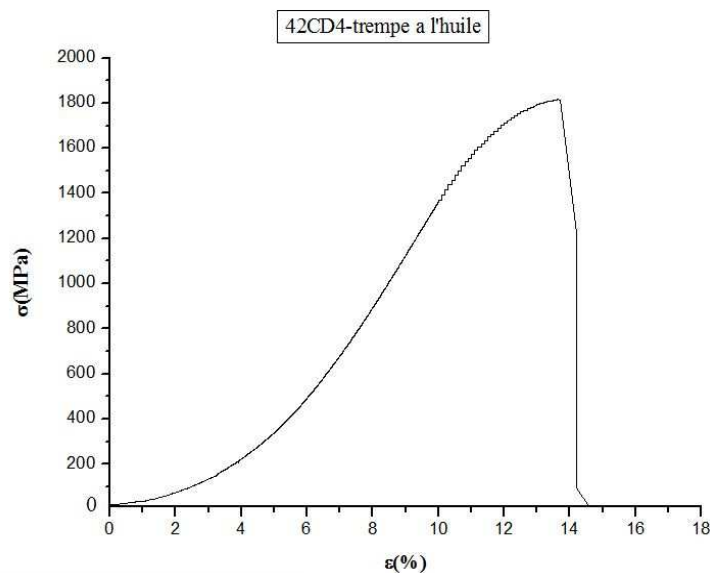


Figure V.4 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 après traitement de trempe et de revenu.

V.1.3. Acier 42 CD 4 ayant subi un traitement thermique de recuit

Le recuit

Traitement de recuit est effectué à une température de 600°C pour une durée 1/2 heure comme temps de maintien avec un refroidissement à l'air.

Essai de dureté

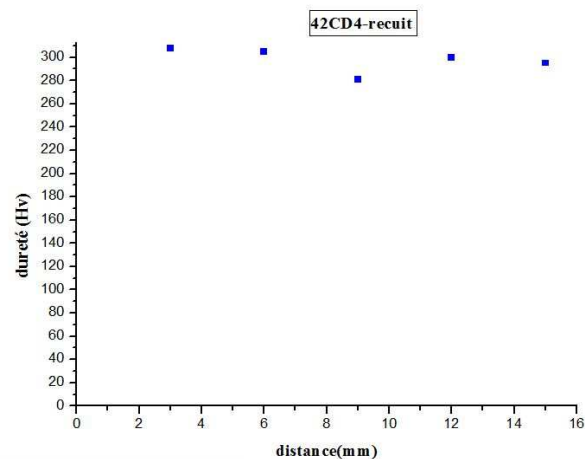


Figure V.5 : Courbe de dureté pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de recuit.

La dureté moyenne est de $Hv = 297,8$

Essai de traction

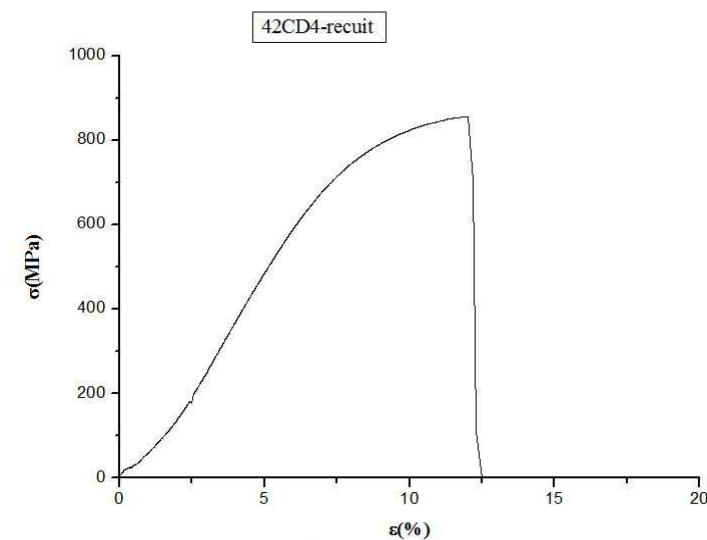


Figure V.6 : Courbe de traction pour l'acier 42CD4 avec traitement thermique de recuit.

Le comportement élastoplastique de l'acier 42CD4 recuit nous donne une déformation de 12%. Mais valeur de la résistance est identique à celle du matériau sans traitements thermiques.

V.1 .4. Acier de la vanne

Essai de dureté

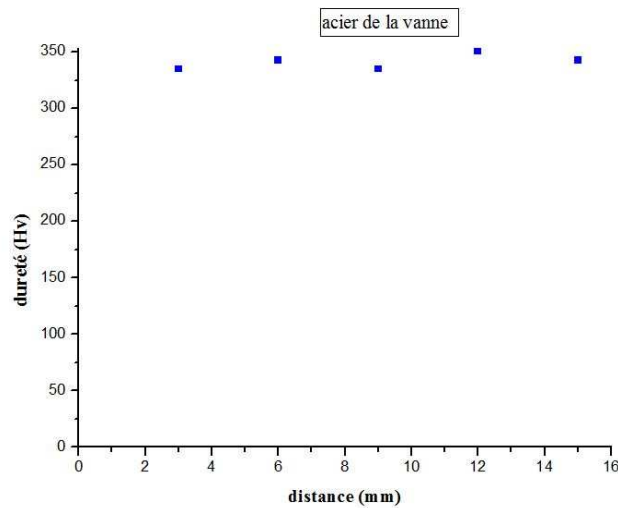


Figure V.7 : Courbe de dureté pour l'acier de la vanne.

Les valeurs de la microdureté faites sur la vanne ont été communiquées par l'entreprise ENTP, la valeur moyenne de $H_v = 341,4$

V.1 .5 .comparaison des résultats de la vanne avec ceux de l'acier 42CD4 ayant subit les traitements thermiques

Essai de traction

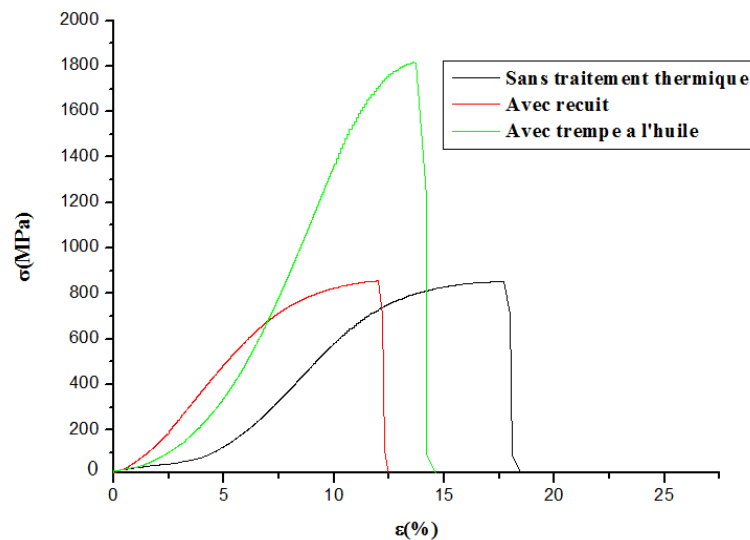


Figure V.8 : Regroupement des courbes de traction des trois traitements thermiques.

Essais de dureté

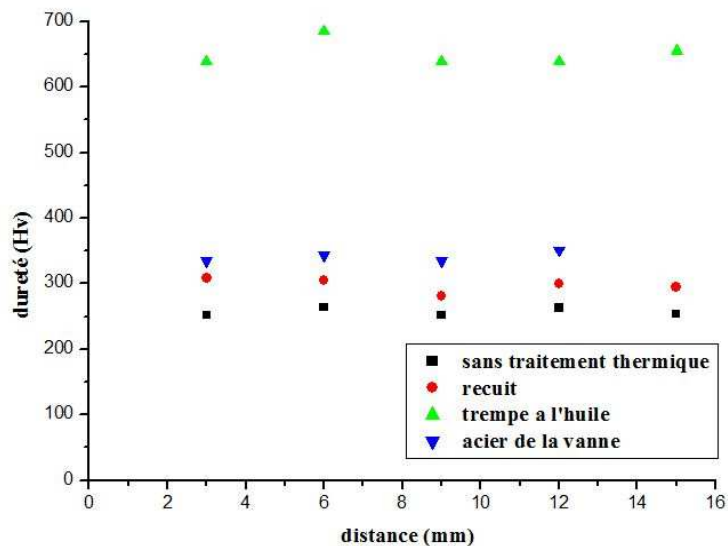


Figure V.9: Regroupement des courbes de dureté des trois traitements thermiques et l'acier de la vanne.

V.I.6. Interprétations des résultats**Essais de traction**

	σ_e (MPa)	σ_m (MPa)	ε (%)
42CD4 sans traitement thermique	647.77	850.28	17%
Acier trempé	1376.37	1809.91	14%
Acier recuit	703.20	857.58	12,5%

Tableau V.1 : résultats obtenus pour l'essai de traction

Nous remarquons que les caractéristiques de l'acier sans traitement et celles de l'acier recuit varient peu. Par contre l'acier trempé et revenu a vu ses caractéristiques de résistances augmentées et l'allongement diminué par rapport à celles du matériau de référence. Ceci est logique, puisque le but de trempe est de durcir le matériau.

Essais de dureté

	Sans traitement thermique	recuit	Trempé à l'huile	Acier de la vanne
Dureté (Hv)	257	257.8	651.4	341.4

Tableau V.1 : dureté (Hv) moyenne.

L'acier de la vanne a une dureté légèrement supérieur à l'acier 42CD4. L'acier recuit donne la même dureté que l'acier de base ce qui conforme à la réalité.

L'acier trempé puis revenu voit sa dureté augmentée par rapport au matériau de référence, ce qui bien en coordination avec le but recherché par la trempe qui est le durcissement structural

V. 2. Observations métallographiques

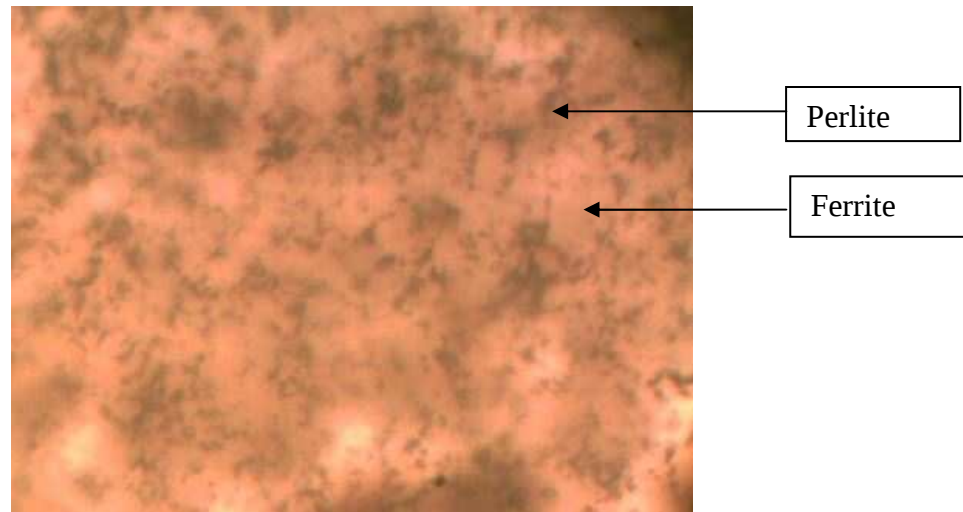


Figure V.10 : Micrographie de l'acier 42CD4 sans traitements thermiques (X200)

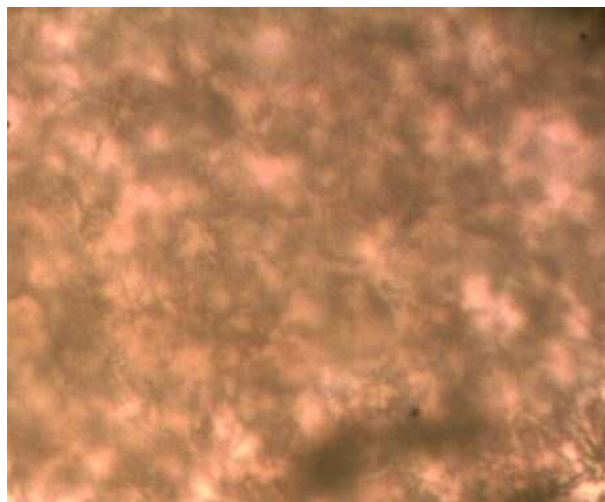


Figure V.11 : Micrographie de l'acier 42CD4 après traitement de trempe et de revenu (X200)

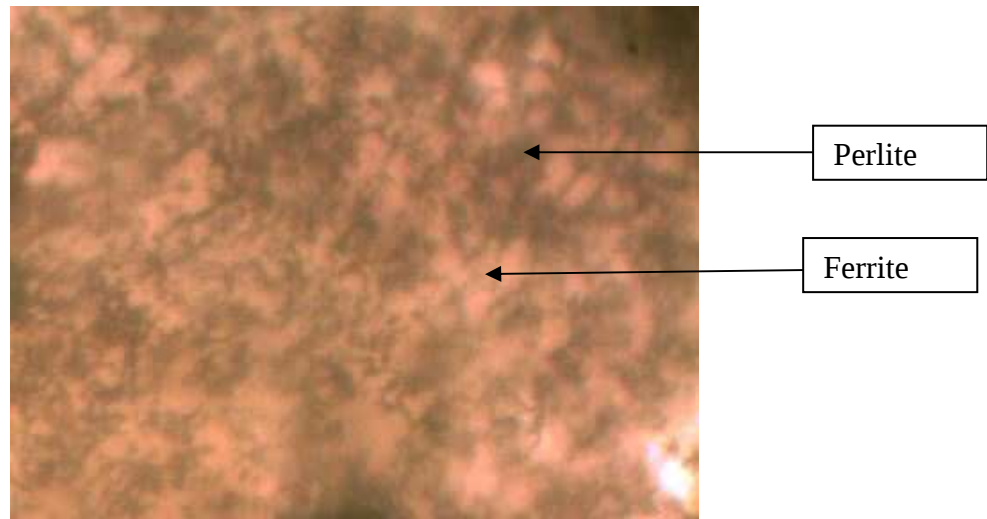


Figure V.12 : Micrographie de l'acier 42CD4 après recuit (X200)

La structure de l'acier sans traitement et à l'état recuit révèle une structure ferrito-perlitique en proportions presque égales. Pour l'acier trempé, l'augmentation de la dureté est probablement due à la présence de carbures de chrome ou bien de la martensite.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Nous avons fait une étude sur la technologie des équipements de forage des puits, particulièrement la TOP DRIVE (Canrig), ce qui nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les conditions de son fonctionnement.

Nous avons fait une étude sur la maintenance de la vanne de contrôle en nous basant sur la documentation des constructeurs et de l'entreprise ENTP. La maintenance de cet équipement est assez difficile, il est impératif qu'il soit pris en charge en tenant compte du rôle important qu'il assure durant le fonctionnement.

Il a été remarqué la défection d'une pièce dans les circuits de boue ; il s'agit de la vanne de contrôle, à cause de l'usure abrasive. Cette pièce est fabriquée en acier faiblement allié 42CD4, et le but de notre étude est d'améliorer la résistance et la dureté du matériau de cette vanne.

Nous avons effectué un traitement thermique de trempe suivi du revenu, un traitement de recuit, ensuite nous avons effectué des essais de caractérisation mécaniques (essai de traction et essai de dureté).

Nous remarquons que les caractéristiques de l'acier sans traitement et celles de l'acier recuit varient peu. Par contre l'acier trempé et revenu a vu ses caractéristiques de résistances augmentées et l'allongement diminué par rapport à celles du matériau de référence. Ceci est logique, puisque le but de trempe est de durcir le matériau.

L'acier de la vanne a une dureté légèrement supérieur à l'acier 42CD4. L'acier recuit donne la même dureté que l'acier de base ce qui conforme à la réalité.

L'acier trempé puis revenu voit sa dureté augmenté par rapport au matériau de référence, ce qui bien en coordination avec le but recherché par la trempe qui est le durcissement structural

Bibliographie

[1] Well control cours .

-Centre de développement et d'application des techniques pétrolières et gazières.
Révision N°02, le 02/01/2005.

[2] - Formulaire du foreur.

- Gilles GABOLDE, Jean-Paul NGUYEN - Institut Français de Pétrole (1991).

[3] -Technique d'exploitations pétrolières – Le forage – Edition technip 1993.

- Jean-Paul NGUYEN - Institut Français de Pétrole.

[4] -Formation mécanique de sonde, Equipements de surface.

- M^r.A.BOUFRIOUA-, Version O, Edition1, NAFTOGAZ, Janvier 2006.

[5]- Module Second « Les outils de forage » Inter-Actions Outil / Roche

F. GRONDIN Institut Français de Pétrole - Janvier 2004

[6] - Machines mécanismes et installations de forage.

- A. ILSKI, V. KASSIANOV, V. POROCHINE - Edition Moscou 1993.

[7] -Module M1 FORMATION JDF

Réalisé par : A. Slimani, M. Daddou

Mars 2004

[9]-TOP DRIVE ELECTRICAL SYSTEM COURSE MANUAL

2004 CANRIG DRILLING TECHNOLOGY LTD.

G.LALLEMAND, Le forage dirigé, chapIV, Ed. Technip, 1970.

[10]- Catalogue Canrig (top drive).

[11]- Forage dirigé

Ingénierie et méthodes, Jean-Paul Suzuka

Edition 3.3 - Juin 2005, ENSPM

[12] -J. Barralis et G. Maeder .précis de métallurgie, structure, propriétés, Normalisation

[13]-N.Bouaoudja, Matériaux métallique, édition OPU Alger

[14]-Science et génie des matériaux modulo Editeur, 2001,233AV Dunbar Mont Royal
Québec, Canada

[15]-H.LAPLANCHE, R. THIRON. Du choix et d'emplois des principaux aciers, fontes et alliage ferreux. Paris 1973

[16]--Lakhmide, métallographie et traitement thermique des métaux, Edition mir, 1986 Moscow.

[17]: G.FANCY et POMPIDOU : Précis de fonderie : métallographique, production et normalisation. 2^{ème} édition AFNOR 1992.

[18]: Jean BARRALIS et Gérard MEADER : Précis métallurgique, AFNOR NATHAN, Paris 2000.

[19]: R.QUATREMER et J.PHTIGNO : Précis de construction mécanique, dessin conception et normalisation. 7^{ème} édition, AFNOR NATHAN