

REPUBLIQUE ALGERIENNE DIMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLÔME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE
OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

TOP DRIVE EQUIPE PAR UN MOTEUR A COURANT CONTINU
AU NIVEAU D'UN APPAREIL DE FORAGE
ETUDE ET SIMULATION

Proposé et dirigé par :

Monsieur : F. CHOUAF

Présenté par :

TABADIT Mohammed Seghir

TABBOUCHA Ameer

DEBBAKH Samir

Année Universitaire : 2007/2008

Sommaire

Introduction générale 01

Chapitre I :

Représentation de l'entreprise

Chapitre II :

Généralité sur le forage

I. Introduction..... 11

II. Les méthodes de forage des puits..... 11

 II.1.Principe de forage par battage..... 12

 II.2. Principe de forage par rotation. 13

 II.2.1.Le rotary. 14

 II.2.2. Le Turboforage..... 14

 II.2.3.L'électroforage 15

III. Classification. 17

IV. Les différents organes de l'appareil de forage. 17

V. Les fonctions de l'appareil de forage..... 22

 V.1.Fonction levage. 22

 V.2.Fonction de rotation..... 23

 V.3.Fonction pompage (injection) et circulation. 23

 V.4.Fonction de sécurité et contrôle. 25

VI. Principe de fonctionnement de l'appareil de forage classique (sans top drive)... 25

VII. Conclusion. 26

Chapitre III :

Top Drive

I. Introduction..... 27

II. Définition de Top Drive. 28

III. Rôle du Top Drive. 30

IV. Différents blocs de Top Drive. 30

 IV.1. Top Drive support unit (TDSU)..... 30

IV.2.La console.....	31
IV.3.Le système ADS figuré à l'aide d'un panel view.	31
IV.4. Top drive	31
V. Caractéristiques de top drive 1050E-500.	32
VI. Composition de Top Drive.	33
VI.1.Partie hydraulique.	33
VI.2.Partie mécanique	38
VI.3.Partie électrique.....	40
VII. Avantages et inconvénients du top drive	43
VII.1.Avantages	43
VII.2.Inconvénients	44
VIII. Conclusion.	44

Chapitre IV :

Etude et simulation de moteur

I. Introduction.....	45
II. Les convertisseurs statiques.	45
II.1.Rappel sur les semi-conducteurs	45
II.1.1.Les diodes.....	45
II.1.2.Les thyristors.....	46
II.2. Choix du type de convertisseurs.	46
II.3. Classification des convertisseurs	46
II.4.Redresseur triphasé tout thyristor	47
a) Montage parallèle (P3)	47
b) Montage parallèle double (PD3)	48
III. Le moteur a courant continu.	49
III.1. Constitution des moteurs à courant continu	49
III.2. Principe de fonctionnement	50
III.3. Différents types de moteurs à courant continu	51
III.4. Mode de démarrage des moteurs à courant continu	53
III.5. Mode de freinage des moteurs à courant continue	54

III.6. Réglage de la vitesse des moteurs à courant continu par variation de ....	.54
IV. Moteur à courant continu à excitation séparée (GE 752).....	.56
IV.1.Caractéristiques du moteur .....	.58
IV.2.Commande du moteur à courant continu (à excitation séparée, GE752)..	.59
IV.2.1.Schéma classique général d'une commande de machine électrique..	.59
IV.2.2.Modélisation du moteur à courant continu .....	.59
IV.2.3.Modélisation en régime dynamique du moteur à courant continu .....	.61
IV.2.4.Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu alimenté par un redresseur triphasé parallèle double à thyristors: (redresseur + charge R L E).....	.62
IV.2.5.Simulation du moteur alimenté par un redresseur .....	.72
IV.2.5.1.Schéma bloc général du moteur en boucle fermée.....	.72
IV.2.5.2.Résultats de la simulation en boucle fermée .....	.74
V. Conclusion .....	.77

Chapitre V :

Etude de choix d'un moteur asynchrone

I. Introduction .....	.78
II. Etude sur les moteurs asynchrones .....	.78
II.1 Constitution des moteurs asynchrones .....	.78
II.2. Principes de base .....	.79
III. Choix du moteur asynchrone triphasé .....	.80
III.1. Critères de choix.....	.80
III.1.1 Critères électriques .....	.80
III.1.2 Critères mécaniques .....	.81
III.1.3. Services de fonctionnement .....	.82
III.1.4. Critères géométriques .....	.82
III.1.5. Indice de protection IP .....	.82
III.1.6. Protection contre les chocs mécaniques IK.....	.82
III.2. Etapes à suivre pour le choix de la puissance des moteurs électriques ...	.83
III.2.1. Calcule de la puissance exigée et le choix préliminaire du moteur ...	.83
III.2.2. Vérification du moteur choisi d'après l'échauffement. ....	.85

III.2.3. Vérification du moteur choisi d'après la capacité de surcharge .....	.85
IV. Choix du variateur de vitesse.....	.86
IV.1. Facteurs de choix .....	.86
IV.1.1. Facteurs techniques .....	.86
IV.1.2. Facteur économique .....	.86
IV.2. Les différents types de variateurs électroniques de vitesse pour moteur asynchrone .....	.87
V. Calcul de paramètre du moteur .....	.90
V.1. Calcul de la puissance .....	.90
V.2. Correction suivant la température ambiante .....	.90
V.3. Correction suivant la fréquence de .....	.91
V.4. Correction suivant l'altitude .....	.91
V.5. Calcul du couple de démarrage .....	.91
V.6. Calcul de la capacité de surcharge.....	.93
V.7. Détermination du mode de fixation .....	.93
V.8. Indice de protection .....	.93
V.9. Protection contre les chocs mécaniques IK.....	.94
V.10. Calcul du réducteur de vitesse .....	.94
VI. Conclusion .....	.95
Conclusion générale	96
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

Chapitre I :

Présentation de l'entreprise

Fig. I.2 : Organigramme de l'ENTP.....7

Chapitre II :

Généralité sur le forage

Fig. II.1 : principe de forage par battage.....12

Fig. II.2 : l'appareil de forage par battage.....13

Fig. II.3 : les équipements de forage.....16

Fig. II.4 : système de mouflage23

Fig. II.5 : schémas fonctionnel de la table de rotation.....23

Fig. II.6 : circuit de circulation de la boue.....24

Chapitre III :

Top Drive

Fig. III.1 : Image réelle du top drive.....28

Fig. III.2 : coupe transversal de Top Drive.....29

Fig. III.3 : Générateur de couple (Torque Boost).....35

Fig. III.4 : Le bonnet.....38

Fig. III.5 : Corps principal39

Fig. III.5 : Moteur GE752 à excitation séparé41

Chapitre IV :

Etude et simulation du moteur à courant continu

Fig. IV.1 : schéma de principe d'un montage P3.....47

Fig. IV.2 : $\varphi = \frac{\pi}{3}$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie positive.....47

Fig. IV.2 : $\varphi = \frac{\pi}{3}$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie positive.....48

<i>Fig. IV.4 : allure de la tension redresser</i>	<i>48</i>
<i>Fig. IV.5 : Moteur a courant continu.....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. IV.6 : Principe de fonctionnement de moteur.....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. IV.7 : Moteur a courant continu à excitation parallèle.....</i>	<i>52</i>
<i>Fig. IV.8 : Moteur à courant continu à excitation série.....</i>	<i>52</i>
<i>Fig. IV.9 : Moteur à courant a excitation composé</i>	<i>52</i>
<i>Fig. IV.10 : Moteur à courant continu a excitation séparé.....</i>	<i>53</i>
<i>Fig. IV.11 : Image réel de moteur GE752.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. IV.12: Schéma de connexion.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. IV.13 : Schéma classique général d'une commande de machine électrique.....</i>	<i>59</i>
<i>Fig. IV.14 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu a excitation séparé. .</i>	<i>59</i>
<i>Fig. IV.15 : Schémas asservie de réglage de vitesse du MCC(GE752).....</i>	<i>63</i>
<i>Fig. IV.16 : Schéma fonctionnel de la boucle interne.....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. IV.17 : Schéma fonctionnel de la boucle interne.....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. IV.18 : Schéma fonctionnel de la boucle externe.....</i>	<i>67</i>
<i>Fig. IV.19 : Schéma bloc général du moteur en boucle fermée.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig. IV.20 : Schéma bloc général du redresseur.....</i>	<i>73</i>
<i>Fig. IV.21 : Allure de la tension redressé.....</i>	<i>73</i>
<i>Fig. IV.22 : Evolution du courant induit.....</i>	<i>74</i>
<i>Fig. IV.23 : allure du couple moteur.....</i>	<i>75</i>
<i>Fig. IV.24 : évolution de la vitesse.....</i>	<i>76</i>

Chapitre V :

Etude du choix de moteur asynchrone

<i>Fig V.1: Moteur asynchrone a cage.....</i>	<i>78</i>
<i>Fig. V.2 : Principe de moteur asynchrone.....</i>	<i>79</i>
<i>Fig. V.3 : Schéma de chaine de transmission.....</i>	<i>80</i>
<i>Fig. V.4 : Image réel de moteur GEB20.....</i>	<i>91</i>

Liste des tableaux

Chapitre I :

Présentation de l'entreprise

<i>Tab. I.1 : Types d'appareils.....</i>	<i>5</i>
<i>Tab .I.2 : Evolution des ressources humaines (2002-2007).....</i>	<i>6</i>
<i>Tab I.3 : moyens de transport.....</i>	<i>9</i>
<i>Tab. I.4 : Evolution des indices économiques en millions dinars (2002-2007).....</i>	<i>10</i>

Chapitre II :

Généralité sur le forage

Chapitre III :

Top Drive

<i>Tab III.1 : Caractéristiques du top drive type 1050E-500</i>	<i>32</i>
<i>Tab III.2 : caractéristique des pompes.....</i>	<i>34</i>

Chapitre IV :

Etude et simulation de moteur à courant continu

<i>Tab IV.1 : Caractéristique du moteur GE752.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab IV.2 : Tableau des régulateurs</i>	<i>71</i>

Chapitre V :

Etude de choix de moteur asynchrone

<i>Tab V.1 : Les chiffres d'indice de protection IP.....</i>	<i>82</i>
<i>Tab V.2 : Les chiffres d'indice de protection IK.....</i>	<i>83</i>
<i>Tab V .3 : Classe d'isolation et échauffement, température.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab V.4 : Technologie d'entraînement.....</i>	<i>88</i>
<i>Tab V.5 : Correction suivant la température.....</i>	<i>89</i>
<i>Tab V.5. : Caractéristique de Moteur</i>	<i>91</i>

Unité anglo-saxsone	Unité S I
1 psi	7 Kpa
1 pouce	2.54 cm
1 pied	30.48 cm
1 horse power	746 w

Introduction générale

L'industrie en général, les transports et même les industries de forage ont de plus en plus besoin des systèmes à vitesse variable, doués de souplesse et de précision.

Bien sûr les solutions mécaniques et hydrauliques sont encore utilisées, mais les solutions électroniques sont aujourd'hui les plus appréciées. Leur succès vient des caractéristiques incomparables que leur confère l'électronique, tant sur le plan de la conversion d'énergie que sur celui de l'asservissement de vitesse.[15]

L'utilisation des entraînements à vitesse variable est due, en partie, au souci de donner au dispositif entraîné la vitesse optimale pour chacune des phases d'un processus. Mais c'est surtout dû aux progrès de l'automatisation qui nécessite la possibilité d'asservir la vitesse de chacun des moteurs qui agissent aux divers points d'un même ensemble. La cadence de production et la qualité des produits ne se trouvent qu'améliorées avantageusement. D'autre part les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance permettent d'atteindre aujourd'hui d'excellents rendements par ajustage de la puissance à la mesure réelle du besoin.[4]

La vitesse variable des moteurs électriques vient concurrencer avantageusement les autres systèmes de variation de vitesse. Dans ce cas, l'intérêt repose sur les performances propres des moteurs électriques liés aux atouts économiques de l'électricité : Conversion d'Énergie.

La supériorité de la commande électronique à base de semi-conducteurs de puissance sur les autres systèmes automatiques, mécaniques, hydrauliques, et électriques vient du faible temps de réponse des circuits électroniques qui surpassent tous les autres systèmes.[4]

La machine à courant continu a été la plus utilisée dans l'industrie, sa commande est simple car les deux grandeurs couple-flux sont découplées.

Néanmoins, la machine à courant continu possède de nombreux inconvénients liés à son collecteur mécanique. En outre, les machines de très grandes puissances sont difficiles à réaliser.[7]

En revanche, les machines à courant alternatif (en particulier la machine asynchrone à cage) possèdent de nombreux avantages.

L'absence du collecteur leurs permet d'avoir un encombrement réduit, une fiabilité accrue, un coût de construction plus faible et une vitesse de fonctionnement élevée.[7]

Les progrès en matière de semi-conducteurs de puissance, de circuits électroniques de commande (circuits intégrés, microprocesseurs.....) et de connaissance en automatique des systèmes complexes ont été considérables. Ces progrès rendent maintenant possible la réalisation d'entraînements équipés des moteurs à courant alternatif dont les performances sont aussi bonnes si non meilleures que celles obtenues avec des moteurs à courant continu.[14]

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à l'étude d'un système d'entraînement (moteur à courant continu à excitation séparée plus le redresseur contrôlé qui l'alimente) qui pose plusieurs problèmes au niveau du chantier de forage, notamment les arrêts fréquents provoquant la chute des indices économique pour l'entreprise. D'après cette étude ; nous proposons un autre système d'entraînement qui comporte un moteur asynchrone à cage alimenté par un convertisseur de fréquence indirect. A cet effet le travail comporte Cinq chapitre :

Le premier chapitre consacré à donner l'historique du champ de Hassi-Messaoud et son développement ainsi que une présentation de l'entreprise (ENTP).

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les différents organes constituions l'appareil de forage, et le déroulement des opérations de forage.

Le troisième chapitre est consacré à la description du Top Drive (rôle, constitution, avantages et inconvénients), afin de commander sa vitesse en utilisant les différents composants de l'électronique de puissance.

Le quatrième chapitre traite d'une façon détaillée la modélisation et la commande du moteur à courant continu à excitation séparée du Top Drive type 1050E-500.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude d'un moteur asynchrone et les critères de leur choix, afin de remplacé le moteur à courant continu.

Enfin, une conclusion sur l'ensemble de notre travail, qui résume les résultats obtenus dans ce système d'entraînements étudié.

I. Historique du champ de Hassi-Messaoud :[16]

La prospection pétrolière a débuté en 1889 à Titus ville Pennsylvanie, le pétrole jaillissait pour la première fois sur la sole des Etats-Unis d'un puits foré à 6950 pieds (2118 m), le colonel « DAKAR » venait d'entrer dans l'histoire de l'exploitation pétrolière c'est le forage ancien comprise ce lui de « Drake » étaient foré par battage.

C'est au début de siècle que « ANTONY LUCAS » démontra au monde entier l'efficacité du forage « Rotary » cette technique est universellement utilisée et a profité des améliorations apportées par le progrès technique. Le champ de Hassi-Messaoud se situe au sud-est d'Alger distante d'elle de 850 km, se reposant sur une superficielle de 2000 km².

La réalisation de premier puits de forage de pétrole « MD1 » étant le 15 Janvier 1956 sur une profondeur de 3338 m, le 16 Mai 1957 à 75 km de « MD1 » sur la partie nord de champ d'un deuxième puit est foré dans la continuité du premier gisement.

De 1957-1962,137puits ont été forés et entre 1962 et fin 1967, on trouve 42 puits ont été forés, avec moyenne de 8 puits par année. A partir de 1968 le rythme s'élever et le forage a repris avec une moyenne de 31 à 32puits par année, la production de pétrole quant à elle a atteint le seuil de 23.2 million de tonnes en 1970.

De 1972 à 1977, 34 puits par année en moyenne ont été forée, de même pour le gaz des grands investissements ont été consentis pour les installations de surface et pour le maintien de la pression permettant alors la réalisation de :

- ❖ Trois stations de réinjection de gaz au sud en 1972 « SC3 » et « SC4 » en 1977.
- ❖ Deux stations de réinjection de gaz nord « UC2 » -« UC3 » en 1975.
- ❖ Six centres satellites pour la séparation et compression du Gaz.
- ❖ Deux unités de récupération de gaz GPL sud et nord.

II. Rétrospective :

II.1. Historique : [16]

L'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits, connue sous le signe ENTP, est issue de la restructuration de Sonatrach. Créée par le décret n° 81-171 du 1er Août 1981. L'ENTP est devenue opérationnelle le premier Janvier 1983.

En Juin 1989 le statut juridique de L'ENTP est transformé en société par actions (spa). Puis au 30 mars 1998, L'ENTP fait partie du Groupe Services Hydrocarbures (GSH) Sonatrach. Ses actionnaires sont : Sonatrach : Holding SPP 51%; Société de gestion des participations des travaux énergétiques « TRAVEN » 49%. Suite à une démarche de progrès continu, en Avril 2003: L'ENTP a obtenu la certification ISO 9001 : 2000 pour l'ensemble de ses activités.

Au 01 Janvier 2005 les actions détenues par la Société de gestion des participations TRAVEN dissoute, sont transférées vers la Société de Gestion des participations dénommée "INDJAB".

Au 28 Décembre 2005, il y a eu cession à titre gratuit des actions détenues par la SGP INDJAB (49%) en faveur du Holding Sonatrach "SPP SPA". ENTP devient 100% Sonatrach.

II.2. Activité de l'ENTP : [16]

L'entreprise nationale des travaux aux puits, est spécialisée dans le forage et le work-over (service des puits) de pétrole et de gaz. Elle s'occupe, dans le cadre de la participation dans le programme national, du développement de l'exploration et de l'exploitation, du développement des gisements des hydrocarbures et des nappes d'eau ainsi que de l'entretien des puits producteurs.

II.3. Moyens de l'entreprise ENTP : [12]

II.3.1. Moyens Matériels :

L'ENTP dispose d'un parc de 46 appareils. Certains de ces appareils sont dotés d'équipements modernes : SCR, Top Drive, Wireless Net Work Communication.

Le tableau suivant présente les différents types d'appareils.

Type	Puissance	Nombre
Oil-well 2000 E	2000 HP	01
National 1320 UE	2000 HP	04
Wirth 2000	2000 HP	02
National 110 UE	1500 HP	04
NEW OW 840E	1500 HP	01
Oil-Well 840 E	1500 HP	11
Wirth 1200 E	1200 HP	02
DRECO 1200 E	1250 HP	02
National 80 B	1000 HP	01
Cabot 1200	1200 HP	08
Cabot 750	750 HP	04
Cabot 500	500 HP	03
NOV IDEAL	1500 HP	03
Total		46

Tab I.1 : Types d'appareils.

II.3.2. Moyens Humains :[12]

Avec 6767 agents, l'effectif de l'ENTP est en croissance suite au recrutement des plusieurs ingénieurs, notamment en maintenance et forage.

Les agents de statut permanent sont au nombre de 3774. L'encadrement représente une fraction de 2/3 des permanents.

Le forage et Work-over occupent à eux deux plus de 50% de l'effectif global.

Structures de l'effectif	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Cadres dirigeants	21	11	14	14	19	20
Cadres supérieurs	93	94	101	98	89	90
Cadres moyens	1 440	1 424	1579	1629	1991	2323
Agents de maîtrise	2 055	2 015	1970	2012	1904	2060
Agents d'exécution	2 334	2 224	2126	2274	2336	2274
Total	5 943	5 768	5 790	6027	6339	6767

Tab .I.2 : Evolution des ressources humaines (2002-2007).

III. Organisation Générale de l'entreprise ENTP :

L'Entreprise nationale des travaux aux puits est structurée selon un organigramme et gérée par des textes législatifs et réglementaires. Le Président Directeur Général administre et gère les activités de l'entreprise avec le concours de Directeurs Généraux Adjoints, dans le cadre des attributions qui lui sont fixées par les textes législatifs et réglementaires en vigueur ainsi que les pouvoirs qui lui sont conférés par les statuts et les organes habilités de l'entreprise. Il est assisté dans sa mission par des assistants qu'il désigne lui-même pour des plans des charges avérés et précis tels que le contrôle de gestion, l'audit interne, le HSE,...

Le schéma suivant montre l'organigramme de l'Entreprise nationale des travaux aux puits. [12]

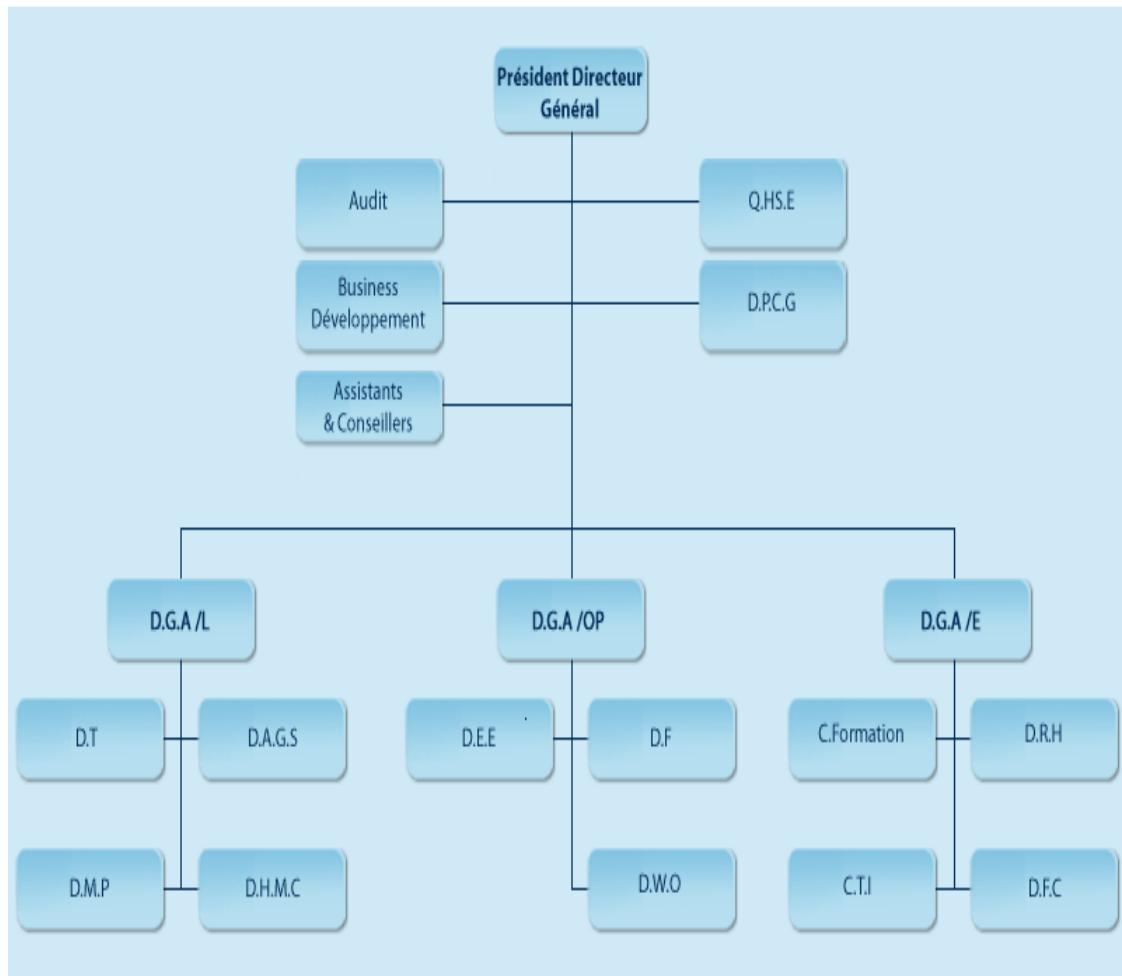


Fig. I.2 : Organigramme de l'ENTP.

III.1. Engineering Forage :[16]

La division engineering forage assure les fonctions suivantes :

- ❖ Établissement des spécifications techniques relatives au matériel d'investissement.
- ❖ Élaboration des procédures de travail relatives à l'activité forage et à l'activité Work-Over.
- ❖ Standardisation du matériel.
- ❖ Création de banques de données.
- ❖ Mise en place d'une veille technologique et nominative performante.
- ❖ Conception et développement de nouveaux systèmes dans les domaines de forage et Work-Over.

- ❖ Constitution d'un fond documentaire utile pour l'activité forage et l'activité Work-Over.

III.2. Maintenance Pétrolière : [16]

La direction de Maintenance Pétrolière de la maintenance préventive et curative des appareils de forage assurent les fonctions suivantes :

- ❖ Rénovation des équipements de forage : Treuil, moufle fixe et mobile, crochet, table de rotation, pompes de forage, tête d'injection, moteur industriel.
- ❖ Revamping des appareils de forage : Rénovation et modernisation de l'appareil de forage.
- ❖ Rénovation des camps de forage : Cabines sahariennes, équipements électro-froid et équipements électroménagers.
- ❖ Fabrication et reconditionnement : Fabrication et reconditionnement de la pièce de rechange pour le parc des appareils de forage et le parc roulant et fabrication du mobilier.

III.3. Transport :[12]

La direction de transport est structurée comme suit :

- ❖ Le département opération transport qui est chargée de la gestion du parc roulant de l'entreprise.
- ❖ Le département maintenance transport qui est chargée de la maintenance de ces moyens de transport et de manutention.

La direction de transport est donc assignée :

- ❖ déménagement des appareils et camps de forage.
- ❖ livraison des équipements et consommables aux appareils de forage.
- ❖ La maintenance des véhicules et engins de l'entreprise.

Concernant les moyens de transport, le tableau ci-dessous présente le type des engins, leurs nombres et leurs capacités :

VEHICULE ET ENGIN	CAPACITE	NOMBRE
Tracteur Kenworth 953	40T	70
Tracteur Mercedess 3836	30T	27
S R Elder + leddel	- - - -	48
Porte engin	- - - -	09
Chariots élévateurs	14T	50
Chariots élévateurs	< 14 T	40
Grues	20_30T	16
Grues	35_40T	24
Renault ME 160	- - - -	25
Mercedes frigo	- - - -	11

Tab I.3 : moyens de transport.

III.4. Équipements Tubulaires :[16]

Ces équipements ont pour mission :

- ❖ Une inspection électromagnétique (scanner) qui consiste à contrôler les tiges de forage sur tout le corps ;
- ❖ Réparation des éléments de la garniture de forage (Tiges de forage, masses tiges, tiges d'entraînement, tiges lourdes, paniers à sédiments, réfection des filetages, carottiers) ;
- ❖ fabrication des produits courts tels que « short drill collard », « drill stem subs » et « basket sub ».
- ❖ Rechargement des stabilisateurs.

II.5. Hôtellerie et Restauration :

La division Hôtellerie a pour but d'assurer les prestations d'hébergement et la restauration du personnel de chantier, du personnel opérant sur bases et d'autres compagnies pétrolières.[12]

III.7. Situation Financière de l'entreprise ENTP :[12]

L'ENTP est le premier contracteur de forage en Algérie avec une part de 50% du marché et un capital social de 14 800 000 000 DA.

On constate qu'au cours des quatre dernières années l'entreprise a enregistré des réalisations en constante progression soit sur le niveau des performances de production ou sur le niveau de rentabilité financière.

Rubrique	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Chiffre d'Affaires	12 757	13 785	15 142	17 038	20 560	24 869
Valeur Ajoutée	10 043	10 916	11 766	12 759	14 991	17 517
Résultat Net	1 705	2 091	3 088	2 721	2 871	3 771

Tab. I.4 : Evolution des indices économiques en millions dinars (2002-2007).

I. Introduction :

Un forage pétrolier est tout simplement un puits de petit diamètre dont la profondeur atteint par fois jusqu'à 12000 m.

Le forage est réalisé par mécanisme qui appelle l'appareil de forage ou sonde de forage.

L'appareil de forage ou plus globalement le chantier de forage est constitué d'un ensemble regroupent :

- ❖ La production d'énergie primaire.
- ❖ Les magazines, stockage des produits consommables.
- ❖ Les abris de chantier.
- ❖ La tour de forage.
- ❖ Le pompage et les bacs.

Le choix d'un appareil de forage pour la réalisation d'un programme de forage et de tubage, se fait par l'étude des fonctions de levage, pompage et rotation, en capacité et en puissance.[17]

Nous allons détailler les techniques opératoires et les moyens en équipement nécessaire pour la réalisation de forage des puits.

II. Les méthodes de forage des puits :[17]

Les techniques de forage des puits pétroliers ont commencé à se développer dans la seconde moitié du XIXème siècle. A cette époque, seul le procédé de forage par des puits basées sur la destruction mécanique des roches. Les méthodes de forage sont résumées comme suit :

✚ Battage :

- ❖ forage au câble : A la Pennsylvanienne (forage à sec).
- ❖ forage avec tiges : A la canadienne (à sec et avec injection).

✚ Rotary :

- ❖ forage par « rotary » (boue, air).
- ❖ Turboforage (boue).
- ❖ Électroforage (boue).

II.1. Principe de forage par battage :

Le système de forage par battage utilise pour attaquer le terrain l'impact un lourd trépan (1) suspendu au bout d'un câble (2). Depuis la surface, le balancier imprime au câble un mouvement alternatif. Le câble passe par une poulie (4) et guidé par un balancier (5). Le deuxième bout de câble s'enroule sur le tambour (6) du treuil de forage le balancier anime par l'arbre moteur (7), par l'intermédiaire d'une manivelle (8) et de la bielle (9) entraîne le mouvement de va et vient du trépan. Ce dernier, en tombant sur le fond du puits provoque un petit choc et pénètre dans la roche en la détruisant en déblais. La forme cylindrique du trou est obtenue en faisant tourner le trépan de temps à autre d'un certain angle.

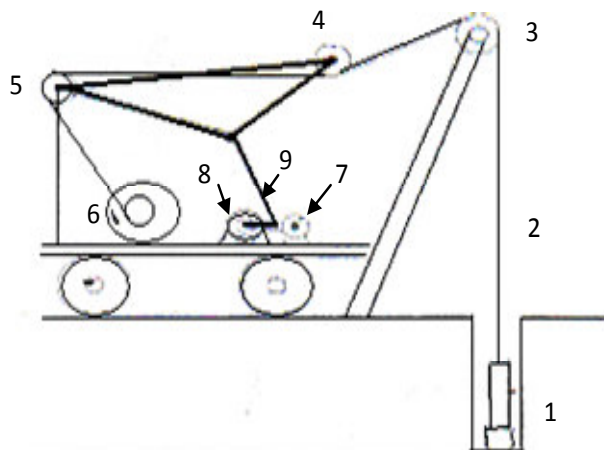


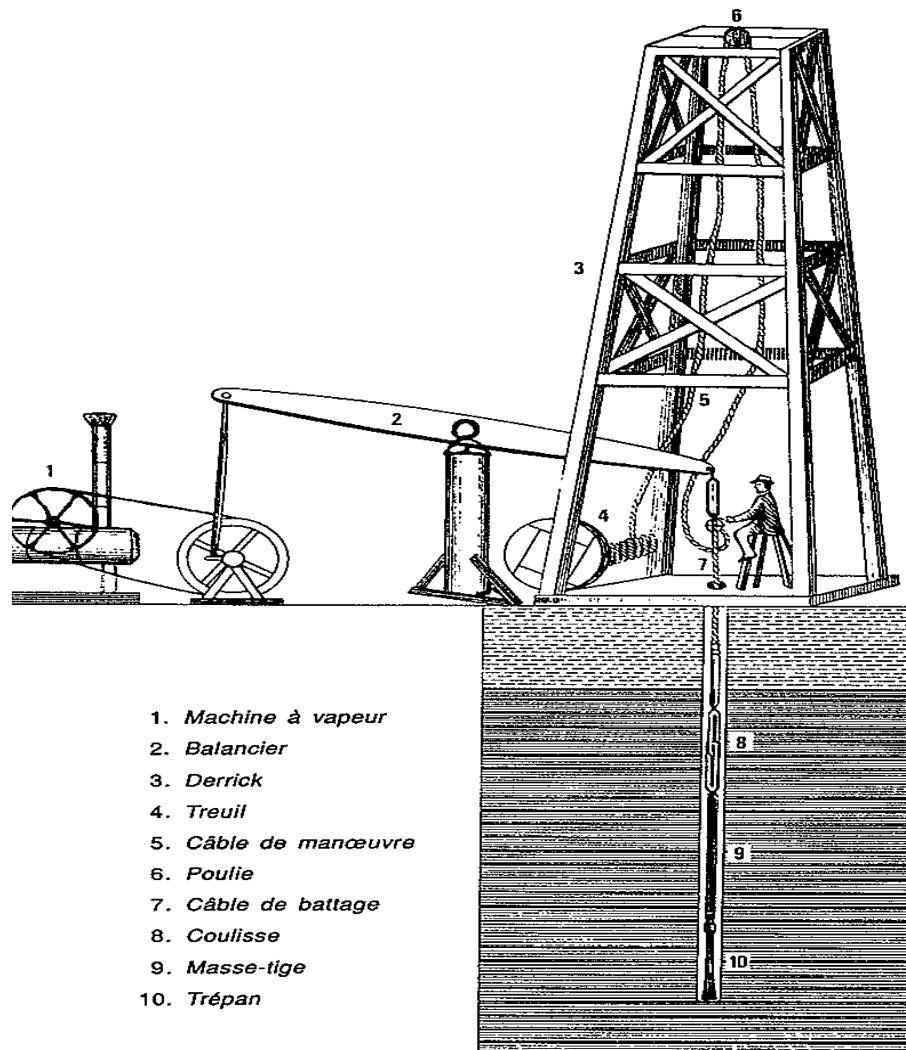
Fig II.1 : principe de forage par battage.

Avantages :

- ❖ Appareil très simple et peu coûteux.
- ❖ Faible consommation d'énergie.
- ❖ Obtention d'un puit vertical.
- ❖ Faible main-d'œuvre.

Inconvénients :

- ❖ Profondeur très limitée.
- ❖ Consommation de tubage très élevé.
- ❖ Vitesse d'avancement très faible.
- ❖ Risque d'éboulement et éruption incontrôlée.



1. Machine à vapeur
2. Balancier
3. Derrick
4. Treuil
5. Câble de manœuvre
6. Poulie
7. Câble de battage
8. Coulisse
9. Masse-tige
10. Trépan

Fig II.2 : l'appareil de forage par battage.

II.2. Principe de forage par rotation :

Le système pennsylvanien était inefficace lorsqu'on forait des terrains à problèmes (argiles collantes, sables meubles,.. etc.) car l'avancement de l'outil était considérablement gêné. A partir de ce moment, on pensa au rotary dans lequel le

terrain est désagrégé par un trépan animé d'un mouvement de rotation. Il existe trois types de forage par rotation :

II.2.1. Le rotary :

Le mouvement de rotation de l'outil est transmis depuis la surface par un arbre constitué par des tiges creuses vissées bout à bout, à travers les quelles circule la boue.

La figure(II.3) représente les équipements de l'installation moderne de forage « rotary ».

Les principales fonctions d'un appareil de forage rotary sont : la fonction levage, la fonction rotation et la fonction pompage .La construction des puits se fait suivant la méthode d'escalier. On termine notre forage par un trou de petit diamètre qui peut être tubé et cimenté jusqu'en surface.

Ce type de forage est l'objet de notre étude.

II.2.2. Le Turboforage :

L'historique du turboforage ne peut être évoqué sans avoir présent à l'esprit fossé, qui dès l'origine du forage industriel, sépara les techniques russes et anglo-saxonnes. Près de 85% des mètres forés en ex.URSS l'ont été à la turbine. A l'opposé, la technique occidentale a été bâtie sur le rotary et à longtemps ignoré la turbine.

Le turboforage consiste à garder le train de tiges fixe, une turbine située au dessus du trépan lui impose un mouvement rotatif (la boue de forage est utilisé comme source d'énergie entre les autres fonctions pour le turboforage). Les turbines sont choisies en fonction des utilisations prévues et de leurs caractéristiques hydromécaniques et dimensionnelles.

Avantages :

- ❖ Minimiser le risque de rupture de la garniture.
- ❖ Vitesse d'avancement de l'outil est plus élevée.
- ❖ Méthode plus avantageuse dans le cas des forages déviés.

Inconvénients :

- ❖ Nombre de manœuvres élevées.
- ❖ Usure rapide de trépan.
- ❖ La pression de la pompe est très élevée.
- ❖ Nécessité de turboforeuse de réserve.

II.2.3. L'électroforage :

En 1940, on utilisa pour la première fois l'électroforage. L'électroforeuse comprend un moteur électrique à rotor. L'énergie électrique est transmise au moteur depuis la surface par un câble électrique.

Cette énergie dirigée vers l'électroforeuse placée au fond du puits est transformée en énergie mécanique nécessaire à la rotation de l'outil.

Avantages :

- ❖ La puissance passant directement sur l'outil est très élevée ce qui permet d'augmenter la charge axiale et la vitesse de rotation.
- ❖ Utilisée en forage dévié.

Inconvénients :

- ❖ Appareil très complexe et très onéreux.
- ❖ Nécessite de grande source d'énergie électrique (haute tension).
- ❖ Rupture très fréquente du câble.

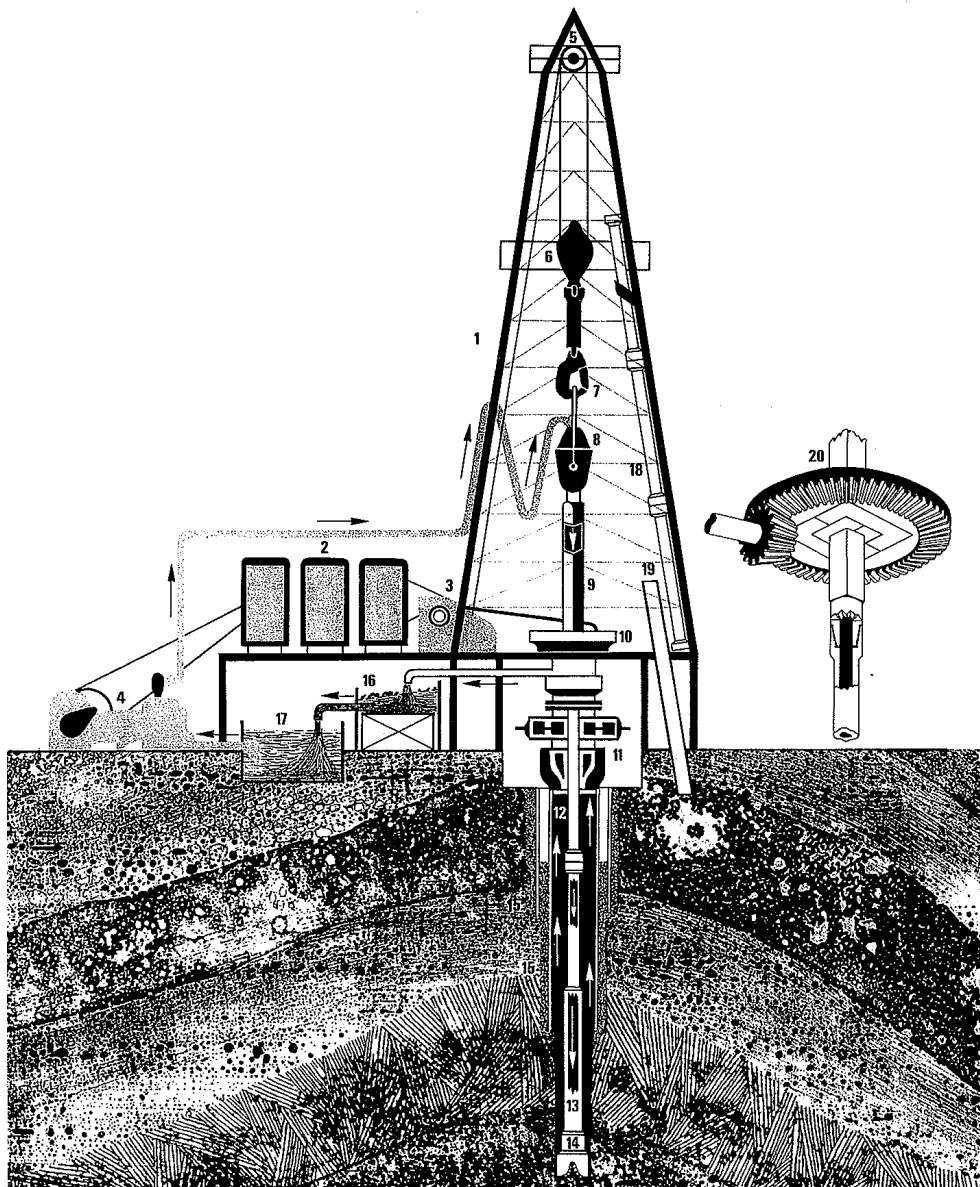


Fig II.3 : les équipements de forage.

- | | | |
|-----------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 1-derrick | 8-tête d'injection | 15-tubage cimentés |
| 2-moteur | 9-tige d'entraînement | 16-tamis vibrant |
| 3-treuil | 10-table de rotation | 17-bac a boue |
| 4-pompe a boue | 11-obturbateur de sécurité | 18-stockage des tiges |
| 5-moufle fixe | 12-tige de forage | 19-logement de la tige d'entraînement |
| 6-moufle mobile | 13-masse tige | 20- table de rotation |
| 7-crochet | 14-trépan | |

III. Classification :[15]

Il existe tout une gamme des appareils : légers, moyens et lourds; appropriés aux forages peu, moyen et très profonds.

Deux caractéristiques relativement liées interviennent dans la classification des appareils de forage :

- ❖ La capacité ou profondeur de forage maximale.
- ❖ La puissance de treuil.

La règle du pouce anglo-saxonne suivante donne d'une manière pragmatique : pour (110') pieds de forage, il faut 10 HP de puissance au treuil.

D'où :

- ❖ Appareil léger 4 921' à 6 561' (1 500 à 2 000 m) 650 HP.
- ❖ Appareil moyen 11 482' (3 500 m) 1 300 HP.
- ❖ Appareil lourd 19 685' (6 000 m) 2 000 HP.
- ❖ Appareil super lord 26 685' à 32 805' (8 000 à 10 000 m) 3000HP.

IV. Les différents organes de l'appareil de forage :[15]

IV.1. BOP (Blowout Preventer) :

Un grand robinet, généralement installé au-dessous du plancher, qui forme un scellé de l'espace annulaire entre la tige et le puit de forage ou si aucun tige est présent, sur le puits lui-même.

IV.2. Substructure :

Est un assemblage de grosse poutres, elles supportent le mât (derrick) ainsi l'apposition de matreil de levage et de rotation.

Elles supportent aussi tout les tubulaire de forage se trouvent sur le plancher de mât, sa hauteur doit être suffisant pour assembler le dispositif anti-éruption sous le plancher de l'installation de forage.

IV.3. Plancher :

Est un surface métallique se forme carré généralement en acier, avec une épaisseur conventionnel supporte le poids de matreil au-dessus, le plancher situé dessus de la substructureur (entre le mât et le substructureur) il assure aussi un espace pour la facilité de travaille.

IV.4. Mât (Derrick) :

C'est la plus ancienne forme qui dérive de la tour construite en bois. Il est en forme de pyramide très pointue. Dont les quatre pieds s'appuient sur les sommets d'un carré, cette surface sera le plancher de travail.

Une plate –forme supérieure (water table) permet le support des poulies du mouflage du câble (crown block). Une plate–forme intermédiaire (85 ft environ) permettra à l'accrocheur de travailler au rangement des longueurs des tiges ou masses tiges.

La structure métallique peut être soudée ou boulonnée.

IV.5. Le moufle fixe :

C'est l'ensemble des poulies sur lesquels passe le câble. Il est supporté par la plate-forme supérieur de la tour de forage .Il faut noter que la charge sur le moufle fixe, et par la même occasion sur la tour de forage.

IV.6. Le câble de forage :

Les câbles de forage sont à âme métallique sur laquelle on câble six torons constitués de fil d'acier. Le câblage des fils des torons est en général de sens inverse du câblage des torons sur l'âme. Ce qui donne un câble plus raide mais quelque peu anti-giratoire.

IV.7. Le moufle mobile :

Ils sont en général dits intégrés, c'est-à-dire que l'ensemble des poulies et du crochet sont assemblés d'une manière compacte. Le crochet comporte un amortisseur pour limiter les chocs à la reprise de la charge et faciliter le vissage des connexions. Aux deux oreilles latérales sont suspendus les bras de l'élévateur.

IV.8. La tête d'injection :

C'est le composant qui est suspendu par son ansé au crochet de levage. Il doit être conçu à la fois pour la charge maximale de garniture et pour la vitesse de rotation maximale. D'autre part, un joint d'étanchéité relatif permet l'injection sous pression du fluide de forage par le flexible de forage relié au col de cygne de la tête d'injection.

Il faut noter que toutes les connexions au-dessous de la section utile de la tige d'entraînement doivent être à filetage à gauche afin de ne pas être débloqué par la rotation à droite de la table de rotation.

IV.9. Tige d'entraînement :

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.

La tige est trouvée soit la forme carré, hexagonale ou triangulaire.

IV.10. Table de rotation :

Cet organe mécanique est très simple et ne nécessite que très peu de maintenance ce qui le rend très attrayant pour les conditions de travail en forage. Le roulement principal doit supporter la charge maximale en statique ou à vitesse de rotation lente. En effet, en forage (au-dessus de 50tr/min), le poids de la garniture est suspendu au crochet. L'entretien d'une table de rotation consiste à la vérification du niveau et de la qualité d'huile du système de lubrification. La dimension nominale est caractérisée par le diamètre de passage dans lequel est installé le (master bushing) dont les rôles sont la suspension de la garniture par l'intermédiaire des cales (slip) et l'entraînement du carré d'entraînement (Kelly drive bushing) en forage. Ces dimensions peuvent être 17" 1/2, 20" 1/2, 27" 1/2, 37" 1/2 et 49" 1/2 (pouce).

Le mouvement rotatif de la table se fait à l'aide d'un engrenage conique qui transmet le mouvement reçu de moteur électrique (à courant continu).

IV.11. Tige de forage :

Les tiges sont des tubes cylindriques, creuses, souples et résistantes. Elles possèdent un filetage femelle en haut et un autre mâle en bas, pour se raccorder aux autres tiges. Leur diamètre extérieur est beaucoup plus faible que celui du puits.

Elles servent à transmettre le mouvement de rotation depuis la table de rotation jusqu'à l'outil, et d'acheminer la boue jusqu'à ce dernier.

IV.12. L'outil de forage :

Un outil conçu pour forer un terrain tendre se détériore ou s'use très vite s'il est utilisé dans un terrain dur. Il existe une grande gamme d'outils de technologies différentes pour couvrir tous les besoins techniques et économiques :

- ❖ Les outils tricônes.
- ❖ Les outils diamant.
- ❖ Les outils PDC : le PDC (Poly Diamond Cristallin).

IV.13. Le treuil de forage :

C'est le cœur de l'appareil de forage. C'est la capacité du treuil qui caractérise un appareil et indique la classe de profondeur de forage que l'on pourra effectuer.

Les différentes parties mécaniques sont :

Un tambour cannelé sur lequel s'enroulera le câble. Les joues du tambour comportent des jantes sur lesquelles sont montées les bandes du frein qui permettent le contrôle de la descente de la charge suspendue au crochet. Ce système de freinage très fiable n'a pas une grande capacité d'absorption d'énergie telle celle produite par la descente d'une colonne de tubage à une grande profondeur. Tous les treuils permet seront équipés d'un ralentisseur de charge monté sur l'axe du tambour.

IV.14. Groupe électrogène :

Un diesel, gaz de pétrole liquéfiés (GPL), au gaz naturel, ou le moteur à essence, avec une transmission mécanique et de la génératrice pour produire de la puissance de la plate-forme de forage. L'utilisation d'électrogène pour alimenter les moteurs électriques sur les autres parties de l'installation de forage.

IV.15. Pompe de forage (pompe à boue) :

Ce sont des pompes alternatives à piston, le mouvement alternatif des pistons et des tiges étant produit par le système classique de la bielle et d'un vilebrequin. Ces pompes de principe volumétrique fournissent un débit qui est directement liée à la fonction de la cylindrée de la pompe et du régime de rotation du vilebrequin. Pour régler le débit, les foreurs comptent les cycles par minute ce qu'ils définissent par coups de pompe à la minute.

La pompe de forage moderne est triplex, simple effet. Les trois pistons se déplacent dans des chemises de cylindre amovible, aspirent le fluide par la conduite d'aspiration, puis refoulent dans la colonne de refoulement à travers du clapet de refoulement.

IV.16. Les clefs du matériel tubulaire:

Pour le vissage et le dévissage des tiges et des masses-tiges, des certains outils et des tubages, on emploie des clefs spéciales à mâchoires.

IV.17. Les cales ou coins de retenue:

Les cales ou coins de retenue servent à retenir les tiges ou les tubages dans la table de rotation pendant la manœuvre. Elles sont au nombre de 3 ou 4 fixés à un support unique ou assemblés par des charnières de façon à s'engager entre tige et cône de la table de rotation en restant tous à la même hauteur. Des bras articulés permettent leur manipulation par les sondeurs.

IV.18. Les élévateurs :

Les élévateurs sont utilisés pour saisir rapidement le matériel tubulaire pendant la manœuvre. Ils peuvent être à ouverture centrale ou à ouverture latérale.

✚ Il y a d'autres équipements de forage auxiliaires pour accomplir la fonction de l'appareil de forage en distingue :

IV.19. Les tamis vibrants :

Une série des plateaux avec des tamis ou écrans qui vibrent pour éliminer les coupures de fluide circulant dans les opérations de forage rotatif. La taille des ouvertures dans les tamis est choisie pour correspondre à la taille des matières solides dans le fluide de forage et à la taille des boutures.

IV.20. Séparateur de gaz de la boue:

Une bouteille qui éliminer les gazes de la boue et distribuer la boue séparer.

✚ Il y a aussi d'autres réservoirs pour le stockage des fluides :

IV.21. Réservoir d'eau :

Est utilisé pour stocker l'eau qui est utilisée pour le mélange de boue, la cimentation et le nettoyage.

IV.22. Réservoir de la boue (bac a boue) :

Des réservoirs pour le stockage de fluide de forage et équipé par des agitateurs qui assure la mélange de la boue.

IV.23. Fosse de Réserve:

Un borbier dans lequel une offre de fluide de forage a été entreposée. En outre, une fosse à déchets, généralement un excavé, terre - murée fosse. Il peut être doublé d'un plastique pour éviter la contamination des sols.

- ✚ Chaque équipement utilisée soit l'énergie électriques ou hydraulique nécessite un système de contrôle (pompe a boue, BOP, treuil de forage...) en citent :

IV.24. Accumulateur :

L'appareil du stockage d'azote a pressurisé fluide hydraulique qui est utilisé dans le travail de les préventeurs de l'éruption (BOP).

IV.25. Centrale électrique :

Les générateurs produisent l'électricité qui coule à travers des câbles à changements électriques et matériel du contrôle jointe dans une armoire du contrôle. L'électricité est nourrie aux moteurs électriques par un panneau de connexion.

L'annexe I : représente quelque photo des organes de l'appareil de forage.

V. Les fonctions de l'appareil de forage :[17]

Pour accomplir son travail, l'appareil de forage est constitué des fonctions suivantes :

V.1. Fonction levage :

Elle permet :

- ❖ Le contrôle du poids sur l'outil.
- ❖ Les changements d'outils (manœuvre de garnitures).
- ❖ La descente des colonnes de tubage (casing).
- ❖ Les levées et les descentes du mât (DTM).

Elle est principalement composés de :

- ❖ La structure de la tour de levage (mât et ossature).
- ❖ Le moufle fixe et le moufle mobile.
- ❖ Le treuil de forage.
- ❖ Le crochet de levage.
- ❖ Le câble de forage.

La figure suivant est représente le système de mouflage :

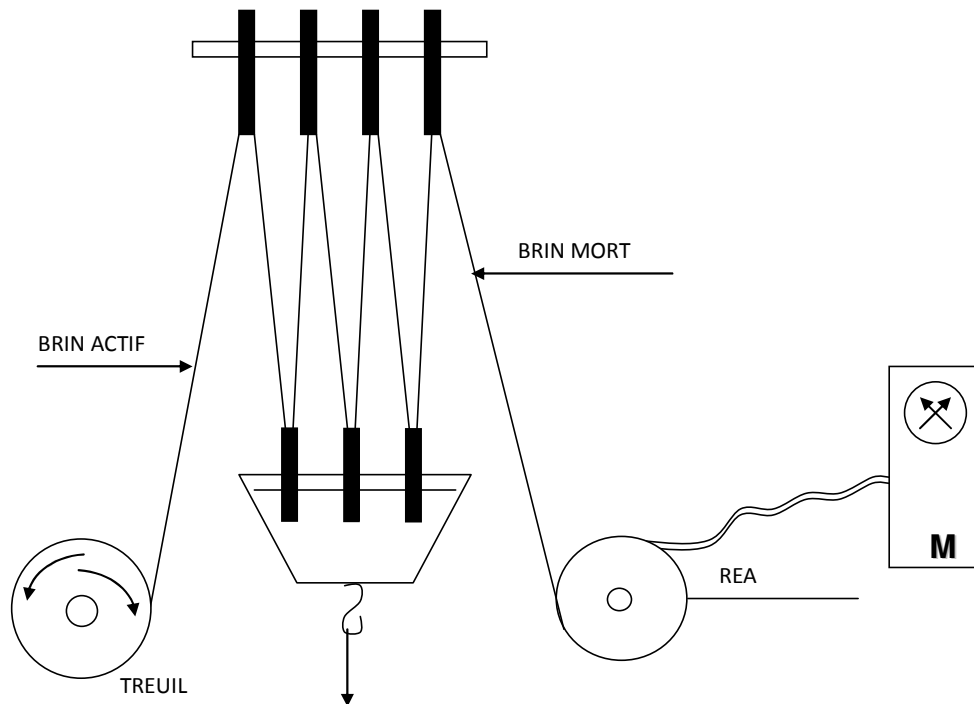


Fig II.4 : système de mouflage.

V.2. Fonction de rotation :

C'est l'ensemble des équipements permettant de donner le mouvement de rotation à la sonde de forage :

- ❖ Table de rotation.
- ❖ Tête d'injection.
- ❖ Train de sonde.

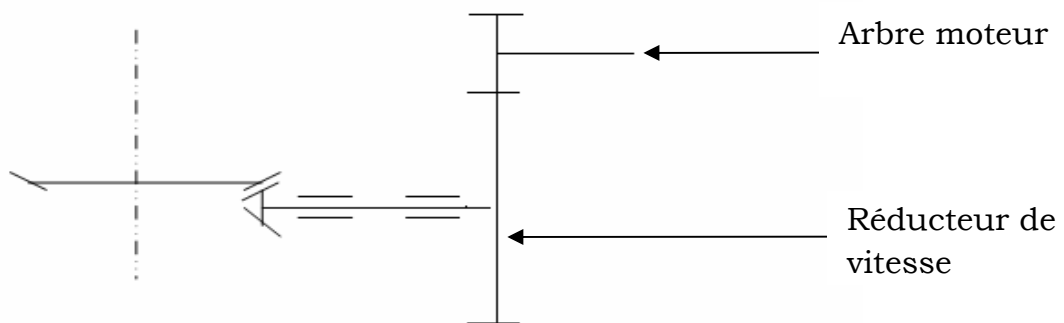


Fig II.5 : schémas fonctionnel de la table de rotation.

V.3. Fonction pompage (injection) et circulation :

Elle est principalement composée de :

- ❖ Bacs à boue.
- ❖ Mixeurs.
- ❖ Agitateur (mélangeurs).
- ❖ Tamis vibrants (shak shakers).
- ❖ Dessableurs.
- ❖ Dégazeur.
- ❖ Tube goulottes.
- ❖ Les pompes à boues
- ❖ Le flexible d'injection.
- ❖ Obturateur de sécurité (BOP).

Ces équipements assurent le pompage et la circulation ainsi le traitement des fluides de forage.

La figure se dessous présente les équipements et le chemin de circulation de la boue :

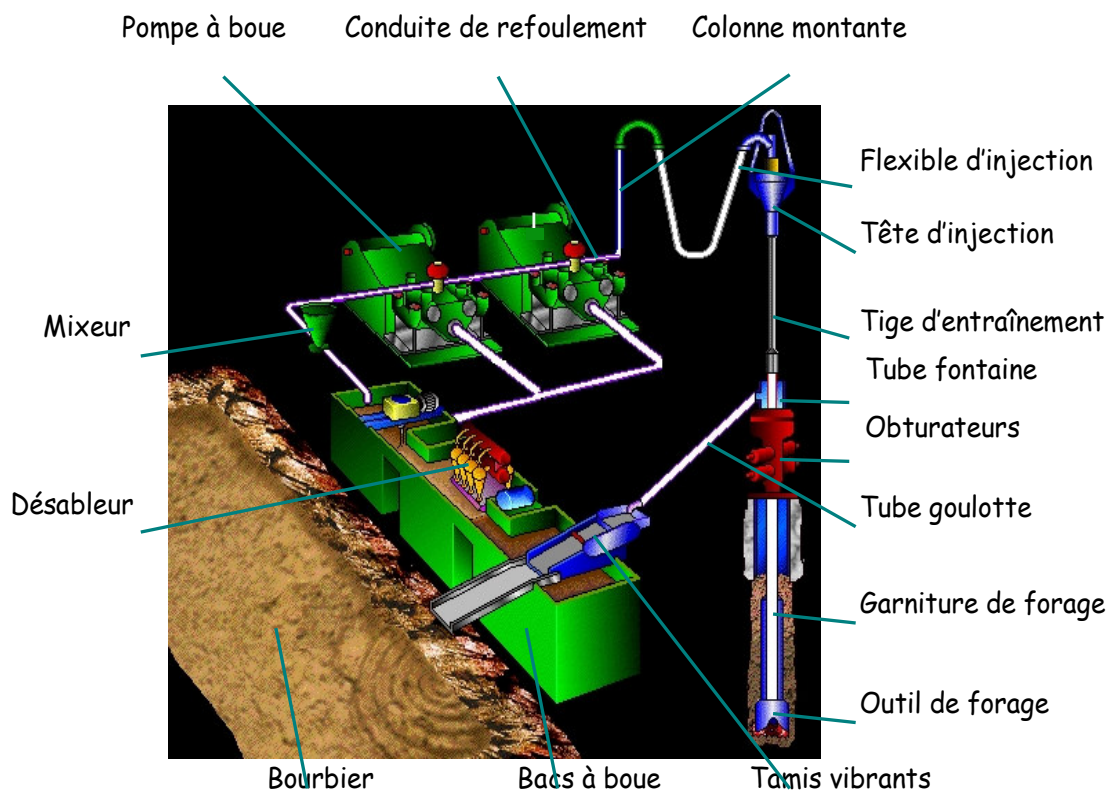


Fig. II.6 : circuit de circulation de la boue.

V.4. Fonction de sécurité et contrôle :

L'accumulateur a pour rôle d'assurer la sécurité du puits par l'intermédiaire de BOP ; il maintient une pression d'huile constante de 1500 psi et de 3000 psi. L'accumulateur peut assurer aussi des tests du BOP. L'unité d'accumulateur sert à emmagasiner un volume d'huile sous pression nécessaire à actionner le BOP, les vannes hydraulique telle que « kill line » et « chock line ».

L'huile aspirée du bac est refoulée par les pompes pneumatique et électrique vers l'accumulateur pour être stockée dans les bouteilles.

Les bouteilles d'accumulateurs contiennent des chambres en caoutchouc remplies d'azote à une pression de 1000 psi \pm 10%.

Ce sont des chambres là qui poussent l'huile accumulée sous pression vers le BOP pour fermer ou l'ouvrir.

VI. Principe de fonctionnement de l'appareil de forage classique (sans Top Drive) :[2]

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

A l'extrémité supérieure de ce train des tiges est à hauteur du plancher de la tour de sondage se trouve la tige d'entraînement qui est creuse également, mais de section extérieure carré ou hexagonale, et qui passe à travers la table de rotation par laquelle elle est entraînée la table de rotation et elle même entraînée par le moteur par l'intermédiaire d'un ensemble de transmission par boîte d'engrenage.

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

Ce crochet de levage peut être manœuvré d' haut en bas de tour métallique grâce à un système de mouflage composé d'un moufle mobile auquel est suspendu le crochet et d'un moufle fixe, fixé en haut du mât de sondage.

Le brin du câble va s'enrouler sur le tambour de treuil de forage lequel est entraîné par les moteurs par l'intermédiaire d'un jeu de transmission et d'embrayages.

L'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 du train de sonde, la boue descend jusqu'au fond du trou et sort par les événements du trépan et remonte par l'espace annulaire compris entre les tiges et le trou foré, cette boue qui remonte du fond du trou et chargé du déblais de forage; ainsi dès son arrivée à la surface, passe-t-elle sur tamis vibrants qu'ils séparent les déblais; de là, elle retourne dans les bacs d'aspiration. La boue effectue donc un circuit fermé dans le forage.

Aux deux tiers (2/3) environ du mât de forage se trouve la passerelle d'accrochage, qui sert au gerbage des tiges dans le mât lors de la manœuvre de remontée ou descente.

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 moufles et le crochet.

Le mât de forage repose sur une substructure de hauteur ce qui élevé d'autant le plancher de travail et permet l'installation sur la tête du puits d'un ou plusieurs obturateurs de sécurité.

VII. Conclusion :

A la fin de ce chapitre on peut conclure que le forage est classé en deux catégories : le premier est le forage par battage et le deuxième c'est le forage par rotation et ce dernier est couramment utilisé dans le domaine pétrolier.

Le forage est effectué par des appareils basés essentiellement sur trois fonctions principaux levage, rotation et pompage. Ces fonctions sont fait à l'aide de la table de rotation, la tête d'injection et le crochet de levage ; mais actuellement dans les appareils de forage moderne les trois fonctions sont fait par un seule organe dite TOP DRIVE ce dernier est l'objet de notre étude.

I. Introduction:

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

Le premier modèle est réalisé en 1984; un Top Drive désignée aux forages à la mer (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 le Top Drive, et grâce aux demandes, d'augmenter le couple de forage, ce développe 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 de temps, l'emploi des Top Drives hydrauliques s'est limité et ces les Top Drives électriques qui ont pris le relais en maintenant le côté hydraulique qui est indispensable.[12]

II. Définition de Top drive :[1]

Tous d'abord le mot « **TOP DRIVE** » est un mot en anglais signifie l'entraînement supérieur.

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 tige carrée (Kelly).
- ❖ Kelly bushing.
- ❖ Et partiellement les clefs.

C'est un équipement de rotation, maintenu au mât à l'aide d'une raille 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.

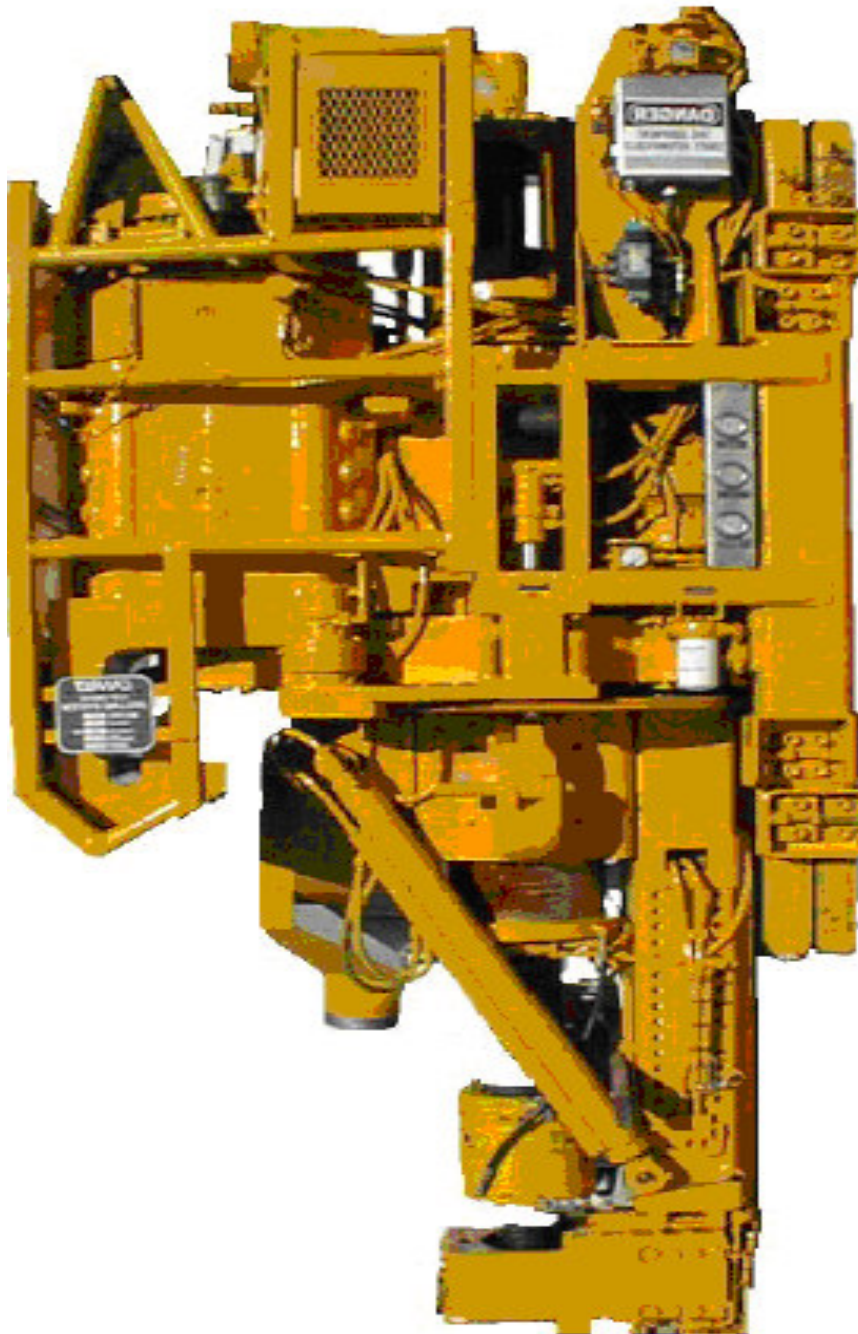


Figure III.1 : Image réelle du Top Drive.

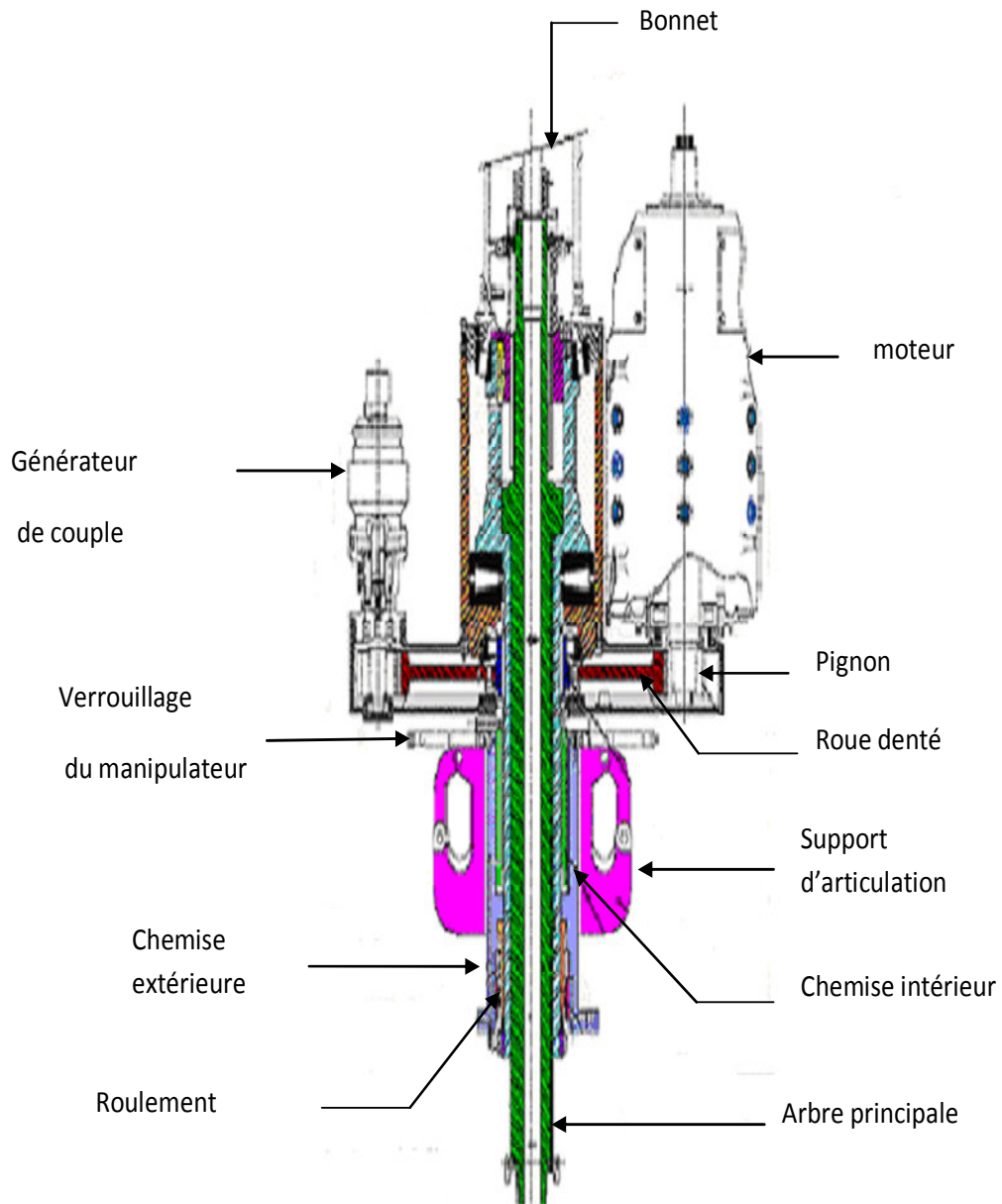


Figure III.2 : coupe transversal de Top Drive.

Pour autres vue de Top Drive voir l'annexe II.

III. Rôle de Top Drive :[12]

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 générateur de couple).
- ❖ Circulation des fluides de forage.
- ❖ Manipulation des tiges (en utilisant les bras (Link Tilts)).
- ❖ 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, et l'injection ou la circulation.

- ✚ Selon les constructeurs, il y a plusieurs types de Top Drive (hydrauliques ou électriques). Dans notre cas, le Top Drive étudiée est de type électrique du fabricant **Canrig**. Ce type de Top Drive est regroupé essentiellement en quatre grands blocs.

IV. Différents blocs de Top Drive :[1]

IV.1. Top Drive Support Unit (TDSU):

Elle englobe un SCR (Silicon Controlled Rectifier), 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 du fluide pour assurer les opérations de nature hydraulique.

IV.2. La console :

C'est à partir de qu'elle où toutes les manipulations sont faites. Elle est située au planché à la portée du chef de poste, pour assurer toutes les fonctions possibles de Top Drive.

IV.3. Le système ADS figuré à l'aide d'un panel view :

Le système ADS (Système de Diagnostic Avancé) surveille des points stratégiques de l'unité Top Drive (système de forage à entraînement supérieur) et ses systèmes associés de contrôle et d'alimentation. Plutôt que de rapporter des problèmes ou des écarts par rapport aux paramètres normaux de fonctionnement (effectué d'habitude par des lampes témoins), le système ADS fait des estimations intelligentes d'un défaut de fonctionnement et rend compte à l'opérateur des causes possibles dans un langage simple.

Le système ADS partage avec le PLC (régulateur de logique programmable) la prise en compte de toutes les fonctions de contrôle de l'entraînement par tête d'injection et communique avec l'opérateur par l'intermédiaire de l'unité à écran tactile « Allen Bradley Panel View 1000 », montée dans un boîtier en acier inoxydable. Ce boîtier est installé sur un support amovible permettant des ajustements de l'hauteur, cadrage et inclinaison. L'affichage de ce terminal d'interface de l'opérateur consiste en plusieurs écrans différents montrant des paramètres de système et l'état des alarmes. Il permet d'entrer des facteurs de correction et d'arrêter les fonctions non essentielles pour continuer avec les opérations stratégiques en cas d'une défaillance d'équipement.

IV.4. Top Drive :

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

V. Caractéristiques de Top Drive 1050E-500:[1]

Capacité nominale de levage statique	500 tons
Moteur	A courant continu à excitation séparée (GE 752)
Puissance de sortie	
Continue	840 KW
Intermittente	1020 KW
Couple continu nominal	(40700 Nm) @ 180 RPM
Couple intermittent nominal	(45100 Nm) @ 180 RPM
Vitesse maximale nominale	260 RPM @ (21700 Nm)
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

Tab III.1 : Caractéristiques du Top Drive type 1050E-500.

VI. Composition du Top Drive :[1]

Le Top Drive est composée de trois parties essentielles :

VI.1. Partie hydraulique :

Notre système est équipé par deux pompes hydrauliques, ces pompes absorbent l'huile à partir d'un bac situé à ces dessus, elles injectent l'huile dans un flexible avec une pression hydraulique bien déterminé.

Cette huile est dirigé vers le manifold qui contienne des électrovannes qui commandent les fonctions hydrauliques de Top Drive, le retour est faisais par une autre flexible relier avec le bac, en même temps il ya un différentielle entre l'aller et le retour pour détecter les écarts dans le cas ou' il ya une fuite, il ya aussi un régulateur de pression à la sortie des pompes pour assurer une valeur de pression constant.

Les dispositifs qui jouent un rôle important ce sont :

VI.1.1. Les pompes hydrauliques :

Les pompes sont de type volumétrique alternative à piston, qui comporte un moteur asynchrone pour l'entraînement d'un dispositif qui contient deux pistons axiaux, l'une assure l'aspiration d'huile et l'autre pour le refoulement.

Généralement, l'une des pompes fonctionner et l'autre est en repos; et comme il y a la possibilité de fonctionner il y a la possibilité d'arrêt si aucune fonction est en cours.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de ces pompes :

Style	jumelé
Puissance nominale par pompe	15 kW
Type	à pistons axiaux à débit variable
Pression	2350 Psi
Débit	49 l/min
moteurs	15 kW, 1750 tr/min, 460 ou 600V, 60 Hz
Capacité des réservoirs	290 litres

Tab III.2 : caractéristique des pompes.

VI.1.2. Manifold :

Situé au dessus de Top Drive (à côté de la tête d'injection intègre), il contient tout les électrovannes qui distribuent l'huile pour les différents fonctions hydrauliques.

VI.1.3. Frein hydraulique :

Le frein est de type hydraulique à disque à compas, monté sur le dessus du moteur.

S'il est :

- ❖ Hors circuit : Top Drive tourne librement.
- ❖ En circuit : le frein de Top Drive est appliqué, le groupe hydraulique doit être en marche pour le fonctionnement du frein.

Le frein ne sera pas appliqué en mode de rotation (en cours de forage).

VI.1.4. Vanne de contrôle de puits supérieur :

Cette vanne à commande hydraulique est montée à l'entrée de la boue, au dessus de Top Drive, elle sert d'arrêter l'écoulement de la boue et aux fins de contrôle du puits.

La vanne se ferme automatiquement quand la ou les pompes à boue sont arrêtées et la pression de la colonne montante est inférieure à 250 psi.

La vanne s'ouvre automatiquement quand la ou les pompes à boue sont démarrées.

VI.1.5. Vanne de contrôle de puit inférieur :

Cette vanne à commande hydraulique est montée sur l'arbre creux en dessous de Top Drive, elle fonctionne de la même manière que la première.

VI.1.6. Le générateur de couple (Torque Boost):

Le générateur de couple est un entraînement hydraulique a haute couple, basse vitesse destiné au vissage ou dévissage des raccordements, il est constitué de :

- ❖ Un moteur d'entraînement hydraulique.
- ❖ Une boîte à vitesse ou multiplicateur de couple.
- ❖ Embrayage.

L'embrayage du générateur de couple est automatiquement engagé quand la fonction de blocage est sélectionnée.

L'embrayage du générateur de couple est automatiquement désengagé quand la fonction de vissage ou dévissage est relâchée, puis toutes les dix minutes par la suite pour assurer qu'il n'a pas été accidentellement engagé.

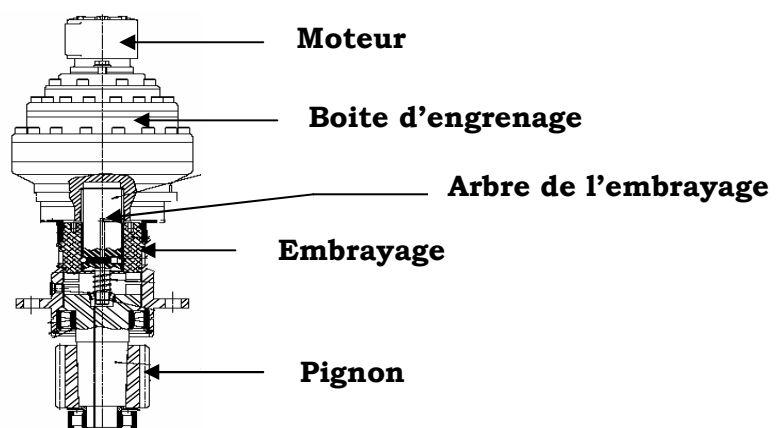


Fig. III. 3 : Générateur de couple (Torque Boost).

a) Vissage :

L'arbre creux de l'entraînement supérieur tournera hydrauliquement vers l'avant avec un couple maximum de 32500 N.m, on sélectionne le mode (couple avant) pour fournir jusqu'à 45100 N.m de couple supplémentaire au moteur électrique, soit un total combiné de 77700 N.m.

b) Dévissage :

L'arbre creux de Top Drive tournera hydrauliquement en marche arrière avec un couple maximum de 50800 N.m, on sélectionne le mode (couple arrière) pour fournir jusqu'à 45100 N.m de couple supplémentaire au moteur électrique, soit un total combiné de 96000 N.m.

VI.1.7. Pompe de lubrification :

C'est le moyen utilisé pour pomper l'huile de lubrification ; ses caractéristiques sont : 1.5 Kw ,575V, 15 l/min.

VI.1.8. Handler lock :

C'est une goupille fixée sur l'arbre d'un vérin, de façon d'assurer le freinage de Handler (c'est une roue dentée support le back up wrench).

VI.1.9. Back up wrench positioning:

C'est un vérin à mouvement vertical dans un arbre de section carré creux, ce mouvement précise la position de Back up wrench gripper.

VI.1.10. Back up wrench gripper:

C'est un ensemble de plaques qui assurent la fixation de tige de forage dans un orifice, le déplacement de ces plaques s'effectue à l'aide d'un vérin.

VI.1.11. L'élévateur (Link tilt) :

Deux bras parallèles ont une action simultanée, les bras sont placés sur un support d'articulation subissent le mouvement à l'aide de deux vérins homogènes.

Les extrémités de ces bras comportent une clef à ouverture centrale ce dernier est utilisé pour tenir les tiges.

VI.1.12. Le moteur hydraulique (Handler rotate) :

C'est un moteur à entraînement hydraulique qui fait tourner le « Handler ».

VI.1.13. Blower :

C'est un ensemble de moteur asynchrone équipé par un système d'aspiration d'air, ce dernier fait le refroidissement des ballais et de collecteur de moteur a courant continu.

✚ Schéma hydraulique de Top Drive :

Le schéma hydraulique indique les différentes fonctions qui peuvent faire par le Top Drive, donc on va expliquer quelques fonctions et les autres sont faisait de même manière.

Dans le schéma on voit que l'entrée c'est à partir de les deux pompes hydrauliques qui jouent le rôle d'une source d'huile, ce dernier est arrivé à tous les dispositifs concernant à chaque fonction, pour assurer une pression bien déterminée on utilise des régulateurs, aussi il ya deux manomètres pour lire la valeur de pression (d'entrée et de sortie).

Donc ; comme exemple la fonction de (BACK-UP WRENCH GRIPPER) subit l'huile de 1800 psi, qui est assurée par un autre régulateur. A l'état repos de l'électrovanne le sens de circulation d'huile est à partir de P vers A et B vers T, la deuxième position c'est de P vers B et de A vers T, le premier cas signifie que le gripper n'engage pas (pas de fixation) et le deuxième cas c'est l'inverse.

Lors en parle sur HANDLER LOCK ; la même chose, il ya un régulateur de 1200 psi, le repos se fait par le parcours d'huile de P vers A et B, ou pas de retour qui signifie la continuité de freinage de « Handler », le deuxième cas l'orientation d'huile c'est de P vers A et de B vers T pour assurer la liberté de « Handler ». Et pour les autres fonctions sont de même principe la différence est au niveau des régulateurs implantés.

VI.2. Partie mécanique :

En générale, de point de vue mécanique le côté efficace c'est la transmission de mouvement, dans notre cas le moteur travaille verticalement avec un double sens de rotation, l'arbre du moteur avec le pignon transmettent le mouvement de rotation à une grande roue dentée, qui transmet la rotation au moyeu.

Le moyeu fait tourner le crabot qui à son tour assure la rotation de l'arbre principal et ce dernier entraîne les tiges.

Les différents composants sont :

VI.2.1. Support de Top Drive :

C'est le cadre qui porte le corps principale et les autres organes de Top Drive, il est glissé sur une raille verticalement.

VI.2.2. Le bonnet :

C'est le corps qui contient le « wash pipe », permet le passage de la boue entre la partie tournante et la partie fixe.

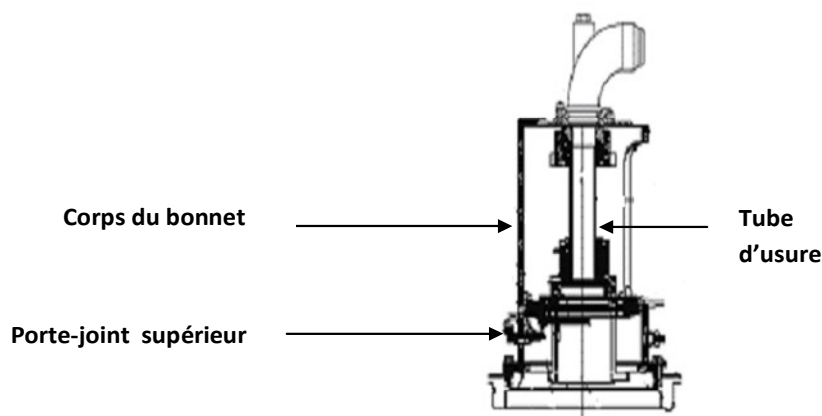


Fig. III.4 : Le bonnet.

VI.2.2.3. Boîte d'engrenage :

La transmission de mouvement est assurée par :

- ❖ Un pignon cylindrique à dentures droites extérieures monté à chaud sur l'arbre du moteur d'entraînement, contient 25 dentures.

- ❖ Un pignon intermédiaire de 31 dents
- ❖ Roue dentée de 125 dents engrenée au pignon intermédiaire, elle assure la réduction de vitesse de rotation et la transmission du mouvement au moyeu.

Toute cette chaîne de transmission flottent dans un baigne d'huile de lubrification.

Dans notre système le type des engrenages sont cylindrique droite puisque elles permettent de transmettre le maximum des efforts qui nous besoins.

VI.2.4. Le corps principal :

C'est le corps extérieur où repose le roulement principal qui supporte la charge du moyeu et toute la garniture.

Pour la facilité de faire tourner le moyeu le constructeur utilise des roulements de types : buté à rouleaux conique, roulement conique et roulement à aiguilles.

En utilisant ces types des roulements parce qu'il y a une force axial vers l'haut due à les engrenages entre les roulements « roulement conique et buté à rouleaux conique ».

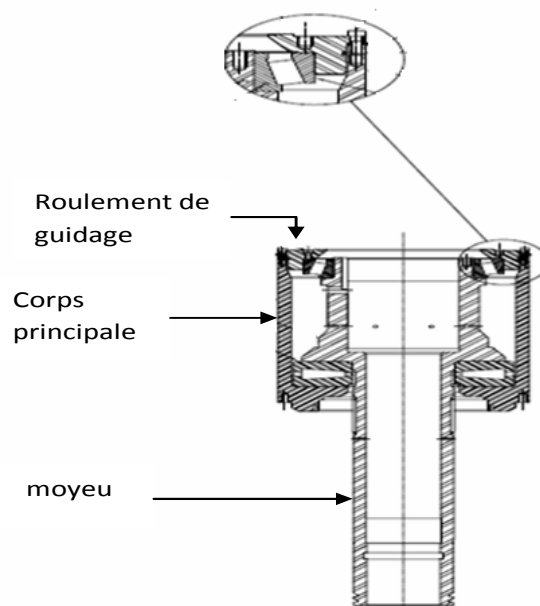


Fig III.5 : Corps principal.

VI.2.5. Le moyeu :

C'est un arbre creux fixé par quatre clavettes, pour assurer la rotation de l'arbre principal.

VI.2.6. Le crabot :

C'est un cylindre qui contient des dentures à l'intérieure, liée avec le moyeu par un boulon et une clavette pour transmettre la rotation au arbre principale (quill).

VI.2.7. L'arbre principal :

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

L'arbre principal peut se déplacer de 20 cm (pendant le serrage et le desserrage).

VI.2.8. Cage extérieur :

C'est le moyen utilisé pour protéger les différents organes de Top Drive contre les chocs...Etc.

VI.2.9. Raille :

C'est un moyen utilisé pour le déplacement de Top Drive, il est fixé sur le mât de l'appareil de forage.

VI.3. Partie électrique :

C'est l'objet de notre étude, la partie électrique comporte une partie électronique et des organes électriques :

VI.3.1. Partie électronique :

Cette partie contient des "ADAPTERS" (convertisseurs analogique – numérique et vice versa), UNE CARTE MERE 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, reliée tous les capteurs, et limitent les surtensions et les intensités supérieures à l'intensité nominale du moteur.

VI.3.2. moteur :

Moteur à courant continu à excitation séparée, c'est l'élément principal de Top Drive. Fig. III.6.

Les caractéristiques principales du moteur sont les suivantes :

- ❖ Courant d'induit nominal : 1160 A.
- ❖ Tension d'induit : 750 V.
- ❖ Puissance : 840 KW.
- ❖ Courant d'excitation nominal : 60A.
- ❖ Vitesse nominal : 1060 tr/min.

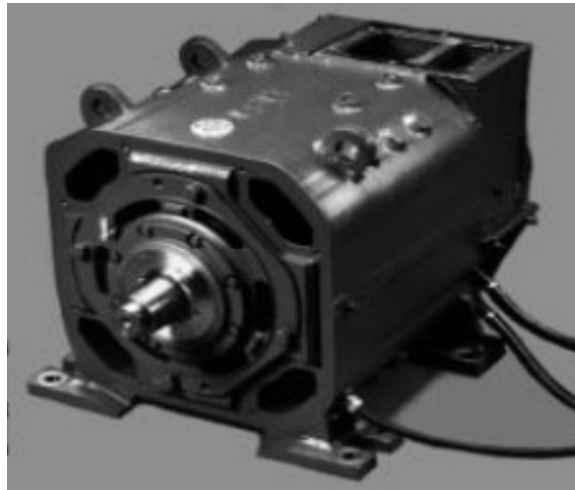


Fig III.6 : Moteur GE752 à excitation séparée.

VI.3.3. L'alimentation :

Ce moteur est alimenté par un redresseur contrôlé (à thyristor), ce dernier délivre une tension continue variable (0 – 750V) permet la variation de vitesse du moteur, donc la commande de la vitesse et du couple de Top Drive.

La régulation de la vitesse est assurée par un régulateur analogique (PID).

✚ Schéma électrique de Top Drive :

Le schéma électrique que nous avons présenté, définit le circuit électrique de notre système, soit les conducteurs ou soit les organes, donc comme on va voir le schéma contient quatre parties principales on va les citer respectivement :

TDSU (Top Drive Support Unit) : Ce partie a son tour contienne des sous partie comme (J BOX#1) et (J BOX#2) ce sont des boites de connexion pour l'entré c'est-à-dire l'alimentation ou bien pour la distribution vers les différents organes de top drive.

Le SCR (Silicon Controlled Rectifier) : c'est un pont redresseur tout thyristor des caractéristiques suivantes :

IN PUT	600 V AC	1200 A AC
OUT PUT	750 V DC	1464 A DC

L'entré de ce pont est triphasé effectué par six câbles, où chaque phase est doublée, Cet technique est utilisée pour éviter l'échauffement causé par les surcharges, de même raison pour la sortie.

Le CIP (Compact Interface Panel) : Il reçoit son alimentation parallèlement à l'entré de SCR, une partie de cette alimentation utilise pour l'éclairage de la chambre de « TDSU » et la climatisation, le deuxième partie pour l'alimentation des pompes de lubrification et le « blower », et le troisième partie pour l'excitation (FIELD SUPPLY).

L'excitation de moteur séparé de Top Drive se fait après une opération de transformation ou l'entré c'est 480 volts et la sortie (a point milieu) est 200 volts, uniquement une côté est utilisé et l'autre reste secours en cas des problème, le quatrième partie pour l'alimentation des pompes « HPU1 », »HPU2 » qui injectent l'huile vers les différents dispositifs de Top Drive .

TORQUE GUIDE : c'est un support métallique utilisé pour tenir les différents câbles.

LE SERVICE LOOP : C'est un tuyau a une diamètre important pour porter les câbles ,qui sont orientées vers les organes de Top Drive, il utilise d'une façon pour protéger les câbles contre les facteurs externes et d'autre partie pour faciliter le mouvement verticale de Top Drive.

LE TOP DRIVE : qui contienne tous les dispositifs (MCC, blower, pompe d'huile,...etc.), donc il est subit leur alimentation à partir de tuyau qui nous avons cité précédemment.

VII. Avantages et inconvénients de Top Drive :

VII.1. Avantages [12]:

Une opération de forage plus sécurisée :

- ❖ Le Top Drive serre et desserre les connections.
- ❖ Elle est équipée d'un élévateur (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 tige d'entraînement 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 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.

Le forage avec des longueurs (stands):

- ❖ Les puits multiples peuvent être forés avec les mêmes longueurs (stands) sans gerbage et dégerbage (gain de temps).
- ❖ Forage de 27.4m (90ft) sans faire de connections.
- ❖ L'utilisation des trois tiges simples de forage va aider à avoir un puits plus vertical.

Un meilleur système pour le “underbalanced 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 (British Petroleum) 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 1/3, et par conséquent le coût est réduit par 2/3.
- ❖ Soulager le travail des accrocheurs.

VII.2. Inconvénients [12]:

- ❖ Le coût de la maintenance des 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.

VIII. Conclusion :

Vu les différents avantages qu'offre le Top Drive dans un système de forage, comme le fait qu'il effectue plusieurs tâches en un temps très réduit, il devient de plus en plus avantageuse. Puisque notre travail consiste à faire une étude de Top Drive, qui est équipée par un moteur à courant continu, à cause de rôle principale de ce dernier en va l'étudiée.

I. Introduction :

Les machines à courant continu – à collecteur mécanique – (MCC), après avoir longtemps occupé une place dominante au sein des systèmes électromécaniques à vitesse variable, est en forte régression. Son succès, qui lui permet toujours d'occuper une place sur le marché, est dû à la grande simplicité de son alimentation électronique et de sa commande comparativement à celles de ses concurrentes, les machines à commutation électronique (MCE) ou sans balais (synchrone, asynchrone, à réluctance variable...).

Ce sont des machines réversible c'est-à-dire qu'elles peuvent fonctionner indifféremment soit comme réceptrices (moteur), soit comme génératrices (dynamos).

Les moteurs à courant continu à collecteur, encore utilisés de nos jours, sont à inducteur bobiné ou à aimants permanents. Les premiers sont à excitation séparée ou à excitation série, c'est notamment le cas des moteurs universels très employés en électroménager. Leur alimentation est réalisée par convertisseurs à thyristors ou par hacheur selon la source d'alimentation ou les choix technico-économiques effectués. Il s'agit alors principalement de contrôler le courant d'induit, éventuellement le courant inducteur, grâce au réglage de la tension.

En effet, le type de Top Drive, entraînée par la machine à courant continu, que en va étudier dans notre sujet de mémoire à pour modèle 1050E –500.

II. Les convertisseurs statiques :

II.1. Rappel sur les semi-conducteurs : [14]

II.1.1. Les diodes :

La diode à jonction P-N est formée d'une pastille de silicium deux couches, celle de type P est reliée à l'anode A, celle du type N à la cathode K.

Une diode est caractérisée par :

- ❖ la tension inverse V_i qui peut supporter.
- ❖ le courant moyen direct I_d qu'elle peut écouler.

II.1.2. Les thyristors :

Le thyristor est un semi-conducteur à jonctions PN. Outre l'anode A et la cathode K, ce redresseur est muni d'une électrode de déblocage ou gâchette (G).

Quand le thyristor est conducteur, il se comporte comme une diode : la gâchette n'a plus de pouvoir de commande, il ne se bloque que lorsque le courant direct s'annule.

Le thyristor peut s'amorcer d'une manière intempestive est généralement destructrice sans impulsion de gâchette :

- ❖ parce que la tension directe qui lui est appliquée est excessive.
- ❖ ou parce que la tension directe qui lui est appliquée avec une pente dV_T/dt trop fort.
- ❖ ou parce qu'on lui applique une tension directe après un intervalle d'ouverture trop bref.

II.2. Choix du type de convertisseurs :

La variation de vitesse s'effectue, le plus souvent par variation de la tension d'induit, complétée éventuellement par la variation de la tension d'excitation. L'alimentation sont des amplificateurs commandables par des tensions de faibles niveaux et constitués par des convertisseurs statiques dont les composants (thyristors, transistors) travaillent en commutation. Les tensions obtenues présentent des discontinuités et les courants doivent être filtrés. Ce filtrage est naturellement créé par l'inductance du moteur, si elle est suffisante, sinon par une inductance additionnelle. Le choix du convertisseur et de son environnement est effectué à partir de considérations sur :

- ❖ La réversibilité.
- ❖ La nature de la source.
- ❖ La puissance à fournir et la bande passante.

II.3. Classification des convertisseurs :

On peut classer les convertisseurs selon le mode conversion on obtient ainsi :

- ❖ Convertisseur alternatif – alternatif : gradateur.
- ❖ Convertisseur continu - continu : hacheur.
- ❖ Convertisseur continu -alternatif : onduleur.

- ❖ Convertisseur alternatif continu : redresseur à thyristor ou à diode.

Puisque notre étude est basée sur le redresseur triphasé commandé, en va présenter ce dernier seulement.

II.4. Redresseur triphasé tout thyristor :[5]

Les redresseurs tout thyristors sont caractérisés par un fonctionnement liés à l'angle de retard α compté à l'échelle de pulsation des tensions alternatives d'entrée. Chaque thyristor est débloqué avec un temps de retard α / ω .

On distingue les montages suivants :

a) Montage parallèle (P3) :

- ❖ Schéma de principe :

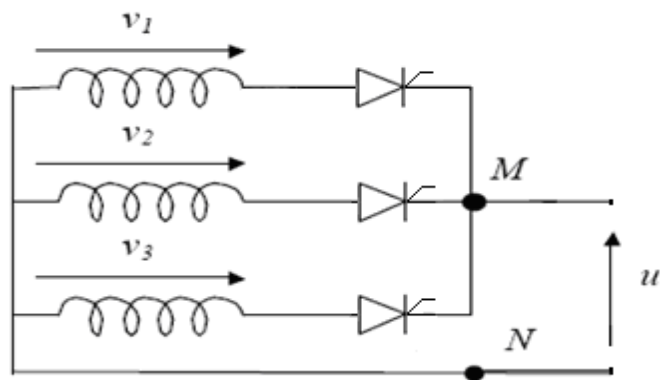


Fig. IV.1 : schéma de principe d'un montage P3.

- ❖ La forme de la tension redressée :

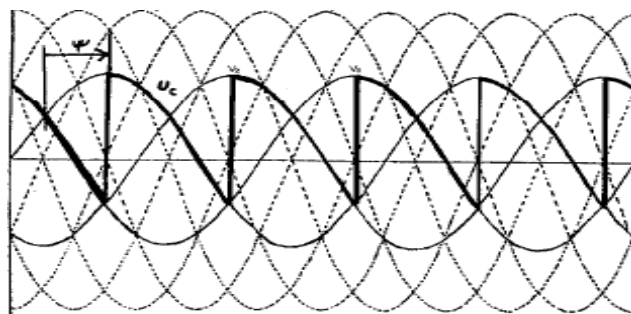


Fig. IV.2 : $\psi = \frac{\pi}{3}$, cas d'une valeur moyenne de tension de sortie positive.

❖ La valeur moyenne de la tension :

$$U_d = \frac{1}{2\frac{\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} v_m \sin(\theta) d\theta \longrightarrow U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} v_m \cos(\alpha)$$

b) Montage parallèle double (PD3) :

❖ Schéma de principe :

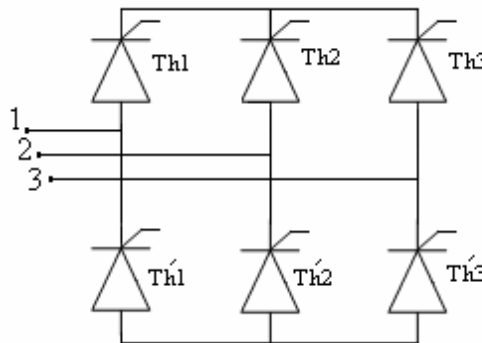


Fig. IV.3 : schéma de principe d'un montage P3.

❖ La forme de la tension redressée :

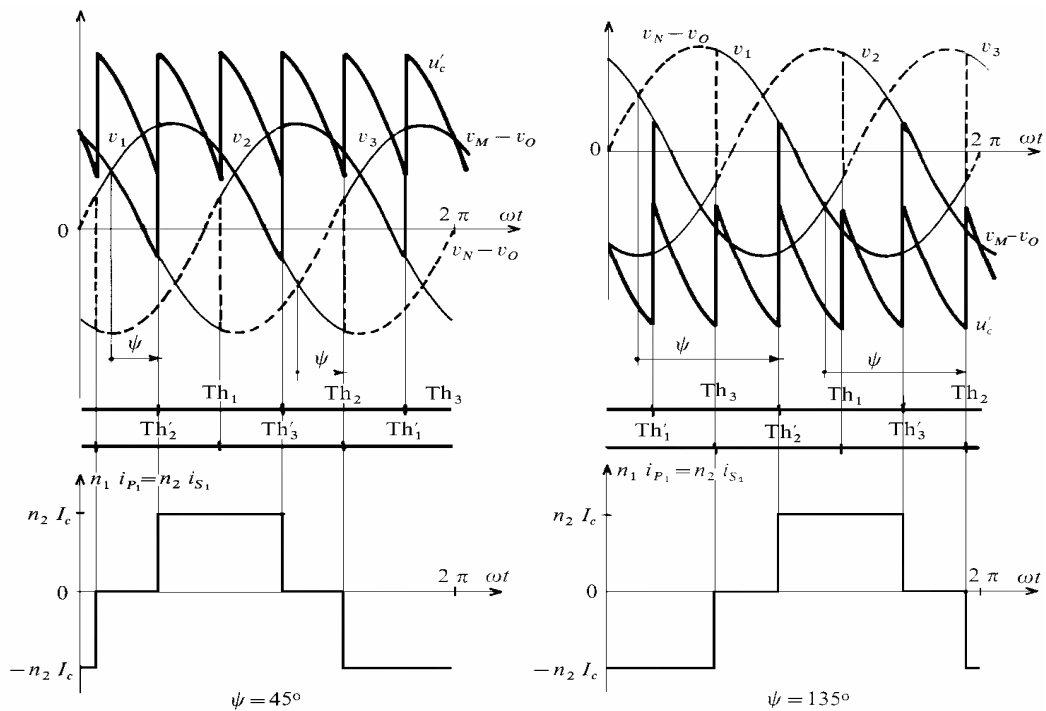


Fig. IV.4 : allure de la tension redressée.

❖ La valeur moyenne de la tension :

$$U_d = \frac{1}{\frac{\pi}{3} \frac{\pi}{6} + \alpha} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} (v_1 - v_2) d\theta \longrightarrow U_d = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} v_m \cos(\alpha)$$

Le schéma détaillé de redresseur PD3 réel utilisé est représenté dans l'annexe IV

III. Le moteur a courant continu :

III.1. Constitution des moteurs à courant continu : [12]

Les moteurs à courant continu sont constitués de trois parties essentielles qui sont :

III.1.1 Le stator ou l'inducteur :

C'est un élément du circuit magnétique immobile sur lequel un enroulement est bobiné afin de produire un champ magnétique ce dernier, lui qui produit le flux magnétique lorsqu'elles sont traversés par un courant inducteur, elles produisent une force magnétomotrice " \mathbf{F} " qui entretient le flux " Φ " dans le circuit magnétique considéré.

III.1.2 Le rotor ou l'induit :

C'est un cylindre en tôles magnétiques isolées entre elles et perpendiculaires à l'axe du cylindre. L'induit est mobile en rotation autour de son axe et est séparé de l'inducteur par un entrefer. A sa périphérie, des conducteurs sont régulièrement répartis.

III.1.3 Collecteur et balais :

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre isolées, disposées sur l'extrémité du rotor, les balais portés par le stator frottent sur le collecteur.

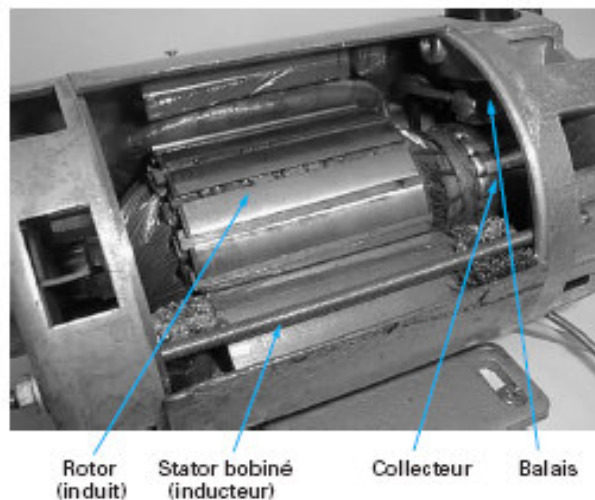


Fig IV.5 : Moteur à courant continu.

III.2. Principe de fonctionnement [12]:

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) dans l'entrefer, dirigé suivant les rayons de l'induit. Ce champ magnétique entre dans l'induit du côté du pôle Nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté du pôle Sud de l'inducteur. Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle inducteur (d'un même côté des balais) sont parcourus par des courants de même sens, et sont donc d'après la loi de Laplace, soumis à une force.

Les conducteurs situés sous l'autre pôle sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé. Les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur (figure IV.6).

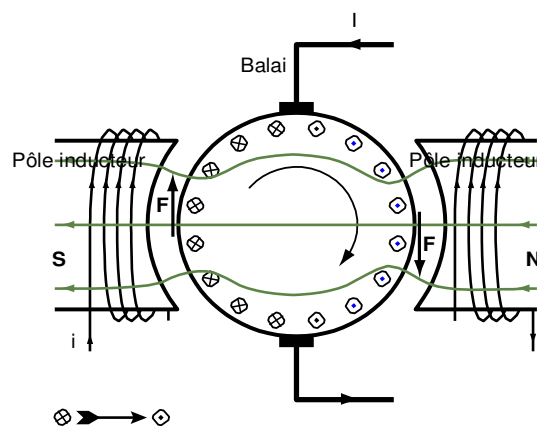


Fig IV.6 : Principe de fonctionnement de moteur à courant continu.

Lorsque l'induit du moteur est alimenté sous une tension continue ou redressée U , il produit une force contre-électromotrice e dont la valeur est :

$$e = U - RI$$

RI : représente la chute de tension ohmique dans l'induit.

La force contre-électromotrice " e " est liée à la vitesse et à l'excitation par la relation :

$$e = K' \omega \Phi$$

Dans laquelle :

K' : est une constante propre au moteur,

ω : La vitesse angulaire,

ϕ : Le flux.

Cette relation montre qu'à excitation constante la force contre- électromotrice e , proportionnelle à ω , est une image de la vitesse.

Le couple est lié au flux inducteur et au courant d'induit par la relation :

$$C_{em} = K' \Phi I$$

En réduisant le flux, le couple diminue.

III.3. Différents types de moteurs à courant continu : [3][7]

On distingue différents types de moteurs à courant continu, à savoir :

III.3.1. Moteur à courant continu à excitation parallèle :

Les bobinages, induit et inducteur, sont connectés en parallèle. L'inversion du sens de rotation s'obtient par l'inversion de l'un ou de l'autre des enroulements, en général par inversion de la tension d'induit en raison des constantes de temps beaucoup plus réduites. La majorité des variateurs bidirectionnels pour moteur à courant continu travaillent de la sorte.

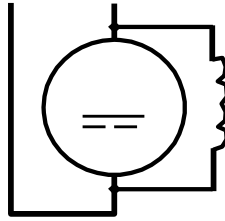


Fig IV.7 : Moteur à courant continu à excitation parallèle.

III.3.2. Moteur à courant continu à excitation série :

Ce moteur est de construction semblable à celle du moteur à excitation séparée. Le bobinage inducteur est connecté en série avec le bobinage induit, d'où son appellation. L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur.

Il est essentiellement utilisé en traction, en particulier sur les chariots alimentés par batteries d'accumulateurs.

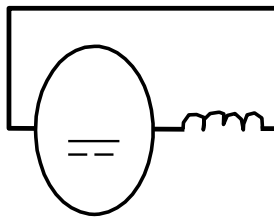


Fig IV.8 : Moteur à courant continu à excitation série.

III.3.3. Moteur à courant continu à excitation composée ou « compound » :

Cette technologie permet de réunir les qualités du moteur à excitation série et du moteur à excitation parallèle. Ce moteur comporte deux enroulements par pôle inducteur. L'un est en parallèle avec l'induit. Il est parcouru par un faible courant au regard du courant de travail. L'autre est en série avec l'induit. Le moteur est à flux additif si les ampères-tours des deux enroulements ajoutent leurs effets. Il est à flux soustractif dans le cas contraire, mais ce mode de montage est très rarement utilisé car il conduit à un fonctionnement instable pour les fortes charges.

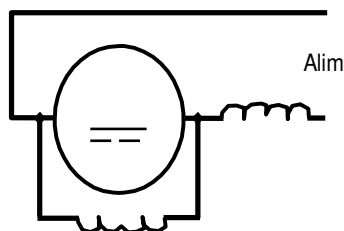


Fig. IV.9 : Moteur à courant à excitation composé.

III.3.4. Moteur à courant continu à excitation séparée :

Dans un moteur à excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Les cas fréquents où la tension d'excitation est constante sont équivalents à ceux des moteurs à aimants permanents, dont le flux est constant.

L'inversion du sens de rotation est obtenue indifféremment par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur.

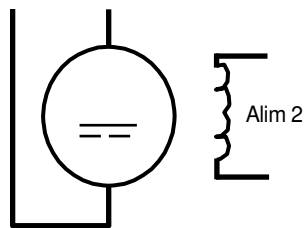


Fig. IV.10 : Moteur à courant continu à excitation séparé.

III.4. Mode de démarrage des moteurs à courant continu : [3][7]

Au démarrage le moteur appelle à un fort courant dans l'induit qui risque de détruire les isolations des enroulements. Des étincelles plus au moins fortes peuvent apparaître au collecteur qui peuvent dans certains cas dégénérer en flash.

- ❖ Le réseau d'alimentation du moteur doit être convenablement calculé pour ne pas y avoir une forte chute de tension.
- ❖ Sur l'arbre du moteur apparaît un couple dynamique qui doit supporter le mécanisme d'accouplement de la machine entraînée pour cela on utilise l'un des procédés de démarrage pour limiter le risque du courant.
- ❖ Pour les moteurs de faible puissance ne dépassant pas 6KW on le branche directement
- ❖ Pour les moyennes puissances on utilise le démarrage rhéostatique c'est-à-dire on résistances dans l'induit pour réduire le courant.
- ❖ Démarrage des moteurs à l'aide d'un groupe spéciale dans les installations de grande puissance, le rhéostat de démarrage est encombrant et surtout provoque des pertes considérables d'énergies. Pour cette raison dans de

nombreuses installations on emploie le démarrage sans rhéostat par variation de la tension appliquée au moteur lors de la mise en marche.

III.5. Mode de freinage des moteurs à courant continue :[3][7]

Il existe trois modes de freinage :

- ❖ Freinage par récupération de l'énergie ;
- ❖ Freinage à contre courant ;
- ❖ Freinage rhéostatique (dynamique).

III.5.1. Freinage par récupération de l'énergie :

Ce mode de freinage à lieu lorsque la vitesse du moteur devient supérieure à la vitesse de marche à vide idéale dans ce cas le courant et le couple changent leurs sens et le moteur devient un générateur en parallèle avec le réseau.

III.5.2. Freinage rhéostatique (dynamique) :

Lorsque le moteur est débranché du réseau l'arbre continu a tourné par inertie. Au même temps l'inducteur continue à développer un flux fixe ce qui donne naissance à un courant dans les enroulements d'induit ce courant entre en interaction avec le flux d'excitation qui crée un couple de freinage qui provoque l'arrêt du moteur électrique.

III.5.3. Freinage à contre courant :

Il est réalisé lorsque le moteur est brancher dans le sens directe et pour inverser le sens de rotation il faut le débrancher et inverse l'alimentation.

Donc avant l'utiliser ce mode de freinage il faut s'assurer que l'isolation des enroulements d'induit peut supporter cette tension.

III.6. Réglage de la vitesse des moteurs à courant continu par variation de :

- ❖ Flux d'excitation ;
- ❖ La résistance du circuit d'induit (R_d).
- ❖ La tension d'alimentation du circuit d'induit.

III.6.1. Réglage par variation du flux d'excitation :[4]

On peut réaliser cette méthode soit on alimentant le circuit d'excitation par un convertisseur ou bien insérant une résistance réglable; on constate que la

variation du flux ne peut être effectué que dans le sens de sa diminution par rapport au flux nominal (on raison du phénomène de saturation) donc $V (\Phi < \Phi_n)$.

Cette méthode présente un grand avantage qu'elle est très économique quelque soit le procédé utilisé car le courant d'excitation représente 10 % du courant nominal d'induit, mais tout de même elle présente des inconvénients suivants :

- ❖ La diminution de la rigidité de la caractéristique mécanique.
- ❖ La diminution de la capacité de surcharge.
- ❖ Le réglage de la vitesse peut être effectué uniquement dans le sens de l'augmentation.

III.6.2. Réglage de la vitesse par variation de la résistance du circuit d'induit :

Cette méthode est réalisée à l'aide d'une résistance réglable inséré dans le circuit d'induit, c'est une méthode très simple qui permet le réglage dans le sens de la diminution par rapport à sa vitesse nominal. Toute fois elle présente les inconvénients suivant :

- ❖ La diminution de la rigidité de la caractéristique mécanique.
- ❖ La diminution de la capacité de surcharge.
- ❖ Des grandes pertes d'énergie par effet joule.

III.6.3. Réglage par variation de la tension d'alimentation du circuit d'induit :

Les procédés utilisé pour la réalisation de cette méthode sont le système génératrice moteur (procédé presque abandonner) et le réglage dans le système est convertisseur moteur. Cette méthode présente les avantages suivants :

- ❖ La même quantité de pertes nominale pour les différentes vitesses.
- ❖ La rigidité de la caractéristique mécanique ne varie pas.
- ❖ Très économique.
- ❖ Le réglage est effectué dans le sens de la diminution par rapport à la vitesse nominale.

Et son inconvénient est lié à la diminution de la capacité de surcharge.

Dans le cas de la commande des moteurs à courant continu nous disposons de deux moyens de réglage de la vitesse, soit par variation de la tension aux bornes du circuit d'induit, soit par variation du flux d'excitation. Il n'est pas indifférent d'employer l'un ou l'autre de ces deux procédés celui qui convient le mieux dépend de la machine que le moteur entraîne et dans le cas ou le domaine de variation de

la vitesse exige l'emploi des deux méthodes, il y' a encore lieu de déterminer celui qu'il faut choisir.

Parmi les différents types de moteurs, les plus utilisés dans l'industrie sont ceux à excitations série, et séparée.

Le moteur d'entraînement de Top Drive modèle 1050E-500, est celui à excitation séparée (**GE 752**).

IV. Moteur à courant continu à excitation séparée (GE 752) :

Les moteurs GE752 « High torque » sont utilisés dans les industries de pétrole et de gaz pour animer les chantiers de forage.

Ces moteurs sont alimentés par une tension continue de 750 volts redressée par un pont redresseur tout thyristor spécialement conçu pour les chantiers de forage [1].

La puissance de ce type de moteurs est de 1130 Horse Power (840 KW), avec une isolation de classe H .Le moteur fonctionne avec trois vitesses suivant le courant d'excitation :

❖ $I_{ex}=60\text{ A}; I_{ex}=40\text{ A}; I_{ex}=30\text{ A}.$

Correspondant respectivement aux vitesses :

❖ $\Omega=210\text{ RPM}; \Omega=240\text{ RPM}; \Omega=265\text{ RPM}.$

Chaque vitesse est utilisée pour une phase de forage suivant la durté.

La figure IV.11 ci-dessous montre l'image réelle du moteur GE752.



Fig IV.11 : Image réel de moteur GE752.

Avec une simple manœuvre (manipulation d'un contacteur), ces moteurs peuvent fonctionner aussi bien dans un sens de rotation que dans l'autre sens, en jouant par ce fait sur le sens de parcourt du courant d'excitation, comme le montre la figure :

Changement du sens de rotation du moteur :

❖ Pour que le moteur tourne au sens de rotation indiqué sur la figure on connecte :

F1 à la borne POSITIVE.

F2 à la borne NEGATIVE.

A1 à la borne POSITIVE.

A2 à la borne NEGATIVE.

❖ Pour que le moteur tourne au sens inverse on connecte :

F1 à la borne NEGATIVE.

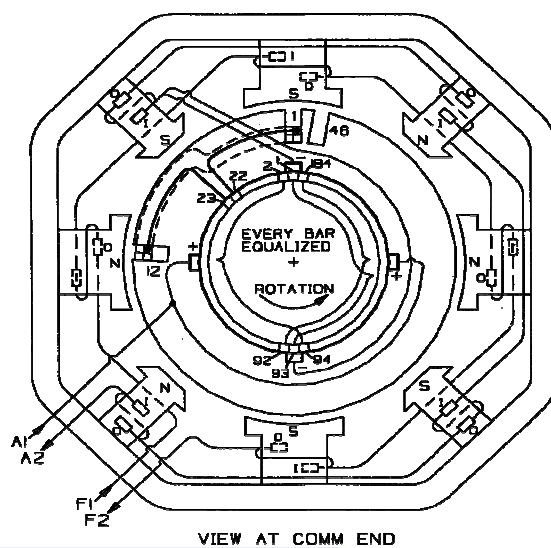


Fig. IV.12: Schéma de connexion.

IV.1.Caractéristiques du moteur :[1]

Puissance nominale W (en kW) :	840
Tension nominale U (en V):	750
Courant d'induit nominal I (en A) :	1160
Courant d'excitation nominal I_f(en A) :	60
Vitesse nominale Ω (en tr /mn) :	1060
Couple nominale C_{em} (en Nm) :	7670
Résistance R (en Ω) :	0.27
Inductance L (en H):	0.0073
Moment d'inertie J (en Kg.m²) :	0.01
Le coefficient de frottement visqueux f_r (en Kg.m².s⁻¹) :	0.011
Coefficient dépendant des caractéristiques constructives de la machine K'' (en V/A.(rad/s)) :	0.45

Tab IV.1 : Caractéristique du moteur GE752.

Les caractéristiques mécaniques du moteur GE752 représente dans l'annexe II.

IV.2. Commande du moteur à courant continu (à excitation séparée) : [4]

IV.2.1. Schéma classique général d'une commande de machine électrique :

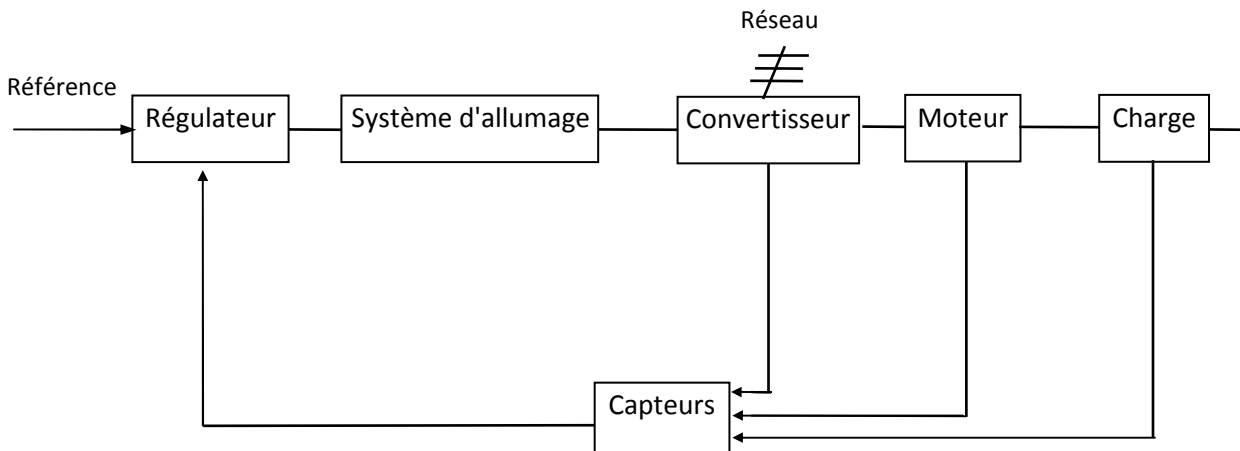


Fig IV.13 : Schéma classique général d'une commande de machine électrique.

Le schéma de la figure (IV.13), est très général et, les éléments sont différents suivant les applications du système.

Pour qu'on puisse établir la commande du moteur, on a intérêt à connaître la fonction de transfert de ce dernier, ce qui nous amène à faire la modélisation du moteur.

IV.2.2. Modélisation du moteur à courant continu :

Le fonctionnement du moteur à courant continu étant connu, nous nous contenterons de rappeler les équations de la machine [3], [4].

Soit le schéma suivant :

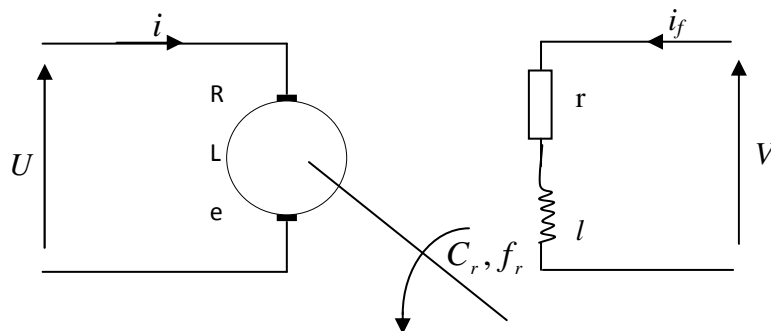


Fig IV.14 : Schéma équivalent d'un moteur à courant continu à excitation séparé.

La machine à courant continu à excitation indépendante est décrite par les équations suivantes :

IV.2.2.1. Equation électrique de l'induit:

$$U = Ri + L \frac{di}{dt} + e = Ri + L \frac{di}{dt} + K' \phi \Omega \quad (\text{IV.1})$$

Où :

i : Le courant d'induit (le courant principal qui passe dans le moteur).

R : La résistance du circuit induit (rotor).

L : L'inductance du circuit induit.

K' : Un coefficient qui dépend des caractéristiques constructives de la machine (diamètre de rotor, longueur axial, constitution du bobinage d'induit).

ϕ : Le flux produit par l'enroulement inducteur.

Ω : La vitesse de rotation du moteur (vitesse angulaire).

e : Force contre électromotrice créée par la rotation du moteur.

IV.2.2.2. Equation électrique de l'inducteur:

$$V = ri_f + l \frac{di_f}{dt} \quad (\text{IV.2})$$

Où :

i_f : Le courant inducteur (courant d'excitation du moteur)

r : La résistance du circuit inducteur (stator).

l : L'inductance du circuit inducteur.

IV.2.2.3. Equation mécanique:

$$C_{em} - C_r = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt}$$

$$K' \phi i = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} + C_r \quad (\text{IV.3})$$

Où :

$C_{em} = K' \phi i$: Le couple électromagnétique développé par la machine.

J : L'inertie du rotor de la machine et du système entraîné.

C_r : Le couple résistant opposé par le système entraîné, augmenté du couple de pertes de la machine (le couple C_r peut comporter un terme de frottement sec, un terme de frottement visqueux f_r , ...).

IV.2.3. Modélisation en régime dynamique du moteur à courant continu :

A vitesse variable, la machine est associée à des convertisseurs et des régulateurs, dont il faut déterminer les paramètres: c'est la synthèse du système.

Dans une première approche, cela ne peut se faire raisonnablement que dans le cadre des systèmes linéaires continus, à coefficients constants. Une analyse physique précise conduit à des modèles non linéaires. Il faut simplifier les équations; on ne représentera pas les effets de la saturation ou de la réaction d'induit (on aura donc le flux d'excitation qui sera proportionnel au courant i_f ($\phi = K' \alpha i_f$)). On considérera que l'inductance de l'induit L est constante et on regroupe en une expression du premier degré: $f_r \Omega + C_0$ l'ensemble du couple de frottement et du couple de charge.

On se ramène alors à des équations différentielles linéaires à coefficients constants.

Etant donné que le courant d'excitation est constant et en posant $K' \alpha = K''$, le modèle dynamique complet du moteur à courant continu à excitation indépendante sera:

$$\left\{ \begin{array}{l} U = Ri + L \frac{di}{dt} + K'' i_f \Omega \\ C_{em} = K'' i_f i = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} + C_r \end{array} \right. \quad (\text{IV.4})$$

En posant $K''i_f = K$ on aura:

$$\begin{cases} U = Ri + L \frac{di}{dt} + K\Omega \\ C_{em} = Ki = f_r \Omega + J \frac{d\Omega}{dt} + C_r \end{cases} \quad (\text{IV.5})$$

En appliquant la transformation de Laplace (avec des conditions initiales nulles) on aboutit à:

$$\begin{cases} U = RI(p) + LpI(p) + K\Omega(p) \\ p\Omega(p) = \frac{1}{J} KI(p) - \frac{f_r}{J} \Omega(p) - \frac{1}{J} C_r(p) \end{cases} \quad (\text{IV.6})$$

De ce qui précède, on constate que le moteur à courant continu a deux entrées U et C_r et deux variables de sorties i et Ω .

IV.2.4. Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu alimenté par un redresseur triphasé parallèle double à thyristor: (redresseur + charge R L E)

Les structures des régulateurs sont choisies pour répondre à plusieurs nécessités :

Le premier : réguler (ou asservir) la machine de façon que celle-ci impose à la charge la vitesse ou la position ou le couple désiré.

Mais également : réaliser certaines fonctions supplémentaires, les plus importantes concernant les sécurités.

Les structures sont choisies pour que l'amplitude du courant puisse être limitée (protection en courant) de façon active par la commande, et non par des protections comme les disjoncteurs ou les fusibles. De même on peut limiter la variation du courant. On peut limiter les échauffements dus aux pertes Joule (protection en $\int I^2 dt$), ou imposer des profils de couple. Il existe aussi divers type de protection utilisée ou non suivant les applications ou le type de moteur. On peut aussi réaliser des fonctions secondaires nécessaires au fonctionnement du convertisseur.

Ces problèmes ont été résolus grâce à l'usage généralisé des boucles internes : on cherche à réguler séparément chaque grandeur utile de la machine, ce qui permet également de la limiter (donc de réaliser de protections actives) ou de l'utiliser pour les différentes fonctions nécessaires. Par ailleurs, l'ordre global de la fonction de

Dans cette structure, la tension de sortie du régulateur de vitesse (notée Y_{ref}) sert de référence du régulateur de courant. C'est une image du courant (donc du couple) désiré. A ces organes de base, et sans changer la fonctionnalité de l'ensemble, peuvent s'ajouter des circuits de traitement du signal (filtrage des mesures de courant ou de vitesse si elles sont trop bruitées, par exemple) ou des circuits de protection.

Fonction de transfert du redresseur :

On sait que la fonction de transfert du redresseur triphasé parallèle double tout thyristors est : [12]

$$N = \frac{1}{1 + p \frac{T}{12}} \quad \text{(IV.8)}$$

Avec :

$T = \frac{1}{f}$: est la période du réseau d'alimentation,

$f = 60Hz$: Est sa fréquence.

$$T = \frac{1}{60} = 16.66ms$$

$$\tau = \frac{T}{12} = \frac{16.66}{12} = 1.38ms$$

IV.2.4.1. Boucle interne (boucle du courant)

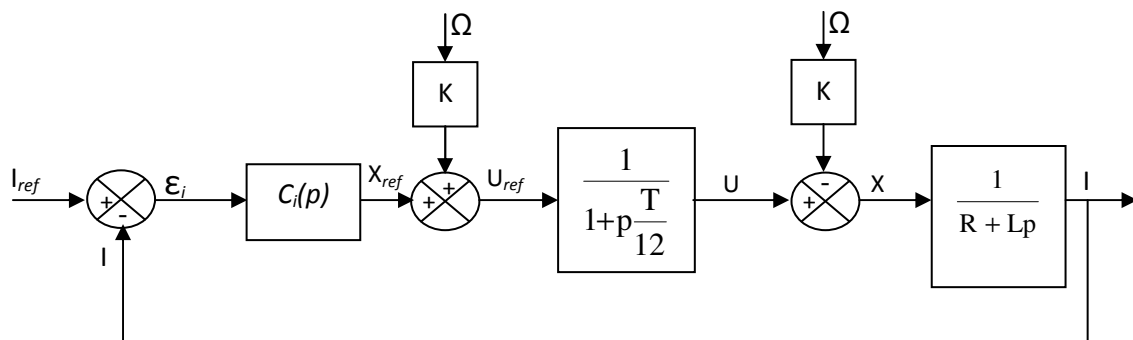


Fig IV.16 : Schéma fonctionnel de la boucle interne.

A partir du schéma fonctionnel de la boucle interne, on définit les équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_i = I_{ref} - I \\ X_{ref} = C_i(p) \cdot \mathcal{E}_i \\ U_{ref} = X_{ref} + K\Omega \\ U = N U_{ref} = \frac{1}{1 + p\tau} U_{ref} \\ X = U - K\Omega \\ I = \frac{X}{R + Lp} \end{array} \right. \quad (IV.9)$$

Calcul de la constante de temps électrique propre τ_e :

$$\tau_e = \frac{L}{R} = \frac{0.0073}{0.008} = 0.9125 \text{ s} = 912.5 \text{ ms}$$

On remarque que :

$$\tau = 1.38 \text{ ms} \lll \tau_e = 912.5 \text{ ms}$$

Donc, la fonction de transfert du redresseur triphasé parallèle double tout thyristors, est prise égale à 1.

De ce fait, le schéma fonctionnel de la boucle de courant devient:

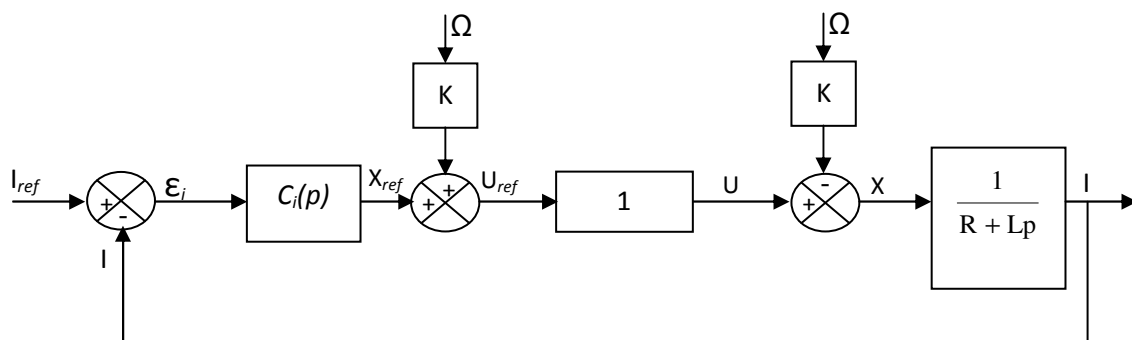


Fig IV.17 : Schéma fonctionnel de la boucle interne.

Le courant devient égale à :

$$I = \frac{X}{R + Lp} = \frac{U - K\Omega}{R + Lp}$$

Etant donné que la fonction du transfert du redresseur est égale 1 :

$U = N.U_{ref} = U_{ref}$, on aura :

$$I = \frac{U_{ref} - K\Omega}{R + Lp} = \frac{X_{ref} + K\Omega - K\Omega}{R(1 + \tau_e p)} = \frac{X_{ref}}{R(1 + \tau_e p)}$$

$$I = \frac{C_i(p)}{R(1 + \tau_e p)} \varepsilon_i \quad \text{(IV.10)}$$

Le régulateur qu'il faut utiliser est un régulateur de type PI tel que T_1 , T_2 sont les coefficients du régulateur.

$$C_i = \frac{1 + pT_1}{pT_2}$$

Le courant I sera :

$$I = \frac{1}{R(1 + \tau_e p)} \frac{1 + pT_1}{pT_2} \varepsilon_i \quad \text{(IV.11)}$$

Pour calculer ces coefficients, on utilise la méthode de l'optimum symétrique. Elle a l'avantage d'être simple, facile à mettre en œuvre et facile à implanter. Elle conduit à des systèmes très stables, peu sensibles aux variations des paramètres ; elle est donc bien adaptée à des systèmes où une partie de la modélisation est approximative. Enfin elle est parfaitement adaptée à des systèmes structurés en boucles internes que l'on veut calculer successivement, de façon découplée ([3], [4]).

Suite à cette méthode on pose :

On trouve : $T_1 = \tau_e$

$$I = \frac{1}{RpT_2} \varepsilon_i$$

$$I = \frac{1}{RpT_2} (I_{ref} - I)$$

$$I \left(1 + \frac{1}{RpT_2} \right) = \frac{1}{RpT_2} I_{ref}$$

$$I = \frac{\frac{1}{RpT_2}}{1 + \frac{1}{RpT_2}} I_{ref} = \frac{1}{1 + RpT_2} I_{ref}$$

$$\frac{I}{I_{ref}} = \frac{1}{1 + RpT_2} = \frac{1}{1 + \tau_{id}p} \tag{IV.12}$$

τ_{id} : constante du temps désirée du courant .

La dernière équation est la fonction de transfert de la boucle de courant tel que :

$$RT_2 = \tau_{id} \Rightarrow T_2 = \frac{\tau_{id}}{R} \tag{IV.13}$$

Alors le régulateur de courant est :

$$C_i(p) = \frac{1 + \tau_e p}{\frac{\tau_{id}}{R} p}$$

IV.2.4.2. Boucle externe (boucle de la vitesse):

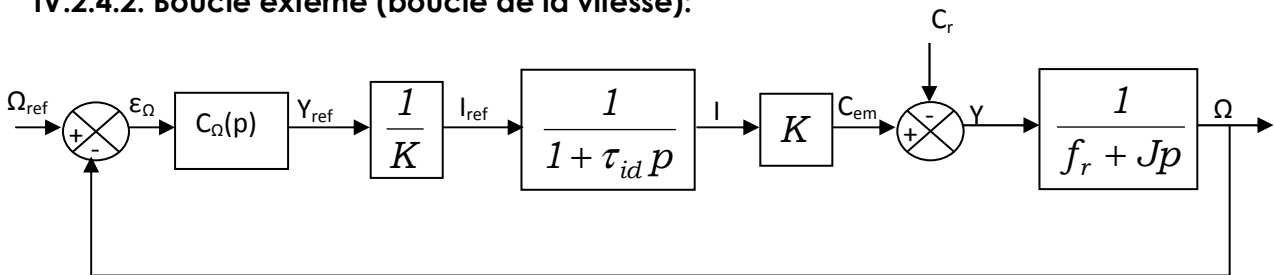


Fig IV.18 : Schéma fonctionnel de la boucle externe.

D'après le schéma fonctionnel, on a les équations suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{\Omega} = \Omega_{ref} - \Omega \\ Y_{ref} = \varepsilon_{\Omega} \cdot C_{\Omega} \\ I_{ref} = Y_{ref} \cdot \frac{1}{K} \end{array} \right. \quad (IV.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{1}{1 + \tau_{id} p} I_{ref} \\ C_{em} = KI \\ Y = C_{em} - C_r \\ \Omega = \frac{1}{f_r + Jp} Y \end{array} \right. \quad (IV.15)$$

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{1}{f_r + Jp} (KI - C_r) = \frac{1}{f_r + Jp} \left(K \frac{1}{1 + \tau_{id} p} I_{ref} - C_r \right) \\ \Omega &= \frac{K}{f_r + Jp} \left(\frac{1}{1 + \tau_{id} p} I_{ref} \right) - \frac{C_r}{f_r + Jp} \\ \Omega &= \frac{K}{f_r + Jp} \left(\frac{1}{1 + \tau_{id} p} \cdot \frac{1}{K} Y_{ref} \right) - \frac{C_r}{f_r + Jp} \\ \Omega &= \frac{K}{f_r + Jp} \left(\frac{1}{1 + \tau_{id} p} \cdot \frac{1}{K} \cdot \varepsilon_{\Omega} \cdot C_{\Omega} \right) - \frac{C_r}{f_r + Jp} \\ \Omega &= \frac{C_{\Omega}}{f_r + Jp} \frac{1}{1 + \tau_{id} p} \cdot \varepsilon_{\Omega} - \frac{C_r}{f_r + Jp} \end{aligned} \quad (IV.16)$$

Si on note par F_1 la fonction : $\frac{C_{\Omega}}{f_r + Jp} \frac{1}{1 + \tau_{id} p}$

Et par F_2 la fonction : $\frac{1}{f_r + Jp}$ on aura : $\Omega = F_1 \varepsilon_{\Omega} - F_2 C_r$ (IV.17)

$$\frac{\Omega}{\varepsilon_{\Omega}} = F_1 = \frac{1}{f_r (1 + \tau_m p)(1 + \tau_{id} p)} C_{\Omega}$$

F_1 est la fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle externe.

Où :

$$\tau_m = \frac{J}{f_r} : \text{Constante de temps mécanique propre au moteur.}$$

Le régulateur de vitesse appliqué est un régulateur PID de la forme :

$$C_\Omega = \frac{(1 + pT_3)(1 + pT_4)}{pT_5} \quad \text{Tel que } T_3, T_4, \text{ et } T_5 \text{ sont les coefficients du régulateur.}$$

$$F_1 \text{ Sera donc : } F_1 = \frac{\frac{1}{f_r} (1 + pT_3)(1 + pT_4)}{(1 + \tau_m p)(1 + \tau_{id} p) pT_5}$$

Pour calculer ces coefficients, on va utiliser la même méthode, (la méthode de l'optimum symétrique) ;

$$\text{On prend : } \begin{aligned} T_3 &= \tau_{id} \\ T_4 &= \tau_m \end{aligned}$$

On obtient le système d'équation :

$$\left\{ \begin{aligned} F_1 &= \frac{1}{f_r p T_5} \\ \Omega &= F_1 (\Omega_{ref} - \Omega) - \frac{C_r}{f_r (1 + \tau_m p)} \\ \Omega (1 + F_1) &= F_1 \Omega_{ref} - \frac{C_r}{f_r (1 + \tau_m p)} \\ \Omega &= \frac{F_1}{(1 + F_1)} \Omega_{ref} - \frac{F_2}{(1 + F_1)} C_r \quad \text{(IV.18)} \\ \Omega &= \frac{\frac{1}{f_r p T_5}}{\left(1 + \frac{1}{f_r p T_5}\right)} \Omega_{ref} - \frac{\frac{1}{f_r (1 + \tau_m p)}}{\left(1 + \frac{1}{f_r p T_5}\right)} C_r \\ \Omega &= \frac{1}{1 + f_r p T_5} \Omega_{ref} - \frac{f_r p T_5}{f_r (1 + f_r p T_5)(1 + \tau_m p)} C_r \end{aligned} \right.$$

On sait que : $\lim_{t \rightarrow \infty} \Omega(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p\Omega(p)$, et qu'en régime dynamique Ω_{ref} est

Constante, sa transformée de Laplace est de la forme : $\frac{C^{te}}{p}$. On aura par la suite :

$$\begin{aligned} & \lim_{p \rightarrow 0} p \left(\frac{1}{1 + f_r p T_5} \frac{C^{te}}{p} - \frac{f_r p T_5}{f_r (1 + f_r p T_5) (1 + \tau_m p)} C_r(p) \right) \\ &= \lim_{p \rightarrow 0} \left(\frac{1}{1 + f_r p T_5} C^{te} \right) - \lim_{p \rightarrow 0} \left(p \frac{f_r p T_5}{f_r (1 + f_r p T_5) (1 + \tau_m p)} C_r(p) \right) \\ &= C^{te} - 0 = C^{te} \end{aligned}$$

$$\lim_{p \rightarrow 0} p\Omega(p) = C^{te} \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} \Omega(t) = \Omega_{ref}$$

N.B : Même sans compensation de la perturbation, le système va atteindre son régime permanent et la fonction F_2 va influencer sur le régime transitoire.

Lorsque la perturbation n'est pas compensée, la vitesse Ω dépend de la vitesse de référence Ω_{ref} et de la perturbation C_r . La compensation des constantes de temps permet d'éliminer son effet uniquement par rapport à la vitesse de référence Ω_{ref} .

L'utilisation du régulateur PID permet de rejeter la perturbation en régime permanent, de ce fait, la vitesse en régime dynamique sera :

$$\begin{aligned} \Omega &= \frac{1}{f_r p T_5} \varepsilon_\Omega = \frac{1}{f_r p T_5} (\Omega_{ref} - \Omega) \\ \Omega \left(1 + \frac{1}{f_r p T_5} \right) &= \frac{1}{f_r p T_5} \Omega_{ref} \\ \Omega &= \frac{1}{1 + f_r p T_5} \Omega_{ref} \\ \frac{\Omega}{\Omega_{ref}} &= \frac{1}{1 + f_r p T_5} = \frac{1}{1 + p \tau_{\Omega d}} \end{aligned} \tag{IV.19}$$

$\tau_{\Omega d}$: constante de temps désirée de la boucle de vitesse.

$$T_5 f_r = \tau_{\Omega d} \implies T_5 = \frac{\tau_{\Omega d}}{f_r}$$

Le régulateur de vitesse est alors :

$$C_{\Omega}(p) = \frac{(1 + \tau_{id}p)(1 + \tau_m p)}{p \frac{\tau_{\Omega d}}{f_r}}$$

Application numérique :

A l'aide des caractéristiques du moteur on est arrivé à déterminer les constantes de temps T_1 , T_2 , T_3 , T_4 et T_5 des régulateurs (voir tableau ci-dessous) :

Régulateur de courant		Régulateur de vitesse		
T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.9125	11.40	0.09125	0.90	8.295

Tab IV.2 : Tableau des régulateurs.

IV.2.5. Simulation du moteur alimenté par un redresseur :

IV.2.5.1. Schéma bloc général du moteur en boucle fermée :

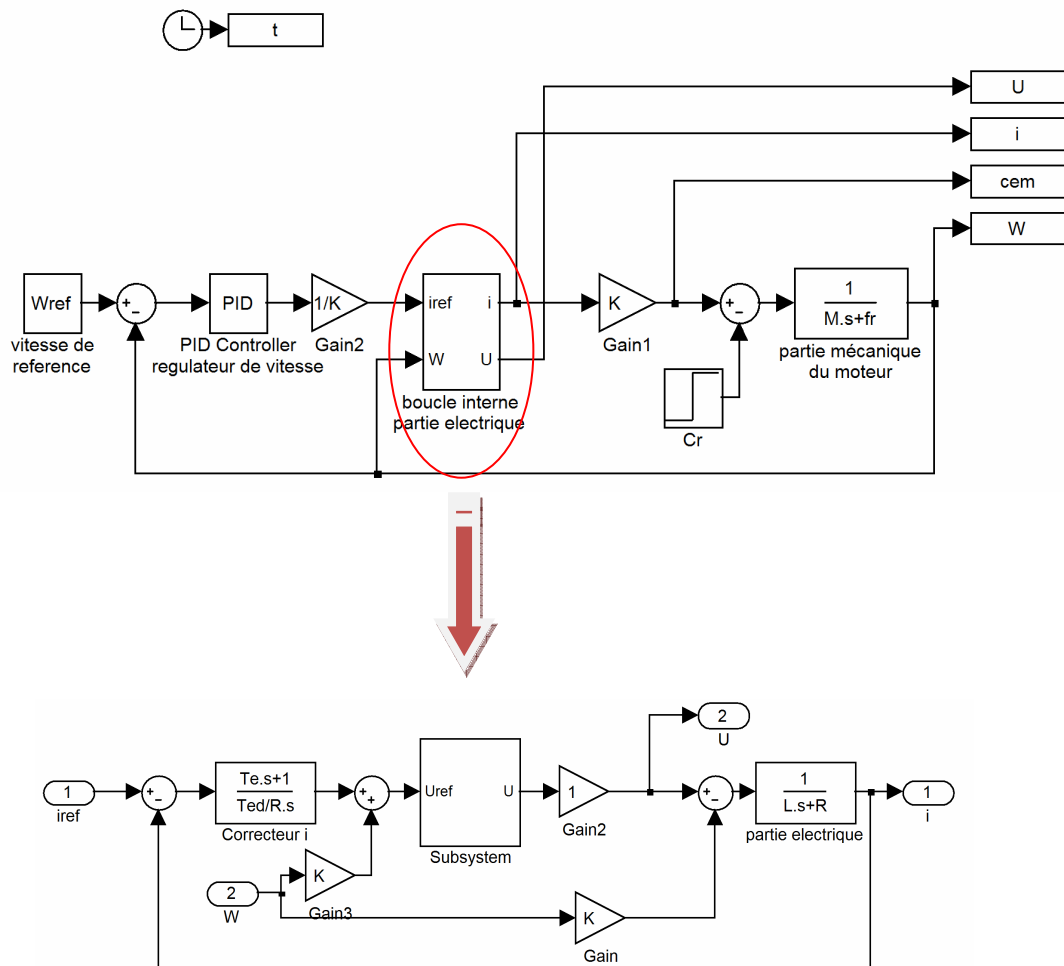


Fig.IV.19 : Schéma bloc général du moteur en boucle fermée.

Le sub-système U_{ref} , U est représenté sur la figure ci-dessous :

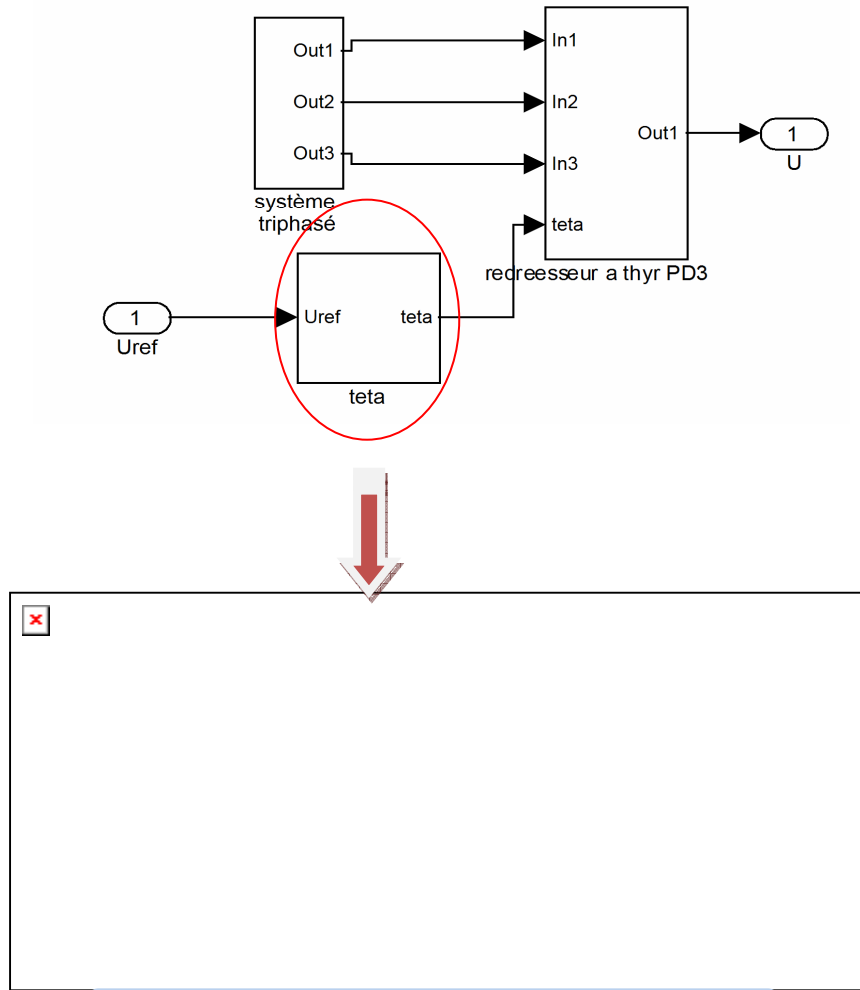


Fig.IV.20 : Schéma bloc général du

La simulation du redresseur commandé avec un retard à l'amorçage de 30° donne la figure suivante :

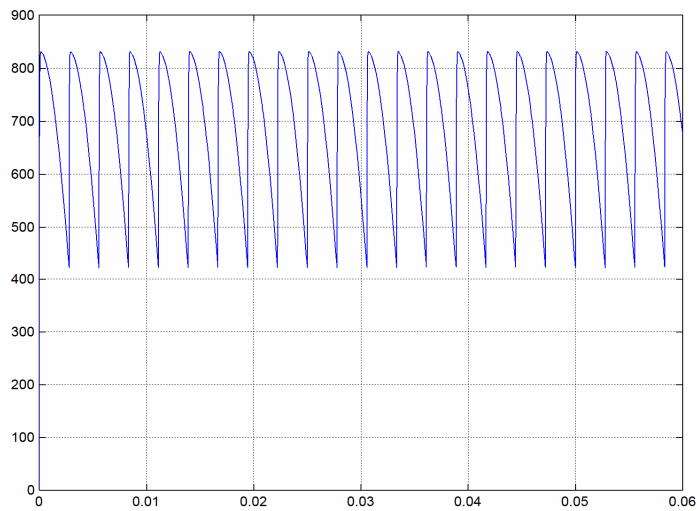


Fig IV.21 : Allure de la tension redressée.

IV.2.5.2. Résultats de la simulation en boucle fermée:

On démarre le moteur à vide sous une tension de 750V. A l'instant $t=1s$ on applique un couple résistant de 3390 N.m, et à l'instant $t=10s$ on applique une nouvelle référence de vitesse de valeur 10 rad/s.

❖ Evolution du courant d'induit :

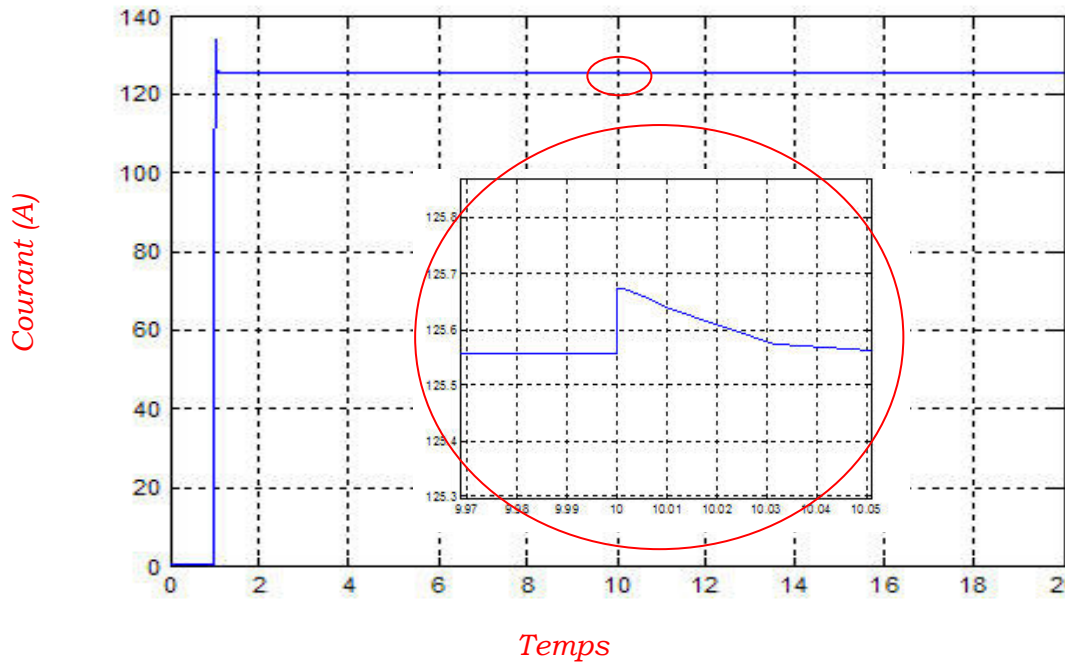


Fig. IV.22 : Evolution du courant induit.

Au démarrage à vide, le moteur ne demande pratiquement pas de courant. Le courant consommé est très faible.

L'apparition du couple résistant a provoqué l'augmentation instantanée du courant induit pour compenser la perturbation.

L'augmentation de la vitesse de référence à l'instant $t=10s$ se traduit par l'élévation du courant consommé, et l'augmentation de la vitesse du moteur se stabilise sur la valeur de la nouvelle référence (10rd/s).

❖ Evolution du couple moteur :

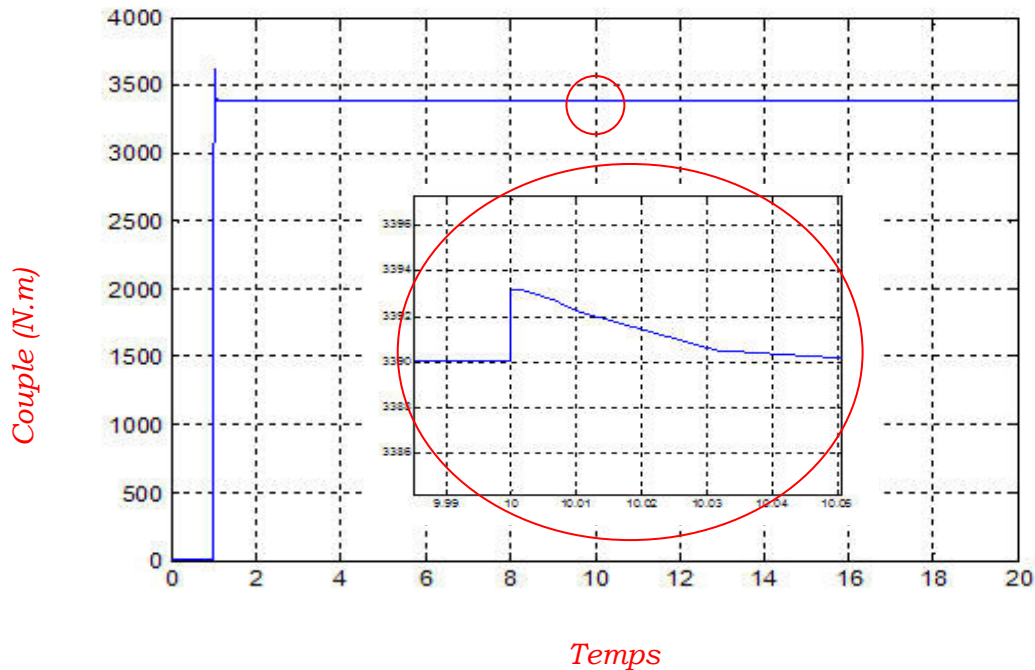


Fig. IV.23 : allure du couple moteur.

Au démarrage, le moteur développe un faible couple moteur pour qu'il puisse tourner. Après, et sans couple résistant, le couple diminue à zéro pour assurer l'équilibre.

Le couple résistant est compensé par une augmentation du couple moteur jusqu'à une valeur égale à 3390 Nm (égale à la valeur du couple résistant appliqué).

L'augmentation de la vitesse de référence provoque une augmentation du courant ce qui a introduit une légère augmentation du couple pour compenser les perturbations supplémentaires dues à l'inertie du système.

❖ Evolution de la vitesse :

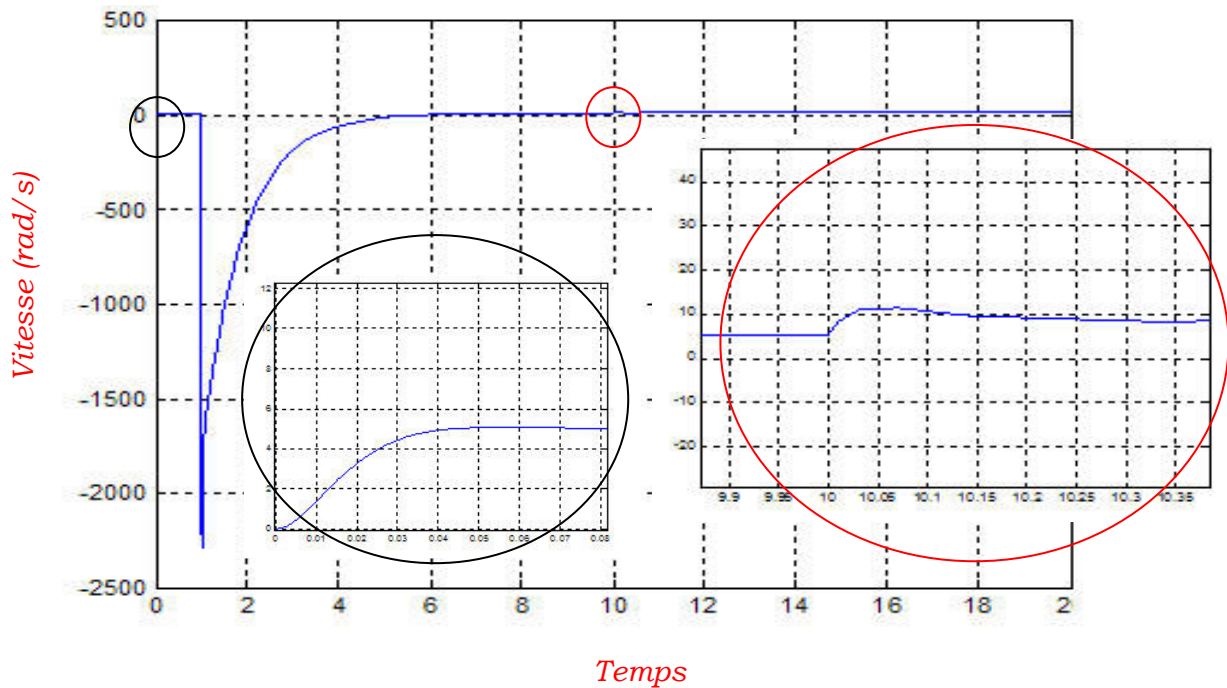


Fig IV.24 : évolution de la vitesse.

Au démarrage, la vitesse a tendance à augmenter pour atteindre la vitesse de référence et elle l'atteint après 0.5s.

La forte perturbation a provoqué une chute de vitesse (une forte décélération).

Grâce aux régulateurs implantés, le système a pu vaincre cette perturbation par l'augmentation du courant induit c'est-à-dire du couple moteur, et de ce fait la vitesse rattrape la référence (50tr/mn) de nouveau.

Suite à l'augmentation de la vitesse de référence, le système réagit par une augmentation de vitesse pareille sur l'arbre du moteur.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait l'étude de moteur à courant continu et son commande. Les hypothèses simplificatrices ont rendu le système linéaire, le calcul des régulateurs est devenu facile, et la commande est simplifiée.

Malgré tout ça ce moteur présente intrinsèquement une faiblesse liée à son collecteur mécanique. En effet, ce collecteur augmente l'encombrement de la machine, ainsi que son coût de fabrication et d'entretien. Il limite aussi sa vitesse de rotation, et pose des difficultés d'utilisation pour les très grandes puissances.

Ce système d'entraînement présente d'autres inconvénients de différentes origines parmi les quelles :

- ❖ Le problème de la poussière causé par le vieillissement des filtres d'air, ce qui diminue la fiabilité du système de refroidissement donc augmente les pannes.
- ❖ Le forte demande d'une vérification périodique des balais.
- ❖ Le Problème de commutation caractérisé par des étincelles au niveau du collecteur qui influent sur son état et qui présente un grand danger dans les chantiers de forage (l'atmosphère explosive au milieu des hydrocarbures).

Ces problèmes ont provoqué des arrêts fréquents du top drive, donc de l'opération de forage, ce qui amène à une mauvaise retombée économique pour l'entreprise.

Dans ce cadre en va proposer un autre système qui répond aux exigences des opérations de forage et éliminé les inconvénients des moteur a courant continue.

Ce système est moteur asynchrone alimenté par un convertisseur de fréquence.

I. Introduction :

Le moteur asynchrone est beaucoup plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de sa facilité de mise en œuvre, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité.

Les machines triphasées, alimentées directement sur le réseau, représentent la grande majorité des applications.

Dans ce chapitre en va étudier et déterminer les différentes caractéristiques de notre moteur (MAS) qui remplace l'ancien moteur (MCC).

II. Etude sur les moteurs asynchrones :[7]**II.1. Constitution des moteurs asynchrones :**

Ils sont constitués d'un stator et d'un rotor :

II.1.2. Le stator :

Contient un bobinage triphasé constitué par trois enroulements identiques correctement disposés le long d'un entrefer.

II.1.2. Le rotor :

Il existe deux types :

- ❖ rotor a cage : constitué par un emplie de tôles percées de trous dans les quelles on loge des barres conductrices, ces barres réunies à leur extrémités par des couronnes conductrices, ce qui constitue une véritable cage d'écureuil.
- ❖ rotor bobiné : au lieu de loger des barres dans le fer du rotor, on peut disposer des conducteurs dans les encoches et réaliser un bobinage polyphasé (généralement triphasé).

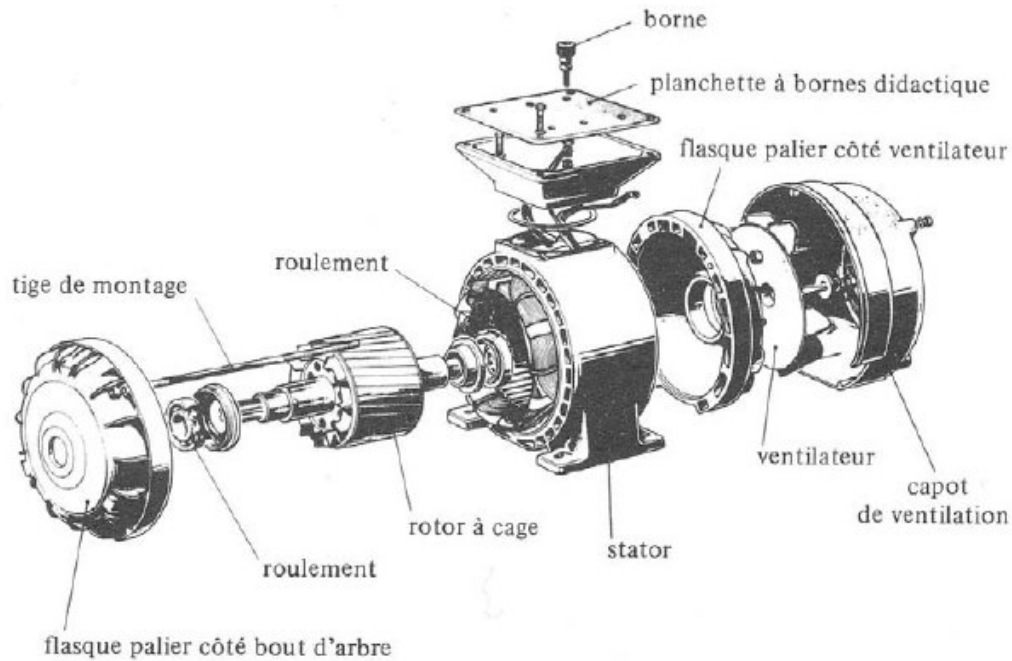


Fig V.1 : Moteur asynchrone à cage.

II.2. Principes de base :

Considérons le dispositif représenté par la figure (V.2): un aimant et un disque placés face à face fixés à deux arbres disposés dans le prolongement l'un de l'autre. Nous entraînons dans un certain sens l'arbre solidaire de l'aimant tandis que nous laissons l'autre libre de toute contrainte mécanique.

Désignons par M une petite zone de la plaque. Si l'aimant et la plaque tournent à deux vitesses différentes, M se trouvera d'abord en face d'un pôle puis en face de l'autre.

Les masses métalliques constituant cette petite zone seront donc alternativement traversées par des lignes de force, soumises à un flux variable dans le temps; elles seront le siège de courants de même nature que les courants de Foucault.

La loi de Laplace implique que des forces se développent; la loi de Lenz indique que leur résultante doit tendre à faire disparaître la cause qui leur a donné naissance. Or cette cause est l'existence des courants, eux-mêmes dûs à la différence de vitesse.

Les forces électromagnétiques vont tendre à entraîner le disque de telle sorte qu'il tourne à la même vitesse que l'aimant. Si l'aimant tourne le plus vite, le disque tendra à le rattraper, le soumettant ainsi à un couple de freinage. Si, au contraire, le disque va le plus vite, l'aimant sera alors soumis à un couple d'accélération.

Cette transmission, possible du fait de la différence de vitesse des deux éléments l'un par rapport à l'autre, est une « transmission asynchrone ».

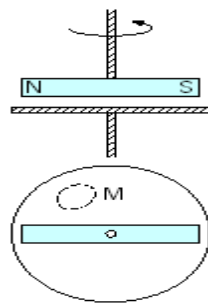


Fig V.2 : Principe de moteur asynchrone.

Sans la différence de vitesse, aucun courant induit ne naîtrait dans la plaque. Ce mode de transmission ne présente qu'un intérêt limité : on part, en effet, d'un effort mécanique sur l'aimant, à une certaine vitesse, pour obtenir, sur le disque, un effort mécanique à une vitesse inférieure.

III. Choix du moteur asynchrone triphasé :[8]

La diminution des pertes d'énergie dans les systèmes d'entraînement électrique peut être effectuée par l'amélioration de la qualité de fabrication des moteurs électriques, leur choix rationnel et leur exploitation optimale.

Le moteur électrique doit satisfaire complétement aux exigences du processus technologique et correspondre aux conditions de son environnement.

III.1. Critères de choix :

Il existe plusieurs critères de choix des moteurs électrique les principaux sont :

III.1.1 Critères électriques :

III.1.1.1. La nature du réseau :

- ❖ alternatif monophasé, triphasé avec ou sans neutre, multiphasé...
- ❖ Continu.

III.1.1.2. Les caractéristiques :

- ❖ Tension.
- ❖ Fréquence.
- ❖ Puissance ...etc.

III.1.2. Critères mécaniques :

Le choix d'un convertisseur électromécanique dépend essentiellement des caractéristiques de la charge : couple, vitesse, accélération et cycle de fonctionnement.

III.1.2.1. Chaîne de transmission :

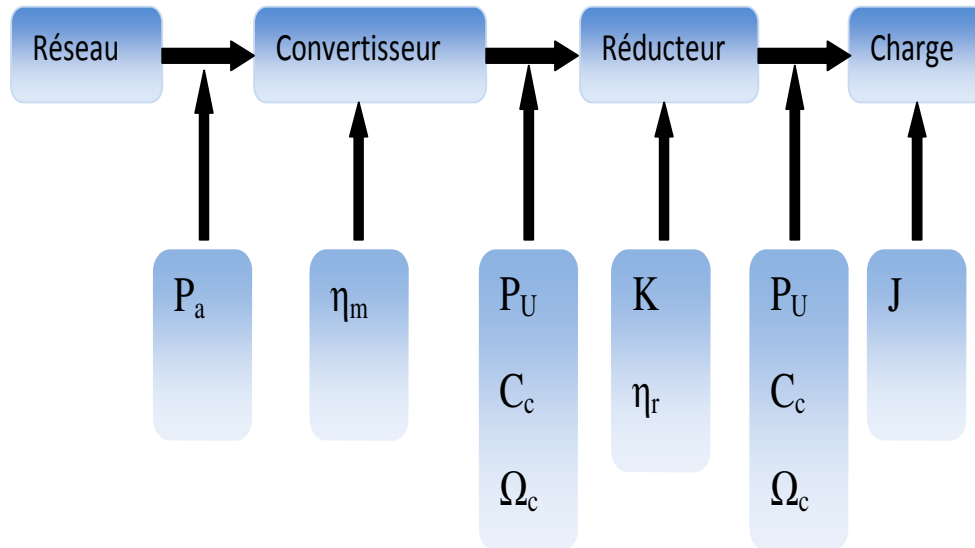


Fig V.3 : Schéma de chaîne de transmission.

p_a : La puissance absorbée par le moteur ;

η_m : Le rendement du moteur $\left(\eta_m = \frac{p_u}{p_a} \right)$.

p_u : La puissance utile fournie par le moteur sur l'arbre $(p_u = C_m \cdot \Omega_m)$.

C_m : Le couple utile sur l'arbre du moteur.

Ω_m : La vitesse de rotation de l'arbre du moteur.

K : Le rapport de réduction du réducteur $\left(K = \frac{\Omega_c}{\Omega_m} \right)$.

η_r : Le rendement du réducteur $\left(\eta_r = \frac{p_c}{p_u} \right)$.

p_c : La puissance demandée par la charge.

Ω_c : La vitesse de rotation de la charge.

C_c : Le couple résistant de la charge.

J : Le moment d'inertie.

Il faut déterminer tous les paramètres mécaniques P_u, C_m, Ω_m .

III.1.2.2. Types de couples résistants sur l'arbre du moteur :

- ❖ Couple constant tel que le couple des ponts roulants, grues.
- ❖ Couple linéaire tel que le couple d'une génératrice qui alimente une charge constante.
- ❖ Couple ventilateur tel que le couple des ventilateurs et des pompes centrifuges.
- ❖ Couple à caractéristique hyperbolique tel que le couple des machines outils.

III.1.2.3. Le moment d'inertie :

L'inertie caractérise les masses en mouvement (paramètre dynamique). C'est par son inertie qu'un système s'oppose aux changements de vitesse que l'on veut lui imposer. La grandeur physique associée à l'inertie est le moment d'inertie J en kg / m^2 .

III.1.3. Services de fonctionnement :

Le choix d'une machine est également conditionné par ses conditions de fonctionnement. Ainsi on définit 8 "services" en fonction des régimes de fonctionnement (Démarrage, Fonctionnement nominal, fonctionnement à vide, freinage, arrêt). Les trois services principaux sont : S1, S2, S3.

❖ Service continu S1 :

Le service continu est caractérisé par un temps de fonctionnement suffisant pour que la température du moteur augmente jusqu'à la température permanente.

❖ Service temporaire S2 :

Le service temporaire caractérisé par un temps de travail insuffisant pour que la température du moteur atteigne la température permanente et par un temps d'arrêt suffisant pour que la température du moteur diminue jusqu'à la température ambiante. Les temps de travail normalisés sont : 15, 30 ou 60 minutes.

❖ Service intermittent S3 :

C'est un service caractérisé par un temps de travail pour que la température n'atteigne pas la température permanente, et par un temps d'arrêt insuffisant pour que la température du moteur diminue jusqu'à la température ambiante.

Le service intermittent est caractérisé par un facteur de marche normalisé :

$$FM = \frac{t_{tr}}{t_i} \times 100 \quad (FM = 15, 30, 40 \text{ ou } 60\%)$$

III.1.4. Critères géométriques :

L'encombrement de la machine peut dans certains cas poser des problèmes. On doit donc vérifier la position (horizontale ou verticale) et les côtés de la machine.

III.1.5. Indice de protection IP :

Il faut s'assurer que la machine choisie sera protégée contre l'insertion de corps étrangers ainsi que contre les projections d'eau.

1 ^{er} chiffre	2 ^{ème} chiffre
0 Pas de protection	0 Pas de protection
1 Protéger contre les corps solides supérieurs à 50 mm	1 Protéger contre les chutes verticales de gouttes d'eau
2 Protéger contre les corps solides supérieurs à 12.5 mm.	2 Protéger contre les chutes de gouttes d'eau jusqu' à 15° de la verticale
3 Protéger contre les corps solides supérieurs à 2.5 mm.	3 Protéger contre l'eau de pluie jusqu' à 60° de la verticale.
4 Protéger contre les corps solides supérieurs à 1 mm.	4 Protéger contre les projections d'eau de toutes directions
5 Protéger contre les poussières (pas de dépôt nuisible)	5 Protéger contre les jets d'eau de toutes directions à la lance.
6 Totalement protégé contre les poussières.	6 Protection contre les projections d'eau admissibles aux paquets de mer.

Tab V.1 : Les chiffres d'indice de protection IP.

III.1.6. Protection contre les chocs mécaniques IK :

Comme pour l'IP, on doit s'assurer que la machine supporte les chocs éventuels qui pourraient survenir en fonctionnement normal. On introduit un coefficient contre les chocs mécaniques (IK).

Energie de choc (joules)	Code IK selon la norme NF EN 50 102
0.00	00
0.15	01
0.2	02
0.35	03
0.5	04
0.7	05
1	06
2	07
5	08
10	09
20	10

Tab V.2 : Les chiffres d'indice de protection IK.

III.2. Etapes à suivre pour le choix de la puissance des moteurs électriques :

III.2.1. Calcule de la puissance exigée (P_e) et le choix préliminaire du moteur :

Le moteur choisi du catalogue d'une façon approximative sur la base de la puissance moyenne avec une certaine réserve de l'ordre de 15 à 20%.

$$P_m \geq P_{\text{méc.}} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f$$

Avec :

P_m : La puissance du moteur.

$P_{\text{méc.}}$: La puissance du mécanisme.

K_t : Coefficient de correction tient compte de la température.

K_a : Coefficient de correction qui tient compte de l'altitude.

K_f : Coefficient de correction qui tient compte de la fréquence.

On peut déterminer les coefficients K_t , K_a d'après la courbe $p = f(\theta)$ [Voir annexe V].

III.2.2. Vérification du moteur choisi d'après l'échauffement :

Les bobinages d'une machine sont enduits d'un vernis qui s'altère avec des températures élevées. La norme a défini des classes d'isolation en température qui assurent un fonctionnement correct.

Dans le cas où la machine utilisée fonctionnerait avec une température supérieure à celle de sa classe, il convient de corriger la durée de vie de la machine à l'aide du tableau de vieillissement thermique des isolants :

Classes d'isolation	Echauffement Maxi Δt (si $t_i \leq 40$ °C)	Température Maxi $t_i + \Delta t$
A	60 °C	100 °C
E	75 °C	115 °C
B	80 °C	120 °C
F	100 °C	140 °C
H	125 °C	165 °C

Tab V .3 : Classe d'isolation, échauffement et température.

La courbe de vieillissement thermique donne la relation entre la durée de vie et la température maximale des isolants [Voir annexe V].

III.2.3. Vérification du moteur choisi d'après la capacité de surcharge :

On caractérise le risque qu'un moteur se trouve dans une telle situation en introduisant le coefficient de stabilité, qui est le rapport entre son couple maximale C_{MAX} et son couple nominale C_N . Plus ce rapport est grand plus le risque est faible, généralement : $\lambda = (1.8 - 2.5)$.

Si le moteur choisi satisfait les conditions de vérification, le choix du moteur d'après la puissance est terminé.

Dans le cas contraire, un autre moteur est choisi (avec une puissance plus grande) et la vérification est répétée.

IV. Choix du variateur de vitesse :[6][14]

Les technologies d'entraînements à vitesse variable pour moteurs asynchrones sont nombreuses et viennent compléter les technologies disponibles pour les moteurs à courant continu et les moteurs asynchrones.

Le choix de la technologie et de la structure du convertisseur dépend de nombreux facteurs liés à l'application visée.

IV.1.Facteurs de choix :

IV.1.1. Facteurs techniques :

Parmi les principaux facteurs techniques de choix figurent :

- ❖ La puissance et la vitesse nominales.
- ❖ Le régime d'utilisation (utilisation en régime permanent ou intermittent).
- ❖ La plage de variation de vitesse et le domaine de fonctionnement dans le plan puissance-vitesse (1 quadrant, 2 quadrants, 4quadrants).
- ❖ Le type de machine entraînée (inertie, caractéristique de couple résistant selon la vitesse).
- ❖ La précision de contrôle de couple et de vitesse.
- ❖ La tension du réseau d'alimentation.
- ❖ Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection, etc.).

IV.1.2. Facteur économique :

Enfin, un critère essentiel est bien sûr le coût total d'investissement de l'entraînement comprenant le coût du variateur, du moteur et de leur installation. Le coût d'exploitation de l'entraînement (maintenance, coût d'indisponibilité, pertes énergétiques) est un critère économique supplémentaire de choix.

IV.2. Les différents types de variateurs électroniques de vitesse pour moteur asynchrone:

Les principaux types de convertisseurs employés pour les moteurs asynchrones sont des convertisseurs indirects de fréquence, c'est-à-dire qui utilisent un étage intermédiaire à fréquence nulle (tension ou courant continu) par l'association d'un convertisseur alternatif continu (redresseur) et d'un convertisseur continu alternatif (onduleur).

Plusieurs technologies de convertisseurs reposent sur ce principe, selon que l'étage à fréquence nulle est constitué d'une source de tension ou d'une source de courant et selon les formes d'ondes produites par l'onduleur.

Des convertisseurs directs de fréquence, dénommés cycloconvertisseurs, qui réalisent la conversion de la fréquence sans recourir à un étage intermédiaire à fréquence nulle, sont aussi utilisés pour des cas particuliers d'entraînements par moteurs asynchrones de forte puissance (quelques mégawatts).

Les convertisseurs indirects de fréquence sont aujourd'hui les plus utilisés, avec essentiellement le convertisseur MLI.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des technologies d'entraînements à vitesse variable pour moteurs asynchrones.

Technologies d'entraînement	Convertisseur avec onduleur de tension à M.L.I	Convertisseur avec onduleur à pleine onde de tension	Convertisseur avec onduleur de tension M.L.I à 3 niveaux	Convertisseur avec Onduleur autonome de courant
Nature du moteur	Asynchrone à cage	Asynchrone à cage	Asynchrone à cage haute tension	Asynchrone à cage basse tension
Nature du convertisseur	Redresseur-onduleur de tension à commutation forcée et M.L.I	Redresseur-onduleur de tension à commutation forcée	Redresseur-onduleur de tension à 3 niveaux à commutation forcée et M.L.I	Redresseur-onduleur autonome de courant
Redresseur	Diodes	Thyristors	Diodes	Thyristors
Onduleur	G.T.O ou transistors et diodes	G.T.O	G.T.O et diodes	Thyristors et diodes
Gamme de puissance	De 1KW à 3MW	Jusqu'à 3MW	Jusqu'à 12 MW	0.1 à 3 MW
Gamme de tension du variateur et du moteur	380 à 660 V et jusqu'à 1500 V	380 à 660 V et jusqu'à 1500 V	3.3 à 6.6 KV	Inférieur à 1000 V
Gamme de vitesse nominale	Jusqu'à plusieurs milliers de tr/min (inf à 400 Hz)	Jusqu'à plusieurs milliers de tr/min (inf à 1000 Hz)	Jusqu'à 8000 tr/min (inf à 120 Hz)	inférieur à 6000 tr/min (inf à 100 Hz)

Plage de variation de vitesse	1 à 100 %	10 à 100 %	1 à 100 %	2 à 100 %
Domaine de fonctionnement	2 quadrants (4 quadrants en option)	2 quadrants 4 quadrants	2 quadrants (4 quadrants en option)	4 quadrants
Applications principales	Technologie de référence pour toutes applications industrielles de faible et moyenne puissance	Pompes, ventilateurs, compresseurs, extrudeuses, malaxeuses	Pompes, ventilateurs, compresseurs, extrudeuses, mlaxeuses, laminoirs	Applications spécifiques (levage, manutention)
Observations	Contrôle vectoriel disponible pour pilotage précis du couple	Adapté à l'entraînement direct de machines à grande vitesse	Pour machine de forte puissance	Technologie de moins en moins utilisée

Tab V.4 : Technologie d'entraînement.

Pour notre processus, nous avons les caractéristiques suivantes :

- ❖ Le besoin d'une bonne précision du couple (nécessité des opérations de forage)
- ❖ La puissance est de quelques centaines de KW (moyenne puissance)
- ❖ Deux quadrants de fonctionnement (I et III)
- ❖ Réseau de 600 V/60HZ
- ❖ Plage de variation de la vitesse de 1 à 100 %

Donc la meilleure solution est de choisir un variateur de vitesse de type convertisseur de fréquence avec onduleur de tension à M.L.I.

V. Calcul de paramètre du moteur :

V.1. Calcul de la puissance :

Le mécanisme entraîné est la garniture de forage, avec une puissance maximale :

$$p_{méc} = 670 \text{ KW.}$$

Donc la puissance du moteur :

$$p_m > p_{méc} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f$$

Avec :

- ❖ p_m : La puissance du moteur.
- ❖ $p_{méc}$: La puissance du mécanisme.
- ❖ K_t : Coefficient de correction tient compte de la température.
- ❖ K_a : Coefficient de correction tient compte de l'altitude.
- ❖ K_f : Coefficient de correction tient compte de la fréquence.

V.2. Correction suivant la température ambiante :

Pour une température ambiante supérieure à 40 °C, on fait des corrections suivant les coefficients indiqués au tableau ci-dessous :

Température ambiante t_a	Coefficient de correction K_t
45°C	100/95
50°C	100/90
55 °C	100/85

Tab V.5 : Correction suivant la temperature.

$$P_{\text{Choisis}} = K \cdot P_{\text{installée}}$$

Nous avons pris la température 55 °C, car cette dernière augmente remarquablement pendant l'été, donc le coefficient de correction qui correspond égal :

$$K_t = 100/85$$

V.3. Correction suivant la fréquence de :

Dans le cas des moteurs asynchrones alimentés par des convertisseurs de fréquence il faut faire des corrections de la puissance du moteur on prend un coefficient de correction correspondant à la fréquence:

$$F=60 \text{ Hz.}$$

Dans ce cas :

$$K_f = 1.07$$

V.4. Correction suivant l'altitude :

La formule générale du coefficient de correction suivant l'altitude :

$$K_a = \frac{10.000}{11.000 - a_t}$$

Mais dans notre cas, l'altitude est inférieure à 1000 m donc

On va prendre :

$$K_a = 1,00$$

Donc la puissance du moteur est

$$P_m \geq P_{\text{méc}} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f$$

$$P_m \geq 670 \cdot 100/85 \cdot 1,00 \cdot 1,07.$$

$$P_m \geq 843 \text{ Kw.}$$

$$P_m = 843 \text{ KW}$$

On trouve $P_m = 843$ KW. D'après le module de calcul :

La puissance normalisée est $P_{m \text{ normalisée}} = 860$ KW, et d'après le catalogue de Général Electric (G.E). Dans la série des moteurs asynchrones triphasés à cage :

P (Kw)	N_s tr/m in	N tr/m in	Série	I_N (A)	U (V)	C_N (N.m)	Cos φ	η%	Poids Net Kg	I_d/ I_n	C_d/ C_n
860	1800	1750	GEB20	850	600	4692	0.85	96	2721	8	1.8

Tab V.6. : Caractéristique de Moteur GEB20.

Les valeurs du facteur de puissance et du rendement sont en fonction de la charge du moteur, celles indiquées au tableau correspondent au fonctionnement à pleine charge.



Fig V.4 : Image réel de moteur GEB20.

V.5. Calcul du couple de démarrage :

D'après le tableau nous avons :

$$\frac{C_d}{C_n} = 1,8$$

Et on a d'autre part la valeur du couple nominal :

$$C_n = 4692 N.m$$

Donc on peut tirer la valeur du couple de démarrage :

$$C_d = 4692 \times 1,8 = 8445,6 N.m .$$

$C_d = 8445,6 \text{ N.m}$
--

V.6. Calcul de la capacité de surcharge :

La vérification d'après les conditions de surcharge consiste au calcul de la capacité de surcharge, qui est le rapport du couple maximale au couple nominale.

Ce rapport est appelé aussi coefficient de stabilité du moteur asynchrone.

$$\lambda = \frac{C_{MAX}}{C_n}$$

Nous avons d'autre part :

$$C_d = (0,8 \div 0,85) \cdot C_{MAX}$$

$$\Rightarrow C_{MAX} = \frac{C_d}{0,85} = \frac{8445,6}{0,85} = 10557 N.m$$

$$\text{D'où} \quad \lambda = \frac{10557}{4692} = 2,25$$

$\lambda = 2,25$

Donc ce résultat montre la stabilité de notre moteur.

V.7. Détermination du mode de fixation :

D'après la norme NFC 51.117 :

Le mode de fixation se fait suivant la position de l'axe de la charge entraînée et le plan de fixation du moteur.

Dans notre cas le mode de fixation est vertical.

V.8. Indice de protection :

D'après la norme NFC 20-010, l'indice de protection doit répondre aux exigences d'utilisation. **IPxx**

- ❖ Le premier chiffre indique la protection contre les corps solides (poussier).
- ❖ Le deuxième chiffre indique la protection contre les corps liquides (l'eau).

D'après le catalogue GE on trouve

IP 55

V.9. Protection contre les chocs mécaniques IK :

D'après la norme NF EN 50 102, et comme pour l'indice de protection, notre machine doit supporter les chocs mécaniques, donc on doit introduire un coefficient contre les chocs mécaniques :

D'après le catalogue GE on trouve

IK=08

Ce qui correspond à une énergie de choc égale à 5 joules.

V.10. Calcule du réducteur de vitesse :

L'ancien réducteur comporte 3 pignons :

- ❖ Pignon moteur.
- ❖ Pignon intermédiaire.
- ❖ Pignon de sortie (roue dentée).

Dans notre système on élimine le pignon intermédiaire, pour réduire les pertes mécaniques dues aux frottements.

Le coefficient de réduction K_r :

$$K_r = \frac{\text{La vitesse d'entrée}}{\text{La vitesse de sortie}} = \frac{\text{N}^{\text{br}} \text{ de dents de la roue dentée}}{\text{N}^{\text{br}} \text{ de dents du pignon moteur}}$$

$$K_r = \frac{1750}{265} = 6,6$$

Le nombre de dents de la roue dentée :

$$\text{ND}_R = 125$$

Le nombre de dents du pignon moteur :

$$\text{ND}_{PM} = \frac{\text{ND}_R}{K_r} = \frac{125}{6,6} = 18,9 \approx 19$$

$$\text{ND}_{RM} = 19$$

VI. Conclusion :

D'après l'étude que nous avons fait dans ce chapitre sur le moteur asynchrone, on a conclu que ce moteur présente plusieurs avantages par rapport au moteur à courant continu en matière de réduction du coût d'achat et d'exploitation, l'absence du collecteur et le fonctionnement à grande puissance, grande vitesse et ça large gamme de variation.

Conclusion générale

Le forage est une opération compliquée qui fait appel à deux mouvements : un mouvement de translation et un mouvement de rotation avec une large gamme de variation de vitesse.[17]

Pendant longtemps, les solutions mécaniques et hydrauliques étaient les seules à pouvoir effectuer l'opération de forage. Une opération qui nécessite une variation de la vitesse et un grand couple moteur pour pouvoir percer les roches de terre.[15]

Le développement de l'électronique de puissance, en plus des inconvénients de ses deux systèmes ont amené à l'introduction d'une nouvelle technique de forage, une technique basée sur la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique en faisant appel bien sûr aux moteurs électriques.[17]

Au début, ce sont les moteurs électriques à courant continu qui ont eu la faveur d'être utilisés (dans les tables de rotation, et plus tard dans l'organe de forage le plus sophistiqué (Top Drive)) suite à leur simplicité de commande, leur gamme de variation de vitesse, et leur grand couple moteur.[15]

Avec la maîtrise de l'électronique de puissance, les fabricants (pour diminuer les pertes de temps à cause des pannes et de la maintenance, qui diminuent de leur part l'indice économique de l'entreprise), ont implanté une nouvelle technique basée sur l'ensemble moteur asynchrone à cage – convertisseur de fréquence.

Dans notre travail, nous avons étudié la commande de systèmes d'entraînement de Top Drive équipé par un moteur à courant continu. Nous avons présenté les avantages et les inconvénients de système. Les résultats obtenus nous ont permis de montrer que le système fiable, le plus efficace et le plus rentable est celui des AC top drives.

A ce choix s'ajoute une nécessité de formation des opérateurs Top Drives. Une formation indispensable pour la maîtrise de la commande de ce type de machine (top drive équipée d'un moteur asynchrone).

Bibliographie

- [01] Canrig Drilling Technology (catalogue TOP DRIVE)
- [02] CD de forage (documentation), Schlumberger.
- [03] Cours Commande des machines à courant continu. **EMP** (Ecole Militaire Polytechnique).
- [04] Cours commande des machines électriques, **Pr E.M.BERKOUK** .
- [05] Cours d'électronique de puissance, **S.BARKATI**
- [06] Cours d'électronique industrielle, **Dr. B.NADJI**
- [07] Cours Machines Electriques 2, **K.SEBA**
- [08] Catalogue de choix des moteurs asynchrones. **GENERAL ELECTRIC**
- [09] Data book de l'électrotechnique.
- [10] **G** Grellet, G Clerc 'Actionneurs Electriques Principes Modèles Commande', Collection Electrotechnique. Edition Eyrolles, 1997.
- [11] **G** Guy, C Guy 'Actionneurs Electriques, Principes Modèles Commande', Edition Eyrolles, 2000.
- [12] Internet :
- Techniques de l'ingénieur.
 - IEEE electronics.
 - Schneider electric.
 - www.stielec.ac-aix-marseille.com
 - www.iai.heig-vd.ch (Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud.
 - www.canrig.com
 - www.univ-batna.dz
 - www.entp.dz
 - www.osha.gov
- [13] Jean Bonal, Gay Séguier, 'Entraînements électriques à vitesse variable' (vol.2), Editions Technique & Documentation 1998.
- [14] **GUY** Siguier 'Electronique de Puissance' (les fonctions de base et leur principales application), 7^{eme} Edition, DUNOD, Paris ,1999.
- [15] Jean Paul NGUYEN , 'techniques d'exploitation pétrolière' ,Edition TECHNIP, Paris ,1993.
- [16] La revue de l'ENTP №(71).
- [17] **Dr. Mellak Abderrahmane**, 'Forage Pétrolier' ,Université Boumerdes , Edition 2005/2006.
-