

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF DE M'SILA  
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE



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

**Thème**

---

Le choix rationnel des moteurs électriques d'entraînement des  
équipements du chantier de forage de l'E.NA.FOR  
à Hassi-Massaoud

---

**Proposé et dirigé par :**

-D<sup>r</sup>. KHODJA Djalal Eddine

**Présentées par :**

-AROUA Abdelouahab

-CHENNENE Abdelouahed

Année Universitaire: 2007/2008

# *Remerciement*

*D'abord nous remercions Dieu le grand miséricordieux de nous avoir donné le courage et la volonté nos études.*

*Nous remercions très chaleureusement mon encadreur :*

*Dr :Khodja Djalal eddine*

*Pour ses encouragements, ses conseils précieux et sa disponibilité.*

*Nous remercierons également tous nos enseignants de l'université de M'sila et ceus du centre de formation*

*E.NA.FOR de Hassi-messaoud.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Chennene & Aroua*

# DEDICACE

*Je dèdie modestes travail :*

*-A ma chère mère qui est ma richesse et que dieu ma la garde*

*-A mon cher père*

*-A tous mes frères : abdejabar, abdraouf, abdelazize et mes sœurs.*

*-A tous mes ancles, mes tantes et leurs fils*

*-A toute la famille AROUA*

*-A tout les amis : mohammed salah, fathi, hacen, faicel, lotfi*

*(Taimma) et amara. Mohamed taher. samir. zakaria*

*-Sans oublier : houmia khaled, ali maatougi, ghazal, hmidatou, lazher makki, Salim, abdellah, anouar et salim makhlouf,*

*-A tout mes collège de la promotion Eléctromécanique 2008*

*- Enfin aux habitants de la commune de Erabbahe.*



# DEDICACE



*Je dédie modestes travail*

*-a ma chère mère .*

*-a mon cher père .*

*-a tous frères :ameur ,abdelouaheb ,zoubir ,mohammed et selaimène .*

*Et mes sœurs .*

*-a mon ancle, mes cousines,mes ancles , mes tantes et leurs fils.*

*-a tout les etudiants de la branche (information et communication)*

*surtout :Kh.Aifaoui, A. faouzi*

*-a tout les amis : abdelmalek bouchellig ,karim ,salim,nabil ,hocine ,*

*-sans oublier : ali maatougi ,lazher makki ,abdellah ,salim ,ghazal ,*

*Hmidatou , saad,salim makhlouf et anouar.*

*-a toute la famille chennene .*

*-a tout mes collège de la promotion Electromécanique 2008.*

*-a tout les habitants de la commune MAGRA surtout mon village*

*LEKCHAICHE*



# Sommaire

Introduction générale .....	2
<b>Chapitre I : description de chantier de forage</b>	
I-1-Structure générale.....	3
I-2-Groupe électrogène .....	3
I-3- La salle SCR.....	3
I-4- Les moteurs électriques.....	4
I-4-1- Caractéristique mécanique absolument rigide .....	4
I-4-2 - Caractéristique mécanique rigide.....	5
I-4-3- Caractéristique mécanique douce .....	5
I-5- Les machines de production.....	6
I-5-1- Le treuil.....	6
I-5-1-1-Domaine de fonctionnement, caractéristique idéale.....	8
I-5-1-2- Caractéristiques réelles.....	9
I-5-1-3-Régime de travail .....	10
I-5-2-Table de rotation.....	11
I-5-3- Pompe à boue .....	12
Position du problème à résoudre.....	14
Conclusion.....	15
<b>Chapitre II : choix des moteurs électriques</b>	
II-1-Introduction.....	16
II-2- L'importance de choix .....	16
II-3-Le choix de la puissance .....	16
II-3-1-Etapes à suivre pour le choix de la puissance des moteurs électriques ....	17
II-3-2- Les méthodes de choix de la puissance des moteurs électriques .....	18
II-4- Méthode et guide de sélection d'une machine électrique.....	20
Conclusion.....	32
<b>Chapitre III : cas d'application pour le choix du moteur électrique</b>	
Introduction .....	33
III-1-choix de la puissance des moteurs électriques .....	33
III-1-1-calcul de la puissance .....	33
III-1-2-calcul du couple de démarrage.....	36
III-1-3-calcul de la capacité de surcharge.....	36
III-1-4-Détermination du mode de fixation.....	37
III-1.5- Indice de protection.....	37

III-1.6- Protection contre les chocs mécaniques IK .....	37
III-1.7- Calcule du réducteur de vitesse.....	37
III-2-vérification de la machines à courant continu d'entraînement du treuil(existante) .....	38
III-2-1- Dimensionnement de moteur.....	38
III-2-2- Analyse de caractéristique de la machine de production.....	38
III-2-3-Choix de moteur.....	39
Resultat de choix.....	40
III-3- La proposition de substitution des moteurs à courant continu par Des moteurs asynchrones.....	40
Conclusion.....	41

## **Chapitre IV : commande du moteur à courant continu**

Introduction .....	42
IV-1. Modélisation des moteurs DC à excitation série .....	42
IV-2. Commande des moteurs a courant continu à excitation série.....	44
IV-3. Dimensionnement des régulateurs de commande .....	46
IV-3.1. Boucle interne.....	46
IV-3.2. Boucle externe .....	48
IV-4. Application numérique .....	52
IV-5. Montage en pont à thyristor triphasé .....	53
IV-6. Redresseur triphasé à thyristor .....	56
IV-7. Simulation de moteur.....	58
IV-8.Simulation de l'ensemble redresseur à thyristor PD3 - moteur .....	60
IV-9.Réglage de vitesse de moteur .....	62
IV-10.Commande du moteur.....	64
Conclusion.....	67

<b>Conclusion générale</b> .....	<b>68</b>
----------------------------------	-----------

## **Annexes**

## **Bibliographie**

## INTRODUCTION GENERALE

L'industrialisation en Algérie , qui a débutée dans les années 1970 , à été caractérisée en général par un choix non rationnel des installations électriques (surdimensionnement, pertes d'exploitation supérieures aux normes internationales , etc.....) aujourd'hui les pertes du réseau algérien de transport d'électricité et les normes de consommation (KWh/unité de production ) sont supérieures aux normes en vigueur dans les pays industrialisés .

Pour résoudre ces problèmes, il est nécessaire d'optimiser le fonctionnement des installations existantes en faisant appel aux technologies modernes, telles que: l'intelligence artificielle et les moteurs électrique asynchrone à vitesse variable.

Ce travail présente un exemple d'application de ces techniques au niveau de l'entreprise nationale de forage (ENAFOR).

L'ENAFOR connaissant depuis quelque temps des problèmes des moteurs électriques à courant continu, notamment avec celui du refroidisseur (qui sont les plus importants dans la chaine production).

Ces problèmes ont plusieurs origines, parmi lesquelles:

- Le sable: vieillissement des filtres se traduit par un dégagement du sable;
- Le variateur de vitesse: de technologie ancienne, l'achat de pièce de rechange est très couteux ;
- Le système de refroidissement des moteurs: il suffit qu'une panne se produise dans le circuit de refroidissement pour provoquer l'arrêt de l'atelier;
- La commutation: elle se caractérise par des étincelles qui influent sur l'état du collecteur;
- Le prix très élevé des moteurs à courant continu;

L'ensemble de ces problèmes est à l'origine de nombreux arrêts qui se traduisent des pertes considérables pouvant être chiffrées à plusieurs millions de dinars algériens. C'est pourquoi l'Entreprise a décidé de procéder à un choix judicieux et optimal des entraînements à vitesse variable pour remplacer les technologies motrices utilisées, ainsi que l'analyse des défauts pour permettre une intervention rapide.

**Le présent mémoire s'articule autour de quatre chapitres , une introduction et une conclusion générale :**

- **Dans le chapitre 1, nous donnons une description générale sur le chantier.**
- **Le chapitre 2, concerne le choix des moteurs électriques entraînant les machines de production (treuil, pompe à boue, table de rotation).**
- **Dans le chapitre 3, est un cas d'application, d'une part, concernant le choix d'un moteur asynchrone pour remplacer le moteur à courant continu, et d'autre part, pour la vérification d'un moteur existant .**
- **Dans le chapitre 4, nous abordons l'étude de la commande des moteurs à courant continu à excitation en série afin de répondre aux exigences de la machine de production.**

## **Introduction :**

La diversité des machines de production industrielles nécessite un choix rationnel des moteurs électriques pour leur entraînement, pour répondre en conséquence, aux exigences de la production.

En effet, ce chapitre sera consacré aux descriptions des différentes charges existantes à l'entreprise E.NA.FOR (Entreprise national de forage). Pour qu'on puisse choisir par la suite le moteur électrique, ainsi que sa commande pour répondre aux exigences de la machine de production.

Par ailleurs, les machines de production les plus importantes dans l'entreprise sont : le treuil, la table de rotation et la pompe à boue.

### **I-1-Structure générale de l' E.NA.FOR :**

Dans le chantier de forage, le système de production d'énergie est constitué par cinq groupes électrogènes, quatre de ces derniers sont capables de fournir toute la puissance en courant alternatif nécessaire au réseau, le cinquième est en réserve.

La puissance délivrée par les groupes électrogènes est collectée sur le jeu de barre commun AC. La rectification de la tension AC en Tension continu variable s'effectue au niveau des ponts des SCR (Silicon Control Rectifier). La tension du pont est appliquée directement aux moteurs de traction via les contacteurs de puissance. Ces moteurs entraînent les différentes machines de forage qui sont :

- le treuil (mécanisme de levage).
- La table de rotation.
- Les 2 pompes à boues.

### **I-2- Groupe électrogène :**

Ce sont les dispositifs de production de l'énergie alternative, il englobe trois parties :

- partie mécanique : moteur diesel .
- Partie électrique : (l'alternateur) .
- Partie commande : (AC module) .

### **I-3-La salle SCR :**

Le système **SCR** permet d'obtenir une conversion de la tension alternative en une tension continue variable.

Ce système permet d'ajuster la puissance AC produite par les alternateurs et délivrer une puissance DC continue pour les moteurs de traction.

Le système est composé par les unités suivantes :

1. Compartiments d'unités d'alternateurs destinés pour le contrôle de ces derniers.
2. Compartiments d'unités SCR destinés pour redresser la tension AC en tension DC, besoins pour les moteurs de traction.
3. Compartiments d'unités de transformateurs « XFMR feeder » (si disponible).
4. Compartiments de l'unité « Field supply unit » destinée pour assurer l'excitation des moteurs électriques (si disponible).
5. Console de forage pour le contrôle de toutes les fonctions de forage à partir du plancher.
6. Console de pompe à boue destinée pour le contrôle et la commande locale des pompes, durant la période de maintenance.
7. Armoire M.C.C. (armoire de distribution AC) destinée pour la commande des moteurs auxiliaires AC.

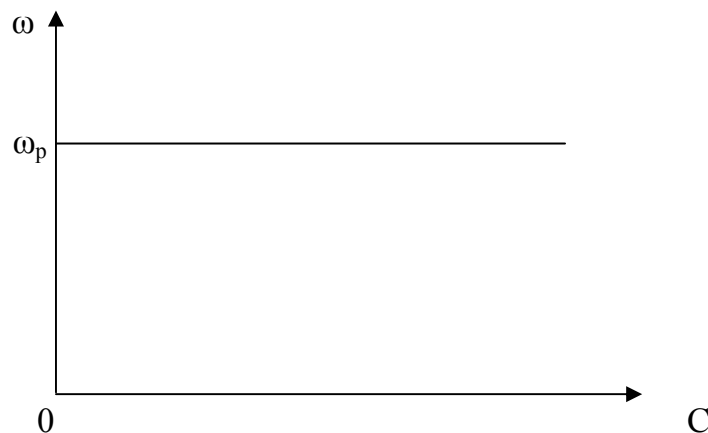
#### **I-4- Les moteurs électriques :**

Le moteur électrique est considéré comme l'élément principal dans les systèmes électromécaniques. Il accomplit la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique, et pour un large part, il détermine les indices techniques et économiques de l'entraînement électrique en général.

D'une manière générale, on peut distinguer trois types de caractéristiques mécaniques du moteur électrique :

##### **I-4-1- Caractéristique mécanique absolument rigide :**

C'est la caractéristique mécanique des moteurs synchrones, et dans ce cas la vitesse reste constante quelque soit la valeur de couple inférieure à celle de décrochage. Soit la figure(I.1) suivante :



**Fig I.1. Caractéristique mécanique absolument rigide**

### I-4-2- Caractéristique mécanique rigide :

Dans ce cas, la vitesse diminue un peu avec l'augmentation du couple. C'est la caractéristique mécanique des moteurs à courant continu à excitation séparée ou des moteurs asynchrone (dans les limites de la partie linéaire). Figure (I.2)

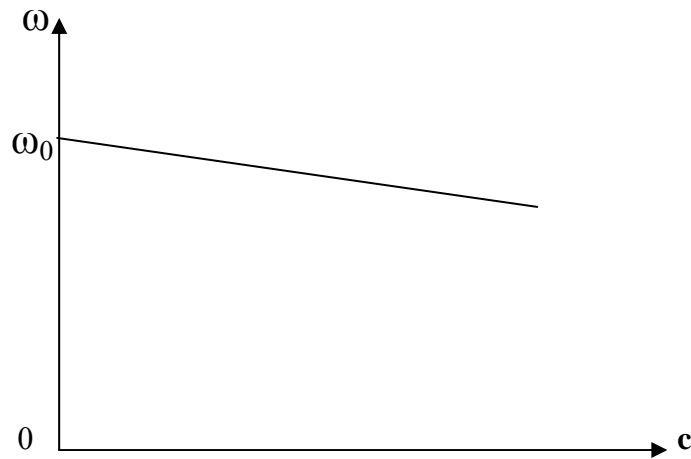


Fig I.2. Caractéristique mécanique rigide

### I-4-3- Caractéristique mécanique douce :

Dans ce cas, il y a une variation importante de la vitesse avec la variation de la valeur du couple, c'est le cas par exemple de la caractéristique mécanique des moteurs à courant continu à excitation série. figure (I.3)

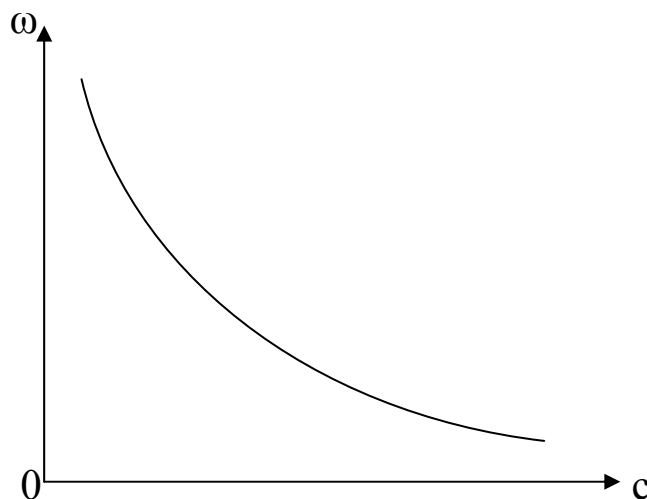


Fig I.3. Caractéristique mécanique douce :

## I-5- Les machines de production :

Dans l'entreprise E.NA.FOR , existe plusieurs machines de production à savoir :

Le treuil , la table de rotation , la pompe à boue .

### I-5-1- Le treuil :

Le treuil est l'élément essentiel de toute installation de forage. Sa capacité de levage et sa vitesse de manœuvre conditionnent pour une large part l'efficacité de la sonde. C'est un engin de levage relativement complexe

La boîte à vitesse est constituée par des pignons dentés A, B, C, D, E, F, G, H, liée par des chaînes. Les valeurs numériques des dents sont respectivement 25, 25,52, 83, 21, 26, 77, 38 dents, ce qui permet d'obtenir sur le tambour du treuil les 4 rapports :

$$\frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{tomboure}}} = \frac{D}{B} \times \frac{G}{E} = 12 . 13 \quad \text{1er(PV)}$$

$$\frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{tomboure}}} = \frac{C}{A} \times \frac{G}{E} = 7 . 63 \quad \text{2eme}$$

$$\frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{tomboure}}} = \frac{D}{B} \times \frac{H}{F} = 4 . 8 6 \quad \text{3eme}$$

$$\frac{\omega_{\text{moteur}}}{\omega_{\text{tomboure}}} = \frac{C}{A} \times \frac{H}{F} = 3 . 16 \quad \text{4eme (GV )}$$

On constate que les vitesses du tambour sont en progression géométrique de raison  $r=1.6$ .

La figure (I.4) représente la chaîne cinématique du treuil :

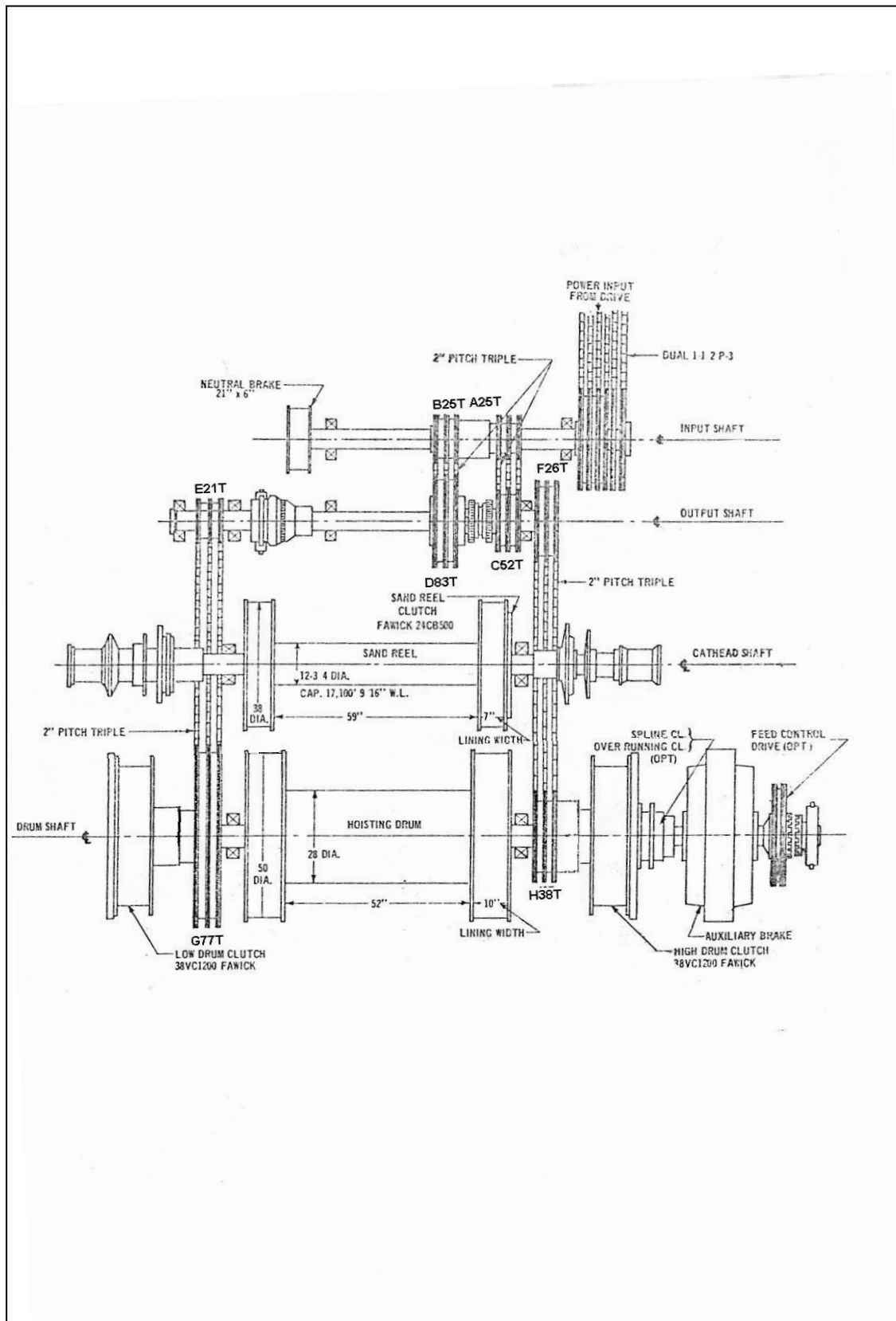


Fig I.4. chaîne cinématique du treuil

### I-5-1-1- Domaine de fonctionnement, caractéristique idéale :

La caractéristique idéale pour un treuil de grande puissance est celle de la figure(I.5) suivante :

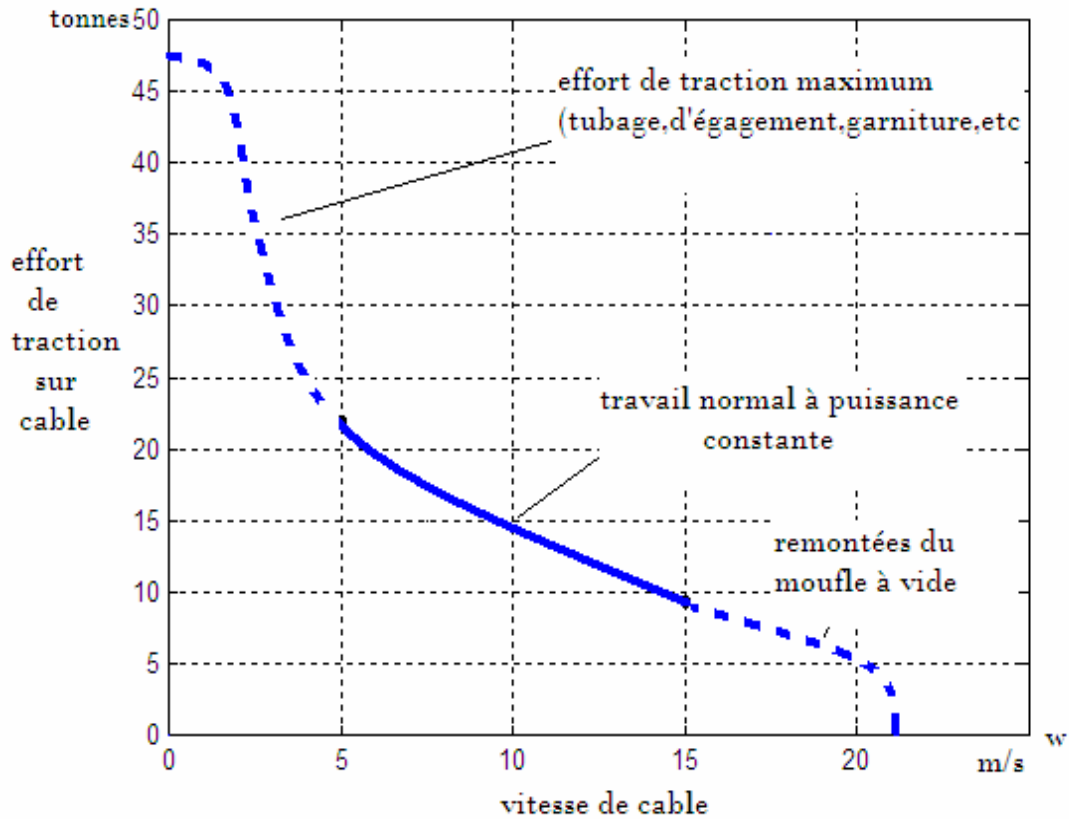


Fig 1.5. Caractéristique idéale d'un treuil

Cette caractéristique peut être divisée en trois régions :

- **Région du travail normal à puissance constante :**

Correspondant à la partie hyperbolique de la courbe. La puissance installée est définie par l'effort de traction maximale à exercer pour lever le poids d'un train de tiges  $P_t$  à une vitesse  $V$  aussi élevée que possible :

$$P = P_t \cdot V$$

Or  $P_t$  décroît avec la remontée du train de tiges. Ainsi on dispose d'une puissance installée  $P$ , et on désire manœuvrer à une vitesse maximale autorisée par cette puissance, on cherche donc à réaliser :

$$P = P_t \cdot V = \text{constante}$$

D'où :  $T$  : effort de traction sur câble

$T V = \text{constante}$   $V$  : vitesse linéaire du câble

### • Région correspondant à l'effort de traction maximal :

On est amené à travailler dans cette zone pour certains travaux particuliers tels que :

- mise en place d'un élément du tubage. Pour effectuer cette opération il faut lever l'ensemble du tubage .
- mise en tension du tubage .
- dégagement d'une garniture de forage coincée.

Toutes ces opérations sont réalisées à vitesse très faible. Les moteurs doivent fournir un couple voisin du couple de calage.

### • Région correspondant à la vitesse maximale :

Cette partie de la caractéristique est utilisée pour les remontées du moufle à vide qui doivent s'effectuer dans un minimum de temps. D'une façon générale, on doit pouvoir travailler en tout point à l'intérieur du domaine défini par la caractéristique effort de traction-vitesse du câble.

### I-5-1-2- Caractéristiques réelles :

La caractéristique obtenue du treuil est celle de la figure (I.6). On voit qu'elle n'est pas très éloignée de la caractéristique idéale.

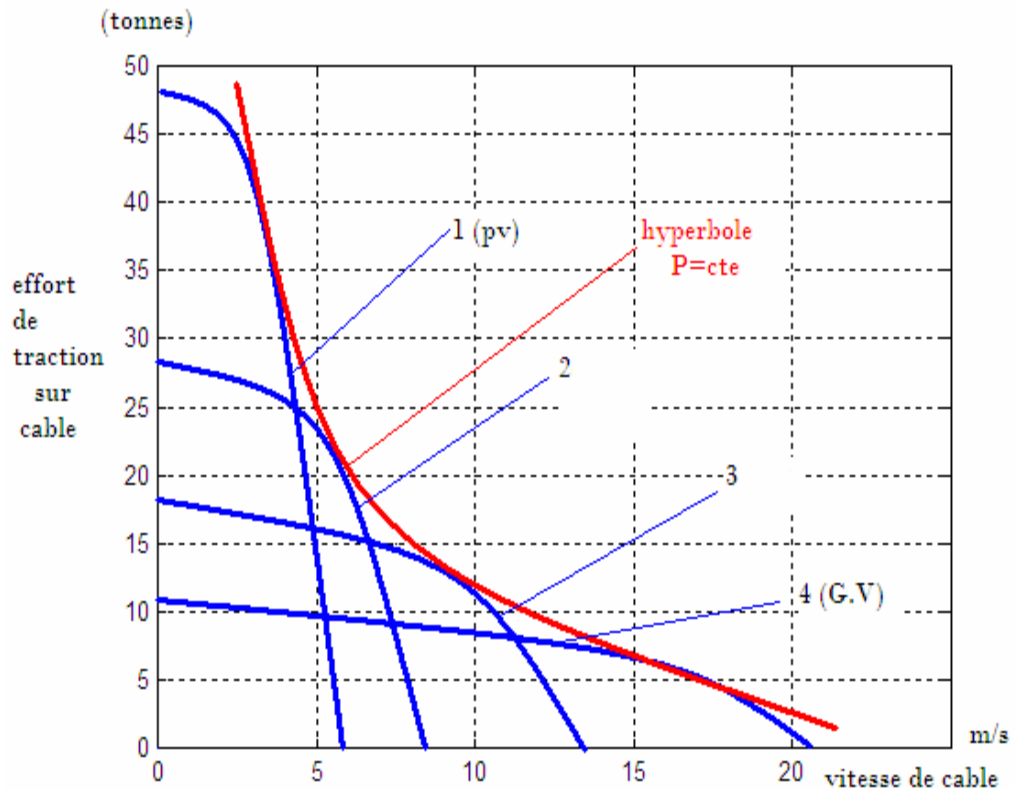


Fig I.6. Caractéristiques réelles d'un treuil de forage

### I-5-1-3- Régime de travail :

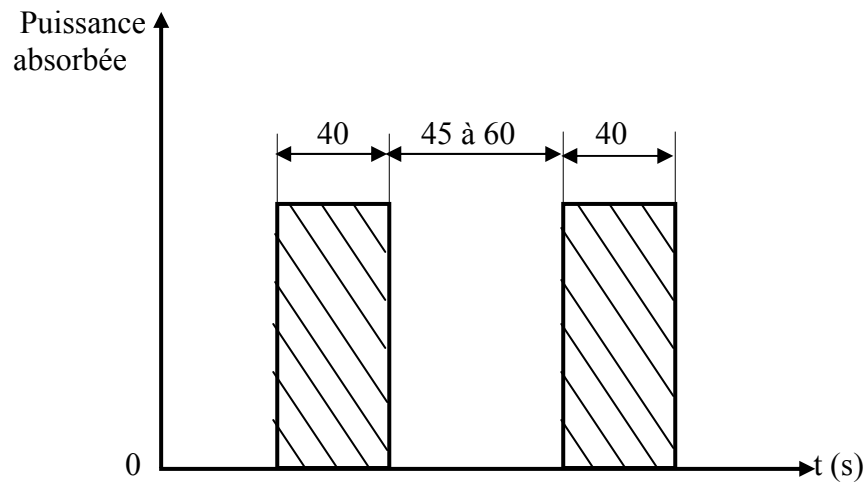
C'est un régime essentiellement intermittent. On peut distinguer plusieurs cas :

#### ▪ Ajout de tige :

Le treuil doit soulever le train de tige d'une hauteur correspondant à la longueur d'un élément. La durée de l'opération est inférieure à la minute. Elle est répétitive à des intervalles de temps variant entre quelques minutes et plusieurs heures en fonction de la nature du terrain et des paramètres de forage.

#### ▪ Remontée du train de tiges :

Opération relativement fréquente et de longue durée. La remontée s'effectue par longueurs de trois éléments. Le treuil est soumis à un régime périodique analogue est à noter que l'amplitude des efforts décroît avec la longueur du train de tige. Il en est de même du temps de relevage.



**Fig I.7. Diagramme simplifié de la puissance absorbée par les moteurs du treuil lors d'une remontée de la garniture de forage**

En outre, en un régime transitoire d'accélération, il apparaît un important appel de puissance de courte durée mais susceptible de perturber la vitesse des moteurs .

### **I-5-2- Table de rotation :**

La table de rotation ou « rotary table » est la pièce caractéristique qui donne à l'installation de forage « Rotary » son nom de « Rotary ».

La table de rotation est une machine extrêmement robuste et par le fait élémentaire ou primitive, qui s'est distinguée dès l'origine par sa robustesse et sa longévité. Opérant à l'aide des gaines d'entraînement elle entraîne la tige d'entraînement, et par suite la garniture et l'outil. Elle a également deux autres fonctions :

1. Elle sert comme table pour les cales de la descente et de la remontée des tiges.

En d'autres termes, la table de rotation soutient les cales qui supportent les tiges quand le crochet et les élévateurs sont dégagés.

2. la table de rotation sert également à dévisser les Tools joints quand les tiges sont remontées du trou.

#### **▪ Caractéristiques de fonctionnement :**

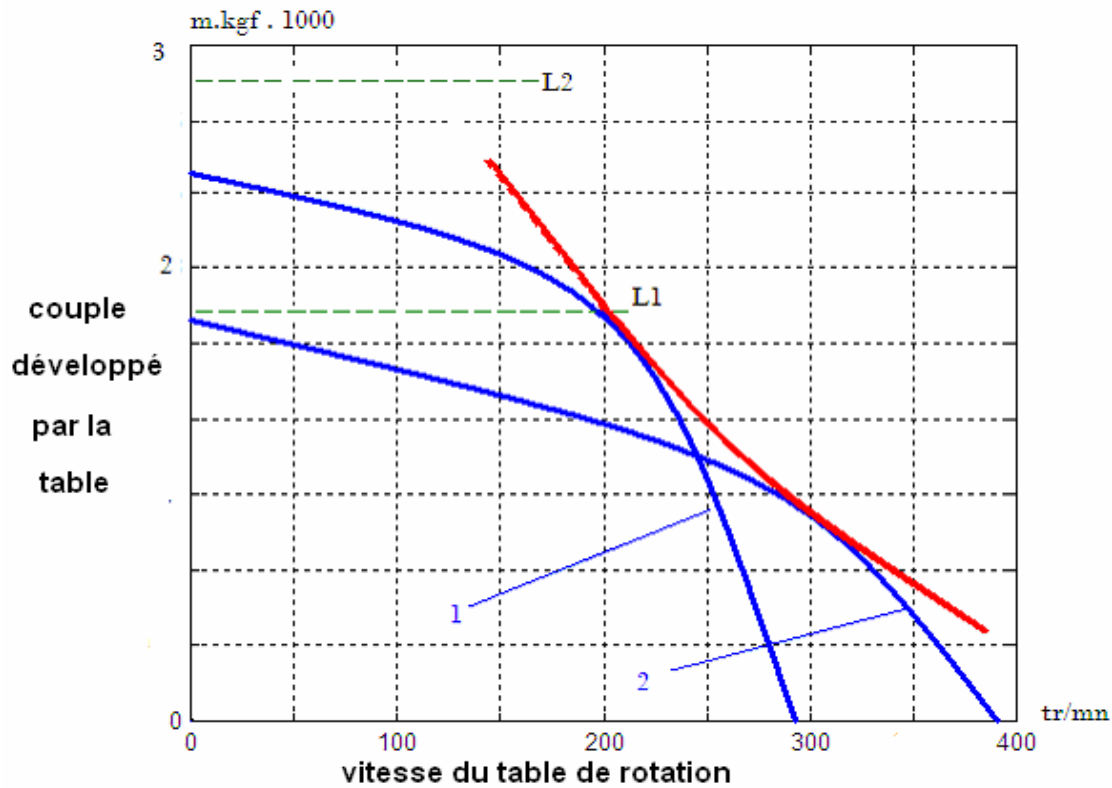
Il est indispensable d'avoir une bonne limitation du couple maximal pour éviter la rupture du train de tige en cas de coincement de l'outil. La figure (I.8) représente la caractéristique mécanique (couple -vitesse) d'une table de rotation tel que :

1. Les niveaux L1 et L2 représentent respectivement les couples correspondant à

80 % de la limite élastique des tiges de 3" ½ et 4" ½ .

2. La caractéristique (1) correspond à la pleine excitation du moteur tandis que (2) est obtenue par désexcitation partielle.

Pour le freinage du moteur, il est nécessaire de disposer d'un couple de freinage capable d'absorber l'énergie cinétique des pièces en rotation. Notons enfin que l'entraînement de la table de rotation doit s'effectuer dans les deux sens, la sélection se faisant au moyen d'un commutateur.



**Fig I.8. Caractéristique mécanique d'une table de rotation**

### I-5-3- Pompe à boue :

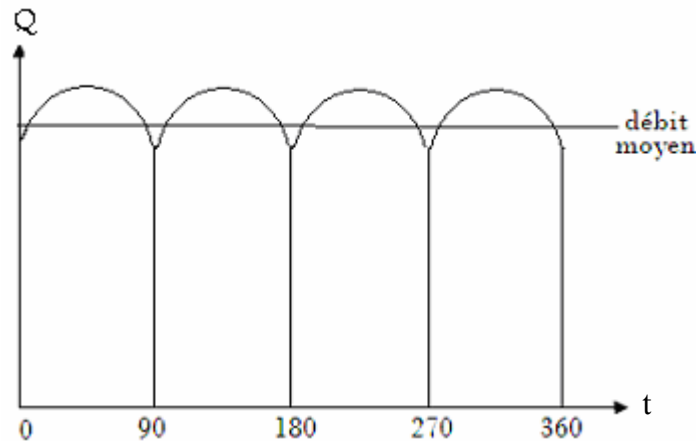
Leur fonction est d'assurer la circulation de la boue de forage dans le puits. Ce sont des pompes volumétriques. Leur fonction alternative, à double effet, à pistons horizontaux :

1. 2 pistons : pompe duplex .
2. 3 pistons : pompe triplex.

### ▪ Caractéristique de fonctionnement :

La variation du débit est obtenue par variation de la vitesse du moteur d'entraînement. Cette vitesse doit être limitée à une valeur telle que l'aspiration de la pompe ne soit perturbée. Notons au passage que la mesure du débit s'effectue par comptage du nombre de coups par minute de la pompe.

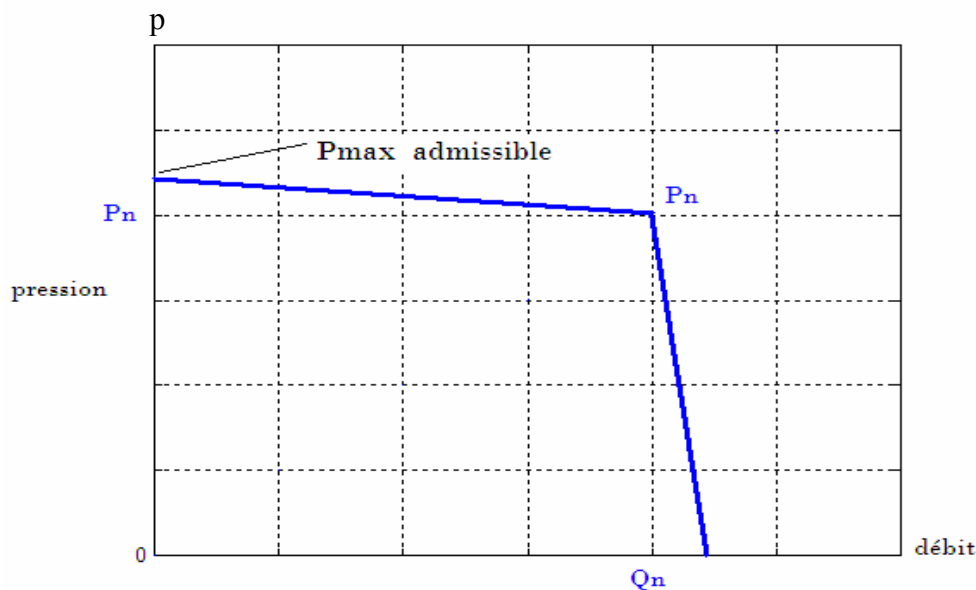
Le débit n'est pas continu, il comporte une composante sinusoïdale figure (I.9) liée au principe de la pompe alternative. Ce phénomène est atténué par un amortisseur de pulsation que l'on dispose sur la conduite de refoulement.



**Fig I.9. Débit d'une pompe duplex**

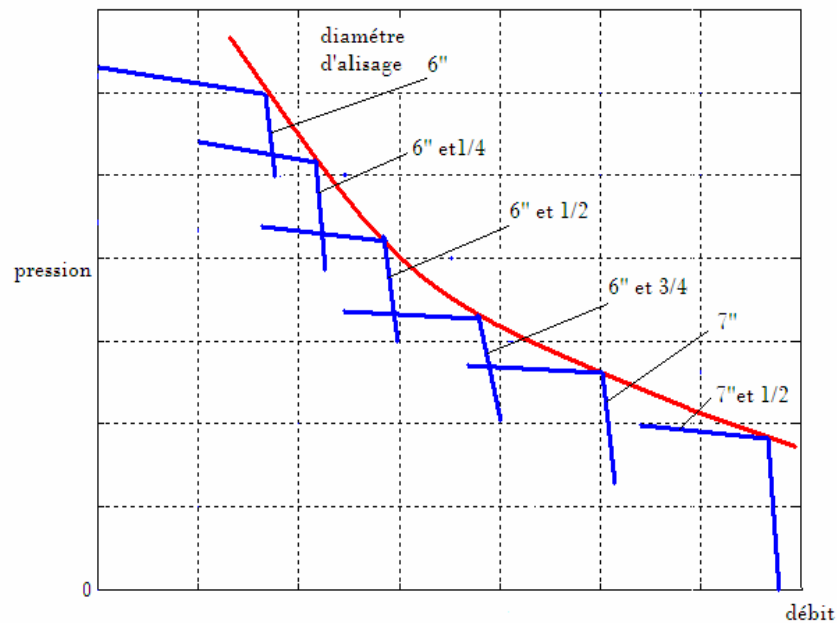
En ce qui concerne la pression, pour un alésage déterminé la pompe ne doit pas travailler au dessus d'une pression maximale correspondant à la limite de résistance de la tige de piston.

Compte tenu de ces exigences le diagramme  $p=f(Q)$  de la pompe est celui de la figure (I.10) suivant:



**Fig I.10. Caractéristique débit pression d'une pompe à boue.**

Sachant que le débit et la pression de la pompe sont respectivement, liés à la vitesse et au couple développé par le moteur d'entraînement il est clair que la caractéristique  $C = f(N)$  de ce dernier doit être analogue à  $p = f(Q)$ . Les caractéristiques d'entraînement étant inchangées, il est possible de faire varier les valeurs maximales du débit et de la pression en changeant les diamètres d'alésage des chemises figure (I.11). Lorsque la profondeur du forage croît, la pression de refoulement nécessaire pour assurer la circulation à débit constant, croît linéairement avec la profondeur. La machine travaille à débit constant, à pression et à puissance variables.



**Fig 1.11. Caractéristique pression-débit d'une pompe à boue pour différentes valeurs du diamètre d'alésage**

### **Position du problème à résoudre :**

D'après l'étude effectuée sur les différentes charges (machines de production) de l'entreprise E.NA.FOR à savoir : le treuil, la table de rotation et la pompe à Boue. Il a été constaté qu'il est nécessaire de connaître au préalable les caractéristiques mécaniques des machines électriques, notamment leurs commandes. Chose qui nous permet de bien choisir le moteur qui convient pour l'entraînement d'une telle ou telle machine de production. A cet effet, on doit passer par l'étude des différents critères afin de pouvoir choisir d'une façon rationnelle des moteurs électriques.

**Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a montré la structure générale d'un chantier de forage. Le but principal de ce chapitre est l'analyse des caractéristiques mécaniques des différentes machines de production (le treuil, pompe à boue et la table de rotation) nécessaire pour le choix rationnel des moteurs électriques, qui sera traité dans le chapitre suivant.

## **II-1-Introduction**

Jusqu'à ce jour, le choix des moteurs électriques est effectué soit par des experts possédant une grande compétence, soit de manière approximative et avec une grande marge d'erreur, au niveau des entreprises industrielles, surtout dans les pays en voie de développement où les spécialistes sont confrontés à des problèmes cruciaux de formation et de perfectionnement.

## **II-2-Les critères de choix des moteurs électriques**

Le moteur électrique doit satisfaire complètement aux exigences du processus technologique et correspondre aux conditions de son environnement. Il est nécessaire que le moteur soit fiable dans son travail avec le minimum d'investissement et le minimum de frais d'exploitation.

Cela se réalise seulement si le moteur choisi a une puissance optimale.

- Cependant, les paramètres qu'on doit tenir en compte pour le choix du moteur sont :

La puissance nominale, la vitesse de rotation, la tension nominale, le facteur de marche, le couple de démarrage, le couple maximal, les limites de réglage, la forme des caractéristiques mécaniques, la qualité des régimes transitoires et les particularités de construction, doivent correspondre aux caractéristiques et aux mécanismes du processus technologique, ainsi qu'aux paramètres du réseau électrique.

## **II-3- Le choix de la puissance**

L'utilisation des moteurs avec une puissance insuffisante a pour effet une perturbation du régime normal de travail du mécanisme, la diminution de la productivité des machines et la réduction de la durée de vie du moteur (la température de certaines de ses parties va dépasser celle admissible par les normes) ; des pannes peuvent être provoquées.

L'utilisation des moteurs avec une puissance plus grande nécessite l'augmentation injustifiée de l'investissement, la diminution des indices énergétiques de la commande électrique : l'augmentation des pertes d'énergie, la diminution du rendement et la détérioration du  $\cos \varphi$  des moteurs asynchrones, ce qui influe à son tour sur la charge non productive du convertisseur et du réseau distribution.

### II-3-1- Etapes à suivre pour le choix de la puissance des moteurs électriques

Le choix du moteur est effectué dans l'ordre suivant :

#### a) Calcul de la puissance exigée ( $P_e$ ) :

Le choix préliminaire du moteur. Etant donné que le moment d'inertie de la commande électrique dépend du moteur choisi, il est donc procédé au début au choix préliminaire de la puissance du moteur sans tenir compte du couple dynamique ; le moteur est 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%.

#### b) Vérification du moteur choisi d'après l'échauffement :

Après que le moteur ait été choisi du catalogue, le diagramme de charge de la commande électrique est construit  $P = f(t)$ ,  $C = f(t)$  et  $I = f(t)$ , en tenant compte du couple dynamique lors du déroulement des processus transitoires. D'après ce diagramme, la puissance du moteur choisi est vérifiée.

#### c) Vérification du moteur choisi d'après les conditions de démarrage et de surcharge :

Le moteur choisi doit développer un couple suffisant pour vaincre le couple maximale sur son arbre ( $C_{max} \leq \lambda C_n$  où  $\lambda$  – la capacité de surcharge admissible du moteur).

Si le moteur choisi satisfait les conditions de vérification des points (b) et (c), 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.

### II-3-2- Les méthodes de choix de la puissance des moteurs électriques

La méthode de choix de la puissance du moteur électrique dépend de la construction du moteur électrique, de son principe de fonctionnement, ainsi que des régimes auxquels

la machine est soumise, de leurs durées respectives et de leur ordre de succession dans le temps (**service de fonctionnement**).

Il est à signaler que dans tous les cas, le choix du moteur d'après l'échauffement consiste à comparer d'une manière bien déterminée les paramètres du régime nominal avec les paramètres du régime réel.

**La méthode des pertes moyennes** est basée sur la vérification de la condition suivante :

$$\Delta P_{\text{moy}} \leq \Delta P_{\text{nom}} \quad (1)$$

Où :

$\Delta P_{\text{moy}}$  : Pertes moyennes du moteur fonctionnant en régime réel .

$\Delta P_{\text{nom}}$  : Pertes nominales du moteur.

Cette méthode est précise et universelle. Néanmoins, son inconvénient réside dans la complexité de l'estimation de la valeur des pertes moyennes.

$\Delta P_{\text{moy}}$  est calculée pour le moteur choisi à partir de la puissance moyenne.

Le calcul de la puissance moyenne :

$$P_{\text{moy}} = \int P(t) dt \quad (2)$$

Est réalisé par approximation numérique de  $P = f(t)$  (méthode du trapèze).

$$P_{\text{moy}}(i) = P_{\text{moy}}(i-1) + \frac{T}{2} (P(i) + P(i-1)) \quad i=1, n \quad (3)$$

$T$  : L'intervalle d'échantillonnage, qui est déterminé par la formule :

$$T = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{P'(t)}}$$

Où :

$\varepsilon_0$  : L'erreur maximale admissible .

$P'(t)$  : La dérivée du premier ordre de la fonction  $P(t)$ .

**Les méthodes des valeurs équivalentes** sont des méthodes obtenues à partir de la méthode des pertes moyennes, pour faciliter le choix des moteurs électriques.

Ces méthodes sont réalisées en utilisant le courant, le couple et la puissance comme valeurs équivalentes.

**Les méthodes du courant équivalent** est utilisée lorsque la résistance du moteur est constante, la vérification est effectuée par :

$$I_{\text{éq}} \leq I_{\text{nom}}$$

Où :

$I_{\text{éq}}$  : le courant équivalent qui provoque la même quantité de pertes que les courants réels .

$I_{\text{nom}}$  : le courant nominal du moteur.

**La méthode du couple équivalent** est utilisée lorsque la résistance et le flux du moteur sont constants.

La vérification est effectuée lorsque :

$$C_{\text{éq}} \leq C_{\text{nom}} .$$

Où

$C_{\text{éq}}$  : Le couple équivalent qui remplace l'ensemble des couples réels .

$C_{\text{nom}}$  : Le couple nominale du moteur.

**La méthode de la puissance équivalente** est utilisée lorsque la résistance, le flux et la vitesse du moteur sont constants. La vérification d'après cette méthode consiste à assurer la condition suivant :

$$P_{\text{éq}} \leq P_{\text{nom}}$$

Ou :

$P_{\text{éq}}$  : la puissance équivalente qui remplace l'ensemble des puissances réelles .

$P_{\text{nom}}$  : la puissance nominale du moteur .

## II-4- Méthode et guide de sélection d'une machine électrique

Ce guide doit vous aider dans le choix d'une machine électrique .

Le moteur électrique est choisi doit permettre l'entraînement de la machine accouplée.

Avec les performances imposées par le cahier des charges à savoir :

- Le nombre de quadrants de fonctionnement.
- Le couple sur toute la plage e de vitesse : caractéristique  $C_r = f(\Omega)$ .
- La vitesse maximale.
- La vitesse minimale.
- L'accélération et la décélération maximale.
- La qualité, la précision et la dynamique du couple et de la vitesse

Et le respect des normes pour le réseau d'alimentation énergétique.

- La consommation d'énergie réactive.
- Le taux d'harmoniques imposé au réseau.
- La compatibilité électromagnétique.

1- Il faut donc déterminer la puissance nécessaire à notre application pour les phases à vitesse constante :

$$P_u = C_e * \Omega = C_r * \Omega$$

(La Caractéristique couple-vitesse de la machine entraînée doit être connue, tout comme les vitesses minimum et maximum).

2-II faut également déterminer la puissance nécessaire à notre application pour les Accélération et décélération :

$$C_e - C_r = J_T * \frac{d\Omega}{dt}$$

(Les accélération et décélération maximum doivent être connue. L'inertie de la machine entraînée doit être connue et celle du moteur doit être estimée).

3-II faut : ensuite définir le type de service pour le moteur :

- **Types des services :**

a) **Service continu - Service type S1 :**

Fonctionnement à charge constante nominale d'une durée suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint. Facteur de correction pour ce service S1 = 1

b) **Service temporaire - Service type S2 :**

Fonctionnement à charge constante nominale pendant un temps déterminé N, moindre que celui requis pour atteindre l'équilibre thermique, suivi d'un repos d'une durée suffisante pour rétablir à 2° C près l'égalité de température entre la machine et le fluide de refroidissement. Le facteur de correction pour ce service S2 est donné par le tableau suivant:

**Tableau N° 1**

	Temps de marche par période de 90 min			
	10 min	30 min	60 min	90 min
<b>Facteur de correction</b>	<b>1.6</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>	<b>1</b>

**c) Service Intermittent périodique – Service type S3 :**

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale  $M$  et une période de repos  $Re$ . Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative. Facteur de correction pour ce service S3 est défini comme suite:

**Tableau N°2**

	Facteur de marche $M/M+Re$			
	15%	25%	40%	60%
<b>facteur de correction</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>

**d) Service intermittent périodique à démarrage - Service type S4 :**

Suite de cycles de service identiques comprenant une période appréciable de démarrage  $D$ , une période de fonctionnement à charge constante nominale  $M$  et une période de repos  $Re$ .

**e) Service intermittent périodique à freinage électrique - Service type S5 :**

Suite de cycles de service périodiques comprenant chacun une période de démarrage  $D$ , une période de fonctionnement à charge constante nominale  $M$ , une période de freinage électrique rapide  $F$  et une période de repos  $Re$ .

**f) Service ininterrompu périodique à charge intermittente - Service type S6 :**

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale  $M$  et une période de fonctionnement à vide  $V$ . Il n'existe pas de période de repos. Facteur de correction pour ce service S6 est comme suite :

**Tableau.N°3**

	Facteur de marche M/M+V			
	15%	25%	40%	60%
<b>facteur de correction</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>

**g) Service ininterrompu périodique à freinage électrique-Service type S7 :**

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de démarrage D, une période de fonctionnement à charge constante L et une période de freinage électrique F. Il n'existe pas de période de repos.

**h) Service ininterrompu périodique à changements liés de charge et de vitesse –Service type S8 :**

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante L1 correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'une ou plusieurs périodes de fonctionnement à d'autres charges constantes L2, L3 correspondant à différentes vitesses de rotation. Il n'existe pas de période de repos.

**i) Service à variations non périodiques de charge et de vitesse – Service type S9 :**

Dans lequel la charge et la vitesse ont une variation non périodique dans la plage de fonctionnement admissible. Ce service inclut fréquemment des surcharges appliquées qui peuvent être largement supérieures à la pleine charge. Pour ce service type, des valeurs appropriées à pleine charge devront être considérées comme bases du concept de surcharge.

**j) Service à régimes constants distincts - Service type S10 :**

Service comprenant au plus quatre valeurs distinctes de charges (ou charges équivalentes), chaque valeur étant appliquée pendant une durée suffisante pour machine atteigne l'équilibre thermique. La charge minimale pendant un cycle de charge peut avoir la valeur zéro (fonctionnement à vide ou temps de repos).

- Pour les services S4, S5, S7, S8, S9 et S10 il est nécessaire de déterminer le couple moteur moyen équivalent. Il est donné par la relation :

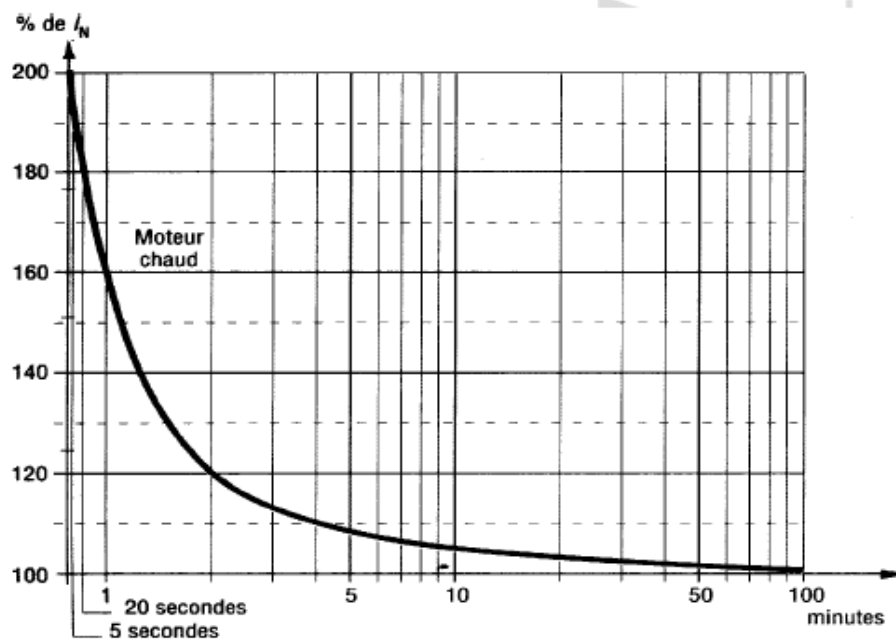
$$C_m = \sqrt{\frac{C_{m1}^2 * t_1 + C_{m2}^2 * t_2 + \dots + C_{mn}^2 * t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}}$$

Dans laquelle :

- les Cm inférieures à  $\frac{C_{nom\_moteur}}{2}$  ( couple nominal moteur ) seront remplacées par :

$$\frac{C_{nom\_moteur}}{2}$$

- Aucun des Cmi ne dépassera  $2 \times C_{nom\_moteur}$ .
- Aucune des surcharges ne dépassera la limite autorisée pour le moteur (voir ci-dessous) :



**FigII.1. Graphe qui indique les limites des surcharges autorisée pour le moteur**

**4-II faut** enfin déterminer **la tension maximale d'induit** disponible :

Les tensions maximales d'induit en fonction du secteur, pour un redresseur commandé, sont les Suivantes :

**Tableau.N°4**

<b>Tension triphasée pour 60Hz</b>	<b>Tension d'induit</b>
<b>220 v</b>	<b>250 v</b>
<b>240v</b>	<b>270 v</b>
<b>380v</b>	<b>440 v</b>
<b>415v</b>	<b>470v</b>
<b>440v</b>	<b>500v</b>
<b>660v</b>	<b>750v</b>

**5-II** est possible de présélectionner un moteur en fonction de la puissance et de la vitesse désirée

- Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales suivantes la

(Norme CEI 34-1)

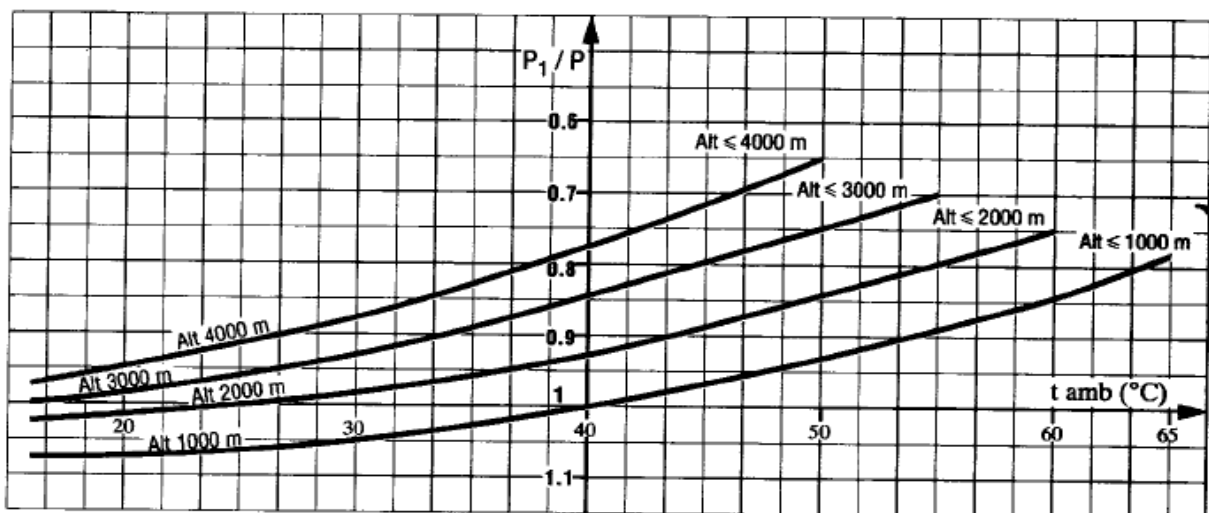
- Température ambiante comprise entre + 5 et + 40 °C,
- Altitude inférieure à 1000 m,
- Pression atmosphérique : 1050 m bar,
- Mode de refroidissement IC 06 (ventilation forcée),
- Excitation nominale,

- Classe d'isolation H,
- Facteur de forme du courant  $< 1,04$ ,
- Degrés de protection IP 23,

Zone de fonctionnement 2 (humidité absolue comprise entre 5 et 23 g/m<sup>3</sup>),

6-Pour des conditions d'emploi différentes, on appliquera le (les) coefficient(s) de correction de la puissance avant de prédéterminer le moteur :

a) Prise en compte d'une température ou/et d'une altitude différente.



**Fig.II.2. Coefficient de correction en fonction de l'altitude et de la température ambiante**

b) prise en compte d'un mode de refroidissement différent :

on a recours à deux codes de symbolisation, l'un simplifié, pour les types des machines les plus courantes refroidies à l'air, l'autre complet, pour des types de machines présentant des systèmes plus complexes de refroidissement. Le mode de refroidissement est symbolisé par les lettres IC (International Cooling) suivies, dans le cas du code simplifié, d'un groupe de deux ou trois chiffres ou, dans le cas d'un système complet, d'un groupe d'une lettre et de deux lettres et chiffres significatifs pour chaque circuit de refroidissement.

code simplifié IC 411 ou système complet IC 4 A 1 A 1

c) prise en compte d'une classe d'isolation différent.

La qualité de l'isolant utilisé pour la fabrication des enroulements détermine la tenue en température du moteur. En cas de dépassement des valeurs ci-dessous, il y a une dégradation prématurée des isolants pouvant conduire à un court circuit des enroulements.

**Tableau N°5**

	Elévation de température maximum	Température maximum	Facteur de correction
Classe B	80 ° C	130 ° C	0.8
Classe F	105° C	155 ° C	0.9
Classe H	125° C	180 ° C	1.0

L'utilisation d'un moteur en classe B alors qu'il est fabriqué pour la classe H permet de quadrupler sa durée de vie.

L'humidité tient un rôle important dans le fonctionnement du moteur par la contribution à la formation de la patine du collecteur. Il y a lieu de tenir compte du taux d'humidité contenu dans l'air ambiant pour assurer un fonctionnement optimal. C'est ce taux qui va définir la zone de fonctionnement de la machine. Les balais sont étudiés pour répondre à des plages d'humidité assez larges. C'est donc une valeur moyenne qui sera prise en compte pour leur choix.

**d) Choisir la protection du moteur en fonction des conditions d'environnement.**

Les constructeurs proposent en réalisation standard deux niveaux de protection. Leroy Sommer propose ses machines avec des protections de type **IP 23X** pour les moteurs standard et **IP55X** pour les moteurs fermés.

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

**Tableau N°6**

<b>1er chiffre</b>	<b>2ème chiffre</b>
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 150 de la verticale .
3 protéger contre les corps solides supérieurs à 2.5 mm	3 protéger contre l'eau de pluie jusqu'à 600 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 Totalemment protéger contre les poussières .	6 protection contre les projections d'eau admissibles aux paquets de mer .

- **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**) .

**Tableau N°7**

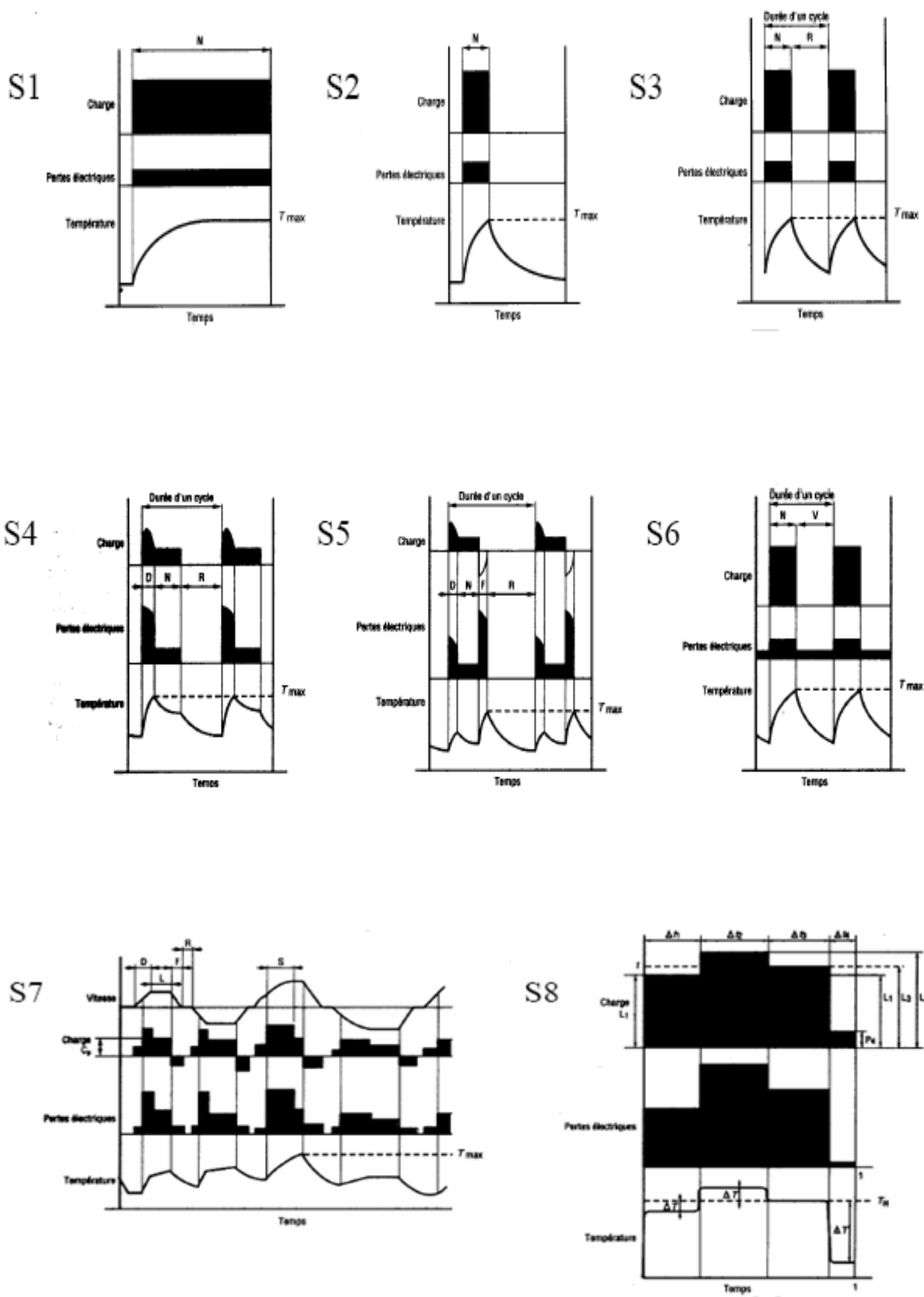
<b>Energie de choc (joules )</b>	<b>Code IK selon la norme NF EN 50 102</b>
0.00	00
0.15	01
0.2	02
0.35	03
0.5	04
0.7	05
1	06
2	07
5	08
10	09
20	10

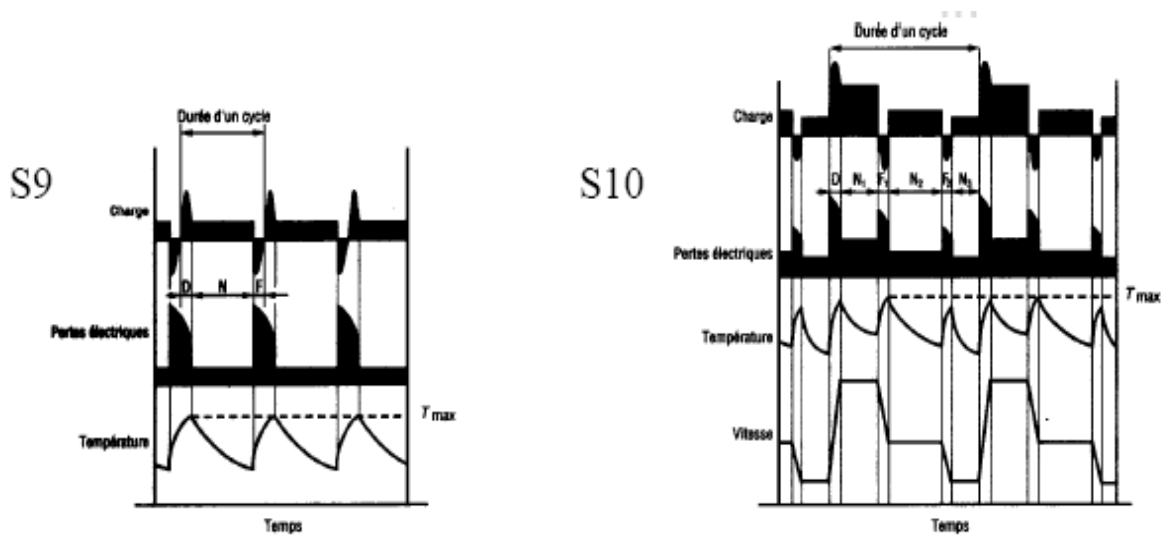
e) Mode de fixation, position de fonctionnement et accouplement mécanique.

Le moteur doit pouvoir être fixé et accouplé à la machine à entraîner. Il sera donc nécessaire de préciser le mode de fixation (pattes, bride ou pattes et bride), la position de fonctionnement, l'emplacement de la ventilation, l'emplacement de la boîte à bornes et le type d'accouplement avec la charge (afin de connaître les efforts sur les roulements et les choisir en conséquence).

Des options sont disponibles : filtre de ventilation, dynamo tachymétrique, frein mécanique ...

- Les 10 services de fonctionnement sont :





### Conclusion :

D'après l'analyse des critères de choix des moteurs électriques utilisés dans le chantier de forage, il a été constaté que ces critères sont liés aux plusieurs facteurs. Cependant, le bon choix d'un moteur nécessite une synthèse précieuse de ces critères, en tenant compte de toutes les exigences de la machine de production. En effet, le chapitre suivant sera consacré à l'application de ces critères pour le choix d'un moteur électrique.

## Introduction :

D'après les études effectuées dans les chapitres précédents, celle des caractéristiques des machines de production et celle des critères du choix des moteurs électriques. Nous allons appliquer les critères de choix des moteurs électriques afin de choisir d'une façon rationnelle le moteur électrique qui convient à l'entraînement du treuil utilisé à l'entreprise E.NA.FOR.

### III-1-Choix de la puissance des moteurs électriques :

La puissance réelle du moteur ( $P_m$ ) est choisie suivant la formule :  $P_m > P_{mé} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f$

Où  $P_{mé}$  correspond à la puissance de l'équipement et  $K_t$ ,  $K_a$  et  $K_f$  sont les coefficients de correction en fonction de la température ambiante, l'altitude et la fréquence.

#### III-1.1- 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.

### a) 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 :

D'après : [R.BOURGEOIS].

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

(Tableau 1)

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

$$K_t = 100/85$$

### b) Correction suivant la fréquence :

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 :

$$K_f = 1.07$$

**c) 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

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

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

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

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

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

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

<b>P (Kw)</b>	<b>N<sub>s</sub> tr/min</b>	<b>N tr/min</b>	<b>Série</b>	<b>I<sub>N</sub> (A)</b>	<b>U (V)</b>	<b>C<sub>N</sub> (N.m)</b>	<b>Cosφ</b>	<b>η%</b>	<b>Poids Net Kg</b>	<b>I<sub>d</sub>/I<sub>n</sub></b>	<b>C<sub>d</sub>/C<sub>n</sub></b>
860	1800	1750	GEB20	850	600	4692	0.85	96	2721	8	1.8

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.

### III-1.2- 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 :

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

<b><math>C_d = 8445,6 \text{ N.m}</math></b>
--

### III-1.3- 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 :

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

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

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

<b><math>\lambda = 2,25</math></b>
------------------------------------

Donc ce résultat montre la stabilité de notre moteur.

### III-1.4- 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.

### III-1.5- Indice de protection :

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

**IP<sub>xx</sub>**

- 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**

### III-1.6- 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.

### III-1.7- 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  $K_r$  :

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

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

Le nombre de dents de la roue dentée :

$$ND_R = 125.$$

Donc :

Le nombre de dents du pignon moteur :

$$ND_{PM} = \frac{D_R}{K_r} = \frac{125}{6,6} = 18,9 \approx 19$$

$ND_{RM}=19$

### III-2-vérification de la machines à courant continu d'entraînement du treuil(existante) :

#### III-2-1- Dimensionnement de moteur :

Dans l'installation de forage, le moteur d'entraînement doit présenter une très large gamme de couple et de vitesse, pour être utilisable dans des conditions de travail très variables suivant les terrains rencontrés. Le moteur le mieux adapter aux ces conditions est celui du moteur à courant continu à excitation série. Dans ce qui va suivre, on prendra par exemple le moteur d'entraînement du treuil.

#### III-2-2- Analyse de caractéristique de la machine de production :

- La machine à entraîner (treuil) requiert une puissance de 1600 kW (1.6 Mw).
- La machine fonctionne en régime intermittent (service S3) avec un facteur de marche 40%.

- Température de fonctionnement 65° C.
- L'altitude de fonctionnement est 1000 m .
- Les efforts de traction sur le câble de la machine à entraîner sont compris entre 0 – 46 tonnes (0 et 460 kN).
- La gamme de vitesse de la machine (treuil) est [0, 21] m/s.
- L'inertie de la machine est 1200 kg.m<sup>2</sup>.

### III-2-3-Choix de moteur :

La puissance de la machine à entraîner est 1.6 Mw, pour des raisons techniques et économiques on prévoit généralement deux moteurs pour l'entraînement de treuil. La puissance que doit fournir chaque moteur est :

$$\frac{P_{treuil}}{2} = \frac{1.6}{2} = 0.8Mw$$

- On reconnaît ici un service intermittent périodique S3 de la machine. Le facteur de correction pour un facteur de marche de 40% est de 1,2 (un moteur de **665 Kw** peut fournir **800 Kw**). Tel que :

$$\frac{800}{1.2} = 665Kw$$

- La température de fonctionnement est 65° C , donc d'après le graphe de **fig 2.2** le Coefficient de correction de l'altitude et de la température est :**0.82**

Donc en tenant compte de ce coefficient on trouve :

$$\boxed{\frac{665}{0.82} = 815Kw}$$

- Le tableau (**N° 4 chapitre2**) nous indique que pour une alimentation triphasée de **600 V** la tension maximale en sortie du pont redresseur est de **750 V**. Aucun coefficient de correction n'est à prendre en compte.

**RESULTAT DE CHOIX:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>TYPE DE MOTEUR : MOTEUR A COURANT CONTINU A EXCITATION SERIE.</b></li> <li>• <b>PUISSANCE DE MOTEUR :.....815 Kw.</b></li> <li>• <b>TENSION D'ALIMENTATION :.....750 V.</b></li> <li>• <b>COURANT D'INDUIT :.....1150A</b></li> <li>• <b>TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT :.....65°C.</b></li> <li>• <b>ALTITUDE D'APLANATION :.....1000 m.</b></li> <li>• <b>SERVICE DE FONCTIONNEMENT :</b> .....<b>INTERMITTENT S3</b></li> <li>• <b>CLASSE D'ISOLATION : .....CLASSE H.</b></li> <li>• <b>VITESSE DE ROTATION :.....965 tr/mn</b></li> </ul>
---

**Observation :**

Les résultats obtenus de sont proches des paramètres de la machine existante.

**III-3- La proposition de substitution des moteurs à courant continu par des moteurs asynchrones :**

Du point de vue économique et technique le moteur asynchrone est meilleur que le moteur à courant continu à causes de ses caractéristiques à savoir :

- Construction très simple.
- faible coût (5 à 10 fois moins cher qu'un moteur à courant continu de même puissance).
- Aucun contact électrique mobile, donc très peu d'usure et d'entretien.

-Quand il est alimenté directement par le réseau, sa vitesse est assez stable : variation de quelques pour cents entre le fonctionnement à vide et la pleine charge.

- Mais son problème réside dans la difficulté de sa commande.

### **Conclusion :**

La procédure de vérification du choix des moteurs existants a démontré que les résultats obtenus (puissance des moteurs, degré de protection, exécution climatique ...) sont conformes à ceux des installations existantes.

Par ailleurs, nous avons proposé le remplacement du moteur à courant continu de l'entraînement de la garniture de forage par un moteur asynchrone que nous avons choisi.

Cette proposition est justifiée par le fait que le moteur asynchrone est plus robuste et plus fiable (surtout dans les conditions difficiles de sud Algérien).

Par ailleurs, nous proposons pour l' ENAFOR de s'équiper d'un système de surveillance et de diagnostic des défauts des moteurs électriques, qui permettront de diminuer le temps et la fréquence des arrêts. Enfin, Il faut passer à l'étude de la commande du moteur choisi car le choix seul ne suffit pas pour répondre à tous les exigences de la machine de production. Ceci sera l'objet du chapitre suivant.

## Introduction :

Dans la plupart des installations technologiques modernes, il est nécessaire de procéder au réglage de la vitesse des entraînements électriques, chose qui est devenue plus aisée pour tout les types de moteur électrique avec le développement enregistré ces dernières années dans les domaines de l'électronique de puissance, de la microélectronique et de l'informatique industrielle. Toutefois, il est très important de signaler que le réglage de la vitesse est une variation forcée qui permet de répondre aux besoins des processus technologiques (définition).

D'après les statistiques publiées, la majeure partie des moteurs électriques dans l'industrie Algérienne fonctionnent dans un régime sous chargé, avec un facteur d'utilisation : 0.14 à 0.7, chose qui provoque des pertes supplémentaires, détérioration de  $\cos\phi$  (Dans les machines AC), diminution du rendement. Ce qui signifie l'augmentation de prix de revient de l'unité de production.

Pour résoudre ces problèmes, il est indispensable de procéder au réglage de la vitesse des entraînements électriques en fonction de la charge sur l'arbre du moteur électrique, ce qui permette d'optimiser le fonctionnement du système électromécanique et de diminuer le prix de revient des produits.

Par ailleurs, le réglage de la vitesse peut être effectué pour des raisons techniques et économiques.

Dans le chantier de forage, le moteur d'entraînement doit présenter une très large gamme de couple et de vitesse, pour être utilisable dans des conditions de travail très variables suivant les terrains rencontrés.

Ce chapitre est consacré à la commande des moteurs à courant continu à excitation série utilisé dans les chantiers de forage.

### IV-1. Modélisation des moteurs DC à excitation série :

Soit le schéma suivant :

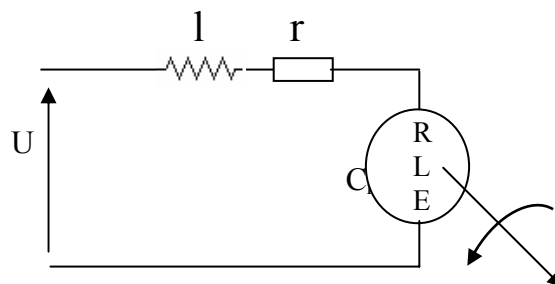


Fig.IV.1. Schéma équivalent d'un moteur à courant continu à excitation série

$U_d$  : la tension moyenne à la sortie de redresseur qui varie entre 0 et 750V DC ;

$U_e$ : la tension d'entrée de redresseur 600v /60Hz AC ;

$r, l$  : la résistance et l'inductance de l'inducteur ;

$R, L$ : la résistance et l'inductance de l'induit ;

$E$  : la f.e.m à la borne de l'induit ;

$C_r$  : le couple résistant de la machine entérinée ;

$f_r$ : le coefficient de frottement ;

$$\begin{cases} U = (R + r) \cdot i + (L + l) \cdot \frac{di}{dt} + E \\ R_{eq} = R + r \\ L_{eq} = L + l \end{cases}$$

D'où :

$$U = R_{eq} \cdot i + L_{eq} \cdot \frac{di}{dt} + E$$

Avec :

$$E = K \cdot j \cdot \Omega$$

**Equation mécanique:**

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

$$C_{em} = K \cdot i^2$$

D'où :

$$K \cdot i^2 - C_s = f_r \cdot \Omega + J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$

Donc, on a le modèle mathématique du moteur à courant continu à excitation série est :

$$\begin{cases} U = R_{eq} \cdot i + L_{eq} \cdot \frac{di}{dt} + K \cdot j \cdot \Omega \dots\dots\dots 1 \\ K \cdot \left(\frac{U}{R_{eq}}\right)^2 - f_r \cdot \Omega - J \cdot \frac{d\Omega}{dt} = C_s \dots\dots\dots 2 \end{cases}$$

**IV-2. Commande des moteurs a courant continu à excitation série :**

On a le modèle mathématique du moteur DC série est :

$$\begin{cases} U = R_{eq} \cdot i + L_{eq} \cdot \frac{di}{dt} + K \cdot i \cdot \Omega \\ K \cdot i^2 - C_s = f_r \cdot \Omega + J \cdot \frac{d\Omega}{dt} \end{cases}$$

Ce modèle est non linéaire,

Pour l'étude des commandes, il est naturel de linéariser ce modèle autour d'un point de fonctionnement défini par  $(U_0, C_{r0}, i_0, \Omega_0)$  tel que :

$$\begin{cases} U = U_0 + \Delta U \\ C_s = C_{s0} + \Delta C_s \\ i = i_0 + \Delta i \\ \Omega = \Omega_0 + \Delta \Omega \end{cases} \dots\dots\dots Q$$

Les équation (1) nous donne :

$$(U_0 + \Delta U) = R_{eq} \cdot (i_0 + \Delta i) + L_{eq} \cdot \frac{d(i_0 + \Delta i)}{dt} + K \cdot (i_0 + \Delta i) \cdot (\Omega_0 + \Delta \Omega)$$

On peut écrire après le remplacement des grandeurs de Q dans le modèle mathématique du moteur CC que :

$$\begin{aligned} U_0 &= R_{eq} \cdot i_0 + L_{eq} \cdot \frac{di_0}{dt} + K \cdot i_0 \cdot \Omega_0 \\ K \cdot i_0^2 - C_s &= f_r \cdot \Omega_0 + J \cdot \frac{d\Omega_0}{dt} \end{aligned}$$

L'équation (1) devient après la simplification :

$$\begin{aligned} U_0 &= R_{eq} \cdot i_0 + R_{eq} \cdot \Delta i + L_{eq} \cdot \frac{di_0}{dt} + L_{eq} \cdot \frac{d\Delta i}{dt} + \\ &+ K \cdot i_0 \cdot \Omega_0 + K \cdot i_0 \cdot \Delta \Omega + K \cdot \Omega_0 \cdot \Delta i + K \cdot \Delta i \cdot \Delta \Omega_0 \end{aligned}$$

Le produit  $K \cdot \Delta i \cdot \Delta \Omega \rightarrow 0$  car chaque une de deux valeurs sont très faible qui se implique que leur produit c'est plus faible.

Et d'après l'expression de  $U_0$  précédent on peut écrire le modèle linéarisé de l'équation de l'induit et l'inducteur comme suite :

$$\Delta U = R_{eq} \cdot \Delta i + L_{eq} \cdot \frac{d\Delta i}{dt} + K \cdot i_0 \cdot \Delta \Omega + K \cdot \Omega_0 \cdot \Delta i \dots \dots \dots I$$

Et on va faire les mêmes étapes avec l'équation mécanique :

$$K(i_0 + \Delta i)^2 - (C_{s0} - \Delta C_s) = f_r(\Omega_0 + \Delta \Omega) + J \cdot \frac{d}{dt}(\Omega_0 + \Delta \Omega)$$

⇒

$$K \cdot i_0^2 + K \cdot \Delta i^2 + 2 \cdot K \cdot i_0 \cdot \Delta i - C_{s0} - \Delta C_s = f_r \cdot \Omega_0 + f_r \cdot \Delta \Omega + J \cdot \frac{d\Omega_0}{dt} + J \frac{d\Delta \Omega}{dt}$$

Après la simplification on trouve :

$$2 \cdot K \cdot i_0 \cdot \Delta i - \Delta C_s = f_r \cdot \Delta \Omega + J \frac{d\Delta \Omega}{dt} \dots \dots \dots II$$

La transformé de LAPLACE de I et II on trouve :

$$\begin{aligned} \Delta U &= (R_{eq} + K \cdot \Omega_0 + L_{eq} \cdot P) \cdot \Delta i + K \cdot i_0 \cdot \Delta \Omega \dots \dots \dots I' \\ 2 \cdot K \cdot i_0 \cdot \Delta i - \Delta C_s &= (f_r + J \cdot P) \cdot \Delta \Omega \dots \dots \dots II' \end{aligned}$$

On pose  $R_1 = R_{eq} + K \cdot \Omega_0$

le schéma fonctionnel du système est le suivant (figure III.2):

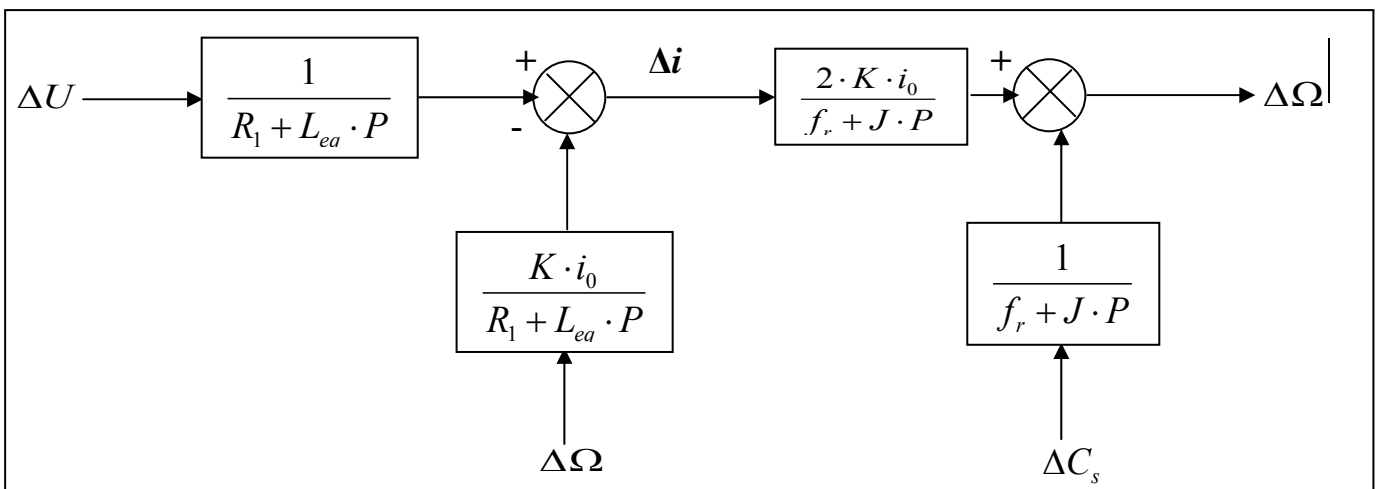


Fig.IV.2.Modèle linéarisé autour d'un point de fonctionnement

On sort de les deux équations I' et II' les variables d'états  $\Delta I$  et  $\Delta \Omega$  :

$$\Delta I = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta U - \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta \Omega$$

$$\Delta \Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta I - \frac{1}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta C_s$$

Le schéma de commande est représenté sur la figure (IV.3) suivante

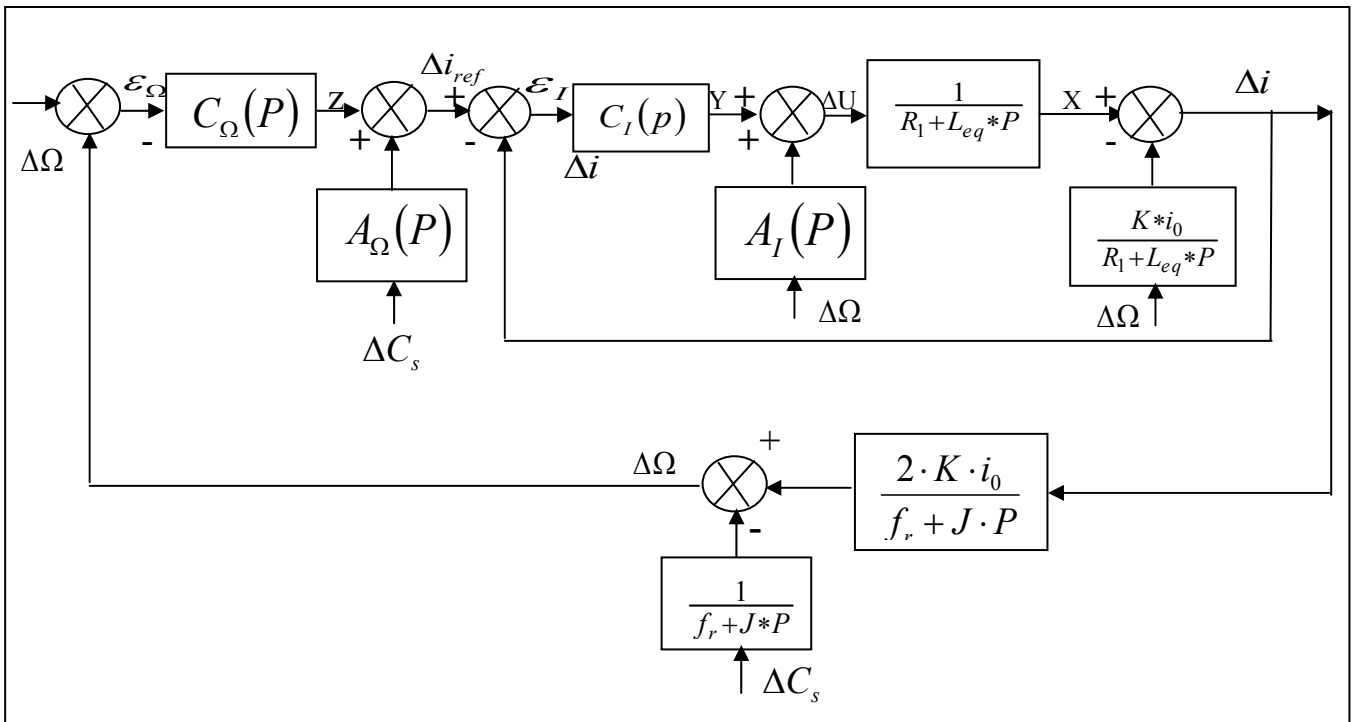


Fig.IV.3 Schéma fonctionnel du moteur à courant continu commandé par l'excitation linéarisé autour d'un point de fonctionnement :

### IV-3. Dimensionnement des régulateurs de commande :

#### IV-3.1. Boucle interne :

- **Régulation de courant :**

D'après la boucle interne de courant, on va tirer les équations suivantes :

$$\varepsilon_I = \Delta i_{ref} - \Delta i$$

$$Y = \varepsilon_I \cdot C_I(p)$$

$$\Delta U_{ref} = \Delta U = Y + A_I(P) \cdot \Delta \Omega$$

$$X = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta U$$

$$\Delta i = X - \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta \Omega$$

$\Rightarrow$

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta U - \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta \Omega$$

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta U - \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta \Omega$$

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot (Y + A_1(P) \cdot \Delta \Omega) - \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \Delta \Omega$$

$\Rightarrow$

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot Y + \frac{K \cdot i_0}{R_1 + L_{eq} \cdot P} (A_1(P) - K \cdot i_0) \cdot \Delta \Omega$$

Pour compenser la perturbation on pose  $A_1(P) - K \cdot i_0 = 0$

$$\Rightarrow A_1(P) = K \cdot i_0$$

**Donc :**

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot Y = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot \varepsilon_I \cdot C_I(p)$$

Dans ce cas la il faut choisir un régulateur PI de type  $C_I = \frac{1 + P \cdot T_1}{P \cdot T_2}$   
tel que  $T_1$  et  $T_2$  sont les coefficient de la régulateur à dimensionner alors :

$$\Delta i = \frac{1}{R_1 + L_{eq} \cdot P} \cdot C_I(p) \cdot \varepsilon_I = \frac{1}{1 + \tau_e \cdot P} \cdot \frac{1 + P \cdot T_1}{P \cdot T_2} \cdot \varepsilon_I$$

Avec :  $\tau_e = \frac{L_{eq}}{R_1}$

On pose  $T_1 = \tau_e$  on trouve :  $\Delta i = \frac{1}{T_2 \cdot P} \cdot \varepsilon_I$

$$\Rightarrow \Delta i = \frac{1}{R_1 + T_2 \cdot P} \cdot (\Delta i_{ref} - \Delta i)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{\Delta i}{\Delta i_{ref}} = \frac{1}{1 + R_1 \cdot T_2 \cdot P} = \frac{1}{1 + \tau_{id} \cdot P}}$$

$\tau_{id}$  : Constant de temps désiré du courant

Cette dernier résultat c'est l'équation de transfert de la boucle interne (boucle de courant) tel que :

$$R_1 \cdot T_2 = \tau_{id} \Rightarrow T_2 = \frac{\tau_{id}}{R_1}$$

Alors le régulateur de courant est :

$$\boxed{C_I = \frac{1 + \tau_e \cdot P}{\frac{\tau_{id}}{R_1} \cdot P}}$$

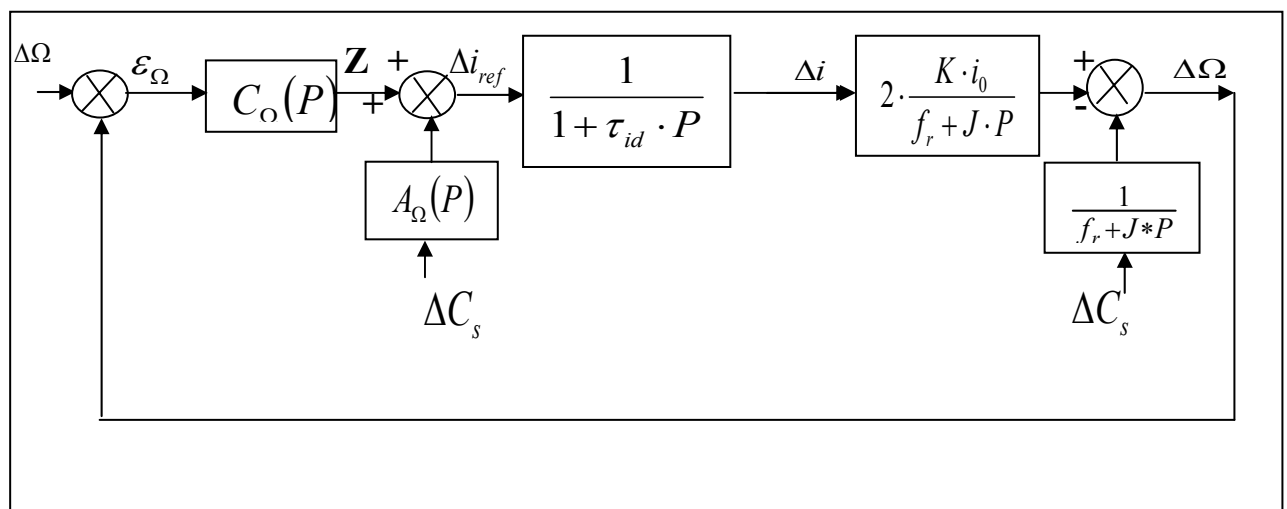
### IV-3.2. Boucle externe :

- **régulateur de vitesse:**

La boucle de courant définie, la vitesse sera régulée par adjonction d'un régulateur supplémentaire qui corrigera l'erreur entre la référence et la vitesse et fournira une référence  $i_{ref}$  pour la boucle de courant tel que :

- 1) ce régulateur comportera un terme intégral, de façon à avoir une erreur statique nulle.
- 2) La limitation de la sortie de ce régulateur limitera le courant du moteur.

Le schéma fonctionnel de commande de vitesse, après le calcul de l'équation transfert de la boucle interne est donné par la figure( IV.4) suivant :



**Figure.IV.4. Le schéma fonctionnel de commande, après le calcul de l'équation transfert de la boucle interne:**

On peut tirer les équations suivantes :

$$\varepsilon_{\Omega} = \Delta\Omega_{ref} - \Delta\Omega$$

$$Z = \varepsilon_{\Omega} \cdot C_{\Omega}(p)$$

$$\Delta i_{ref} = Z + A_{\Omega}(P) \cdot \Delta C_s$$

$$\Delta i = \frac{1}{1 + \tau_{id} \cdot P} \cdot \Delta i_{ref}$$

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta I - \frac{1}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta C_s$$

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r + J \cdot P} \cdot \left( \frac{1}{1 + \tau_{id} \cdot P} \cdot \Delta i_{ref} \right) - \frac{1}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta C_s$$

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot [Z + A_{\Omega}(P) \cdot \Delta C_s] - \frac{1}{f_r + J \cdot P} \cdot \Delta C_s$$

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot Z + \Delta C_s \cdot \left[ 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot A_{\Omega}(P) - \frac{1}{f_r + J \cdot P} \right]$$

Que on compense la perturbation de la couple résistant il faut que :

$$2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot A_{\Omega}(P) - \frac{1}{f_r + J \cdot P} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{A_{\Omega}(P) = \frac{(1 + \tau_{id} \cdot P)}{2 \cdot K \cdot i_0}}$$

Mais ce système physiquement non réalisable car le degré numérateur est supérieur a celle de dénominateur. Pour rendre ce système réalisable physiquement, on multiplie par un terme de tel façon que la résultat ne change pas et le système, cette terme est :

$$\boxed{\frac{1}{1 + P \cdot \tau_1}}$$

Avec le condition suivant :

$$\tau_1 \leq \frac{\tau_{id}}{10}$$

Alors on a :

$$A_{\Omega}(P) = \left( \frac{1 + \tau_{id} \cdot P}{2 \cdot K \cdot i_0} \right) \cdot \frac{1}{1 + \tau_1 \cdot P}$$

Par ailleurs :

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot Z$$

$\Rightarrow$

$$\Delta\Omega = 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{(f_r + J \cdot P) \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot C_{\Omega}(p) \cdot \varepsilon_{\Omega}$$

On va choisir un régulateur P-I de forme  $C_{\Omega}(p) = \frac{1 + P \cdot T_3}{P \cdot T_4}$

Donc :

$$\Delta\Omega = \frac{\left( 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r} \right)}{(1 + \tau_{id} \cdot P) \cdot (1 + \tau_m \cdot P)} \cdot \left( \frac{1 + P \cdot T_3}{P \cdot T_4} \right) \cdot \varepsilon_{\Omega}$$

On impose  $T_3 = \tau_m$

Avec  $\tau_m = \frac{J}{f_r}$

$$\Delta\Omega = \frac{\left( 2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r} \right)}{P \cdot T_4 \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \cdot (\Delta\Omega_{ref} - \Delta\Omega)$$

$\Rightarrow$

$$\Delta\Omega \cdot \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r}}{P \cdot T_4 \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} \right) \right] = \frac{2 \cdot K \cdot i_0}{P \cdot T_4 \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P) \cdot f_r} \cdot \Delta\Omega_{ref}$$

La fonction de transfert de la boucle externe est :

$$\frac{\Delta\Omega}{\Delta\Omega_{ref}} = \frac{2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r}}{2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r} + P \cdot T_4 \cdot (1 + \tau_{id} \cdot P)} = \frac{2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r}}{2 \cdot \frac{K \cdot i_0}{f_r} + T_4 \cdot P + T_4 \cdot \tau_{id} \cdot P^2}$$

⇒

$$\frac{\Delta\Omega}{\Delta\Omega_{ref}} = \frac{\frac{2 \cdot K \cdot i_0}{f_r} / (T_4 \cdot \tau_{id})}{P^2 + \frac{1}{\tau_{id}} \cdot P + \frac{2 \cdot K \cdot i_0}{f_r} / (T_4 \cdot \tau_{id})}$$

Cette équation de transfert est de la forme :

$$\frac{\omega_n^2}{P^2 + 2 \cdot \xi \cdot \omega_n + \omega_n^2}$$

Avec :

$$\begin{cases} \omega_n^2 = \frac{2 \cdot K \cdot i_0}{f_r \cdot (T_4 \cdot \tau_{id})} \\ 2 \cdot \xi \cdot \omega_n = \frac{1}{\tau_{id}} \end{cases}$$

**Détermination de  $T_4$  :**

Pour une réponse optimale on pose  $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$$\omega_n = \frac{1}{2 \cdot \tau_{id} \cdot \xi} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \tau_{id}}$$

$$\Rightarrow \omega_n^2 = \frac{2 \cdot K \cdot i_0}{f_r \cdot T_4 \cdot \tau_{id}} = \frac{1}{2 \cdot \tau_{id}^2}$$

$$\Rightarrow 4 \cdot \tau_{id} \cdot K \cdot i_0 = f_r \cdot T_4$$

Donc les paramètres de régulateur de vitesse sont :

$$T_4 = \frac{4 \cdot \tau_{id} \cdot K \cdot i_0}{f_r}$$

$$T_3 = \tau_m$$

D'ou

$$C_\Omega = \frac{1 + \tau_m \cdot P}{P \cdot \frac{4 \cdot \tau_{id} \cdot K \cdot i_0}{f_r}}$$

#### IV-4. Application numérique:

Les paramètres du moteur donnés au tableau (III.1), permettent de calculer les valeurs des différents coefficients des régulateurs.

Puissance nominale	$P_n$	815	kW
Vitesse nominale	$\Omega_n$	965	tr/mn
Couple nominale	$C_n$	8150	N.m
Résistance équivalent	$R_{eq}=R+r$	0.0095	$\Omega$
L'inductance équivalent	$L_{eq}=L+l$	0.009	H
Moment d'inertie	$J$	0.01	$Kg.m^2$
Coefficient de frottement visqueux	$f_r$	0.011	$Kg.m^2.s^{-1}$

**Tableau.IV.1.Paramètres du moteur CC**

Il est signalé que, les paramètres du moteur donnés au tableau précédents sont les valeurs réelles, sauf que le moment d'inertie  $J$  et le coefficient de frottement visqueux  $f_r$  sont proposé à cause de manque de ces paramètres.

Les paramètres des régulateurs sont donnés comme suite:

Régulateur de courant		Régulateur de vitesse	
T <sub>1</sub>	0.014	T <sub>3</sub>	0.909
T <sub>2</sub>	1.573	T <sub>4</sub>	2254

Tableau.IV.2.Paramètres des régulateurs

#### IV-5. Montage en pont à thyristor triphasé :

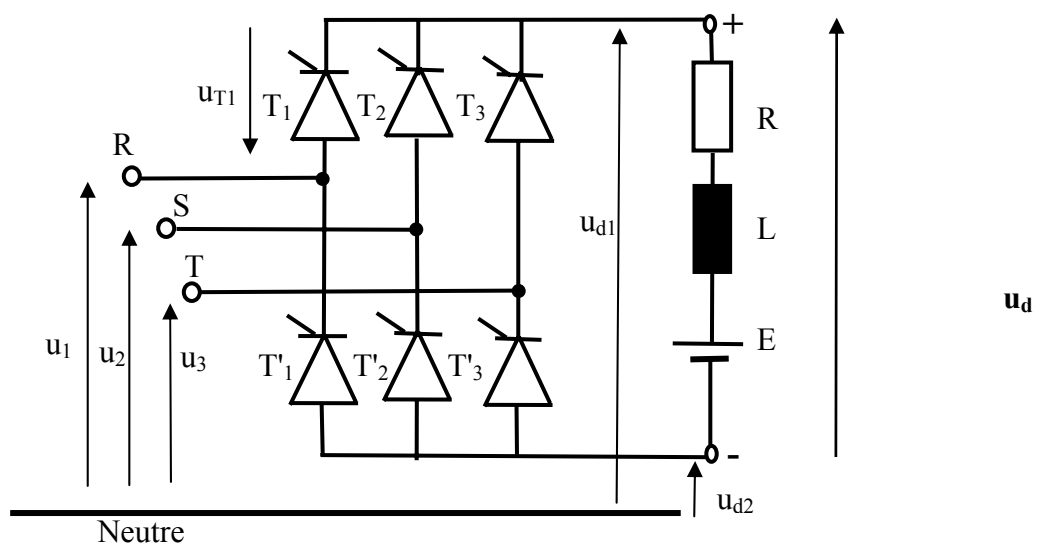


Fig. IV.5.Montage en pont triphasé

- **Fonctionnement :**

Les figures (IV.6 et IV.7) montrent l'allure des tensions continues  $u_d$ ,  $u_{d1}$ ,  $u_{d2}$ , celle des courants  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  dans les trois phases d'alimentation et de la tension inverse aux bornes du thyristor  $T_1$ , ainsi que la durée de conduction du courant de chaque thyristor.

On obtient la tension  $u_d$  en composant deux tensions partielles  $u_{d1}$  et  $u_{d2}$ , correspondant aux tensions de chaque groupe de commutation (fig.IV.7) où  $u_{d1}$  est mesurée entre la borne positive et le point neutre du réseau d'alimentation et  $u_{d2}$  entre la borne positive et le point neutre. On a donc

$$u_d = u_{d1} - u_{d2} \quad (\text{IV.1})$$

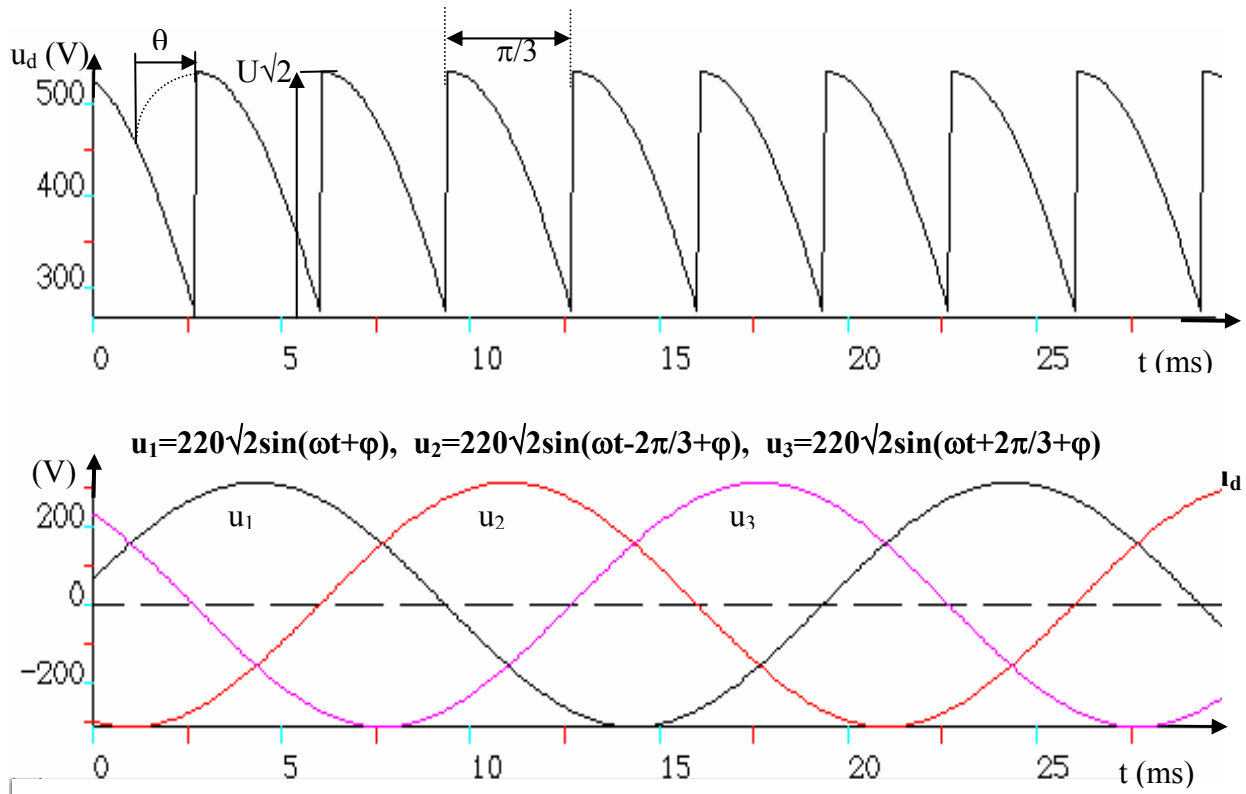
La tension partielle  $u_{d1}$  se compose de secteurs sinusoïdaux des tensions simples  $u_1$ ,  $u_2$  et  $u_3$  (fig.IV.6) en correspondance avec la conduction des thyristors  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  (fig.IV.8). La tension continue  $u_{d1}$  a la même allure que celle d'un redresseur en montage étoile triphasé. Le thyristor conduisant est toujours connecté à la tension d'alimentation la plus positive à condition qu'il ait reçu une impulsion d'amorçage. L'instant d'amorçage est fixé par l'angle de retard à l'amorçage  $\theta$ , qui est de nouveau mesuré à partir de l'intersection de deux tensions simples positives.

La tension partielle  $u_{d2}$  se compose de secteurs sinusoïdaux des tensions simples  $u_1$ ,  $u_2$  et  $u_3$  (fig.IV.6) en correspondance avec la conduction des thyristors  $T'_1$ ,  $T'_2$  et  $T'_3$  (fig.IV.8). Dans ce cas le thyristor conduisant est connecté par sa cathode à la tension d'alimentation la plus négative à condition qu'il ait reçu une impulsion d'amorçage. L'instant d'amorçage est de nouveau fixé par l'angle de retard à l'amorçage  $\theta$ , qui est maintenant mesuré à partir de l'intersection de deux tensions simples négatives.

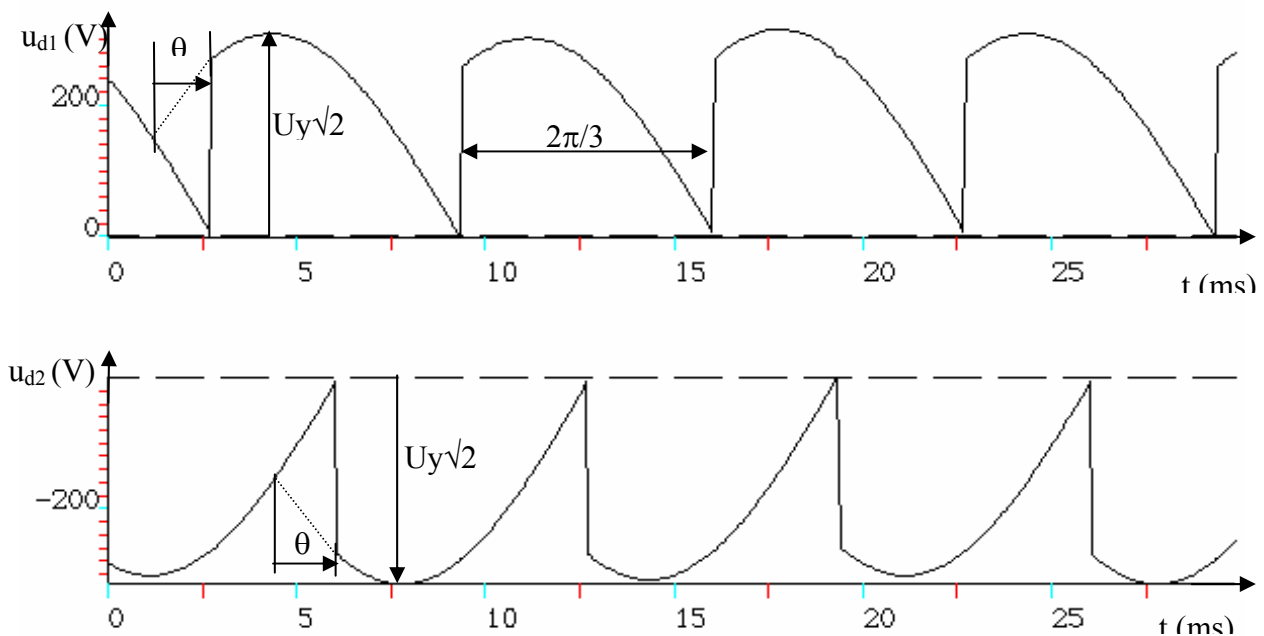
La tension continue totale  $u_d$  est donnée par la différence entre  $u_{d1}$  et  $u_{d2}$  (équation (IV.1)). L'allure de  $u_d$  est composée de secteurs de tensions d'un système hexaphasé. On peut aussi construire la tension  $u_d$  à partir de ce système de tension qui se base sur les tensions composées des tensions d'alimentation.

La valeur de crête de la tension  $u_d$  est égale à  $U\sqrt{2}$  où  $U$  est la valeur efficace de la tension composée alimentant le montage en pont triphasé.

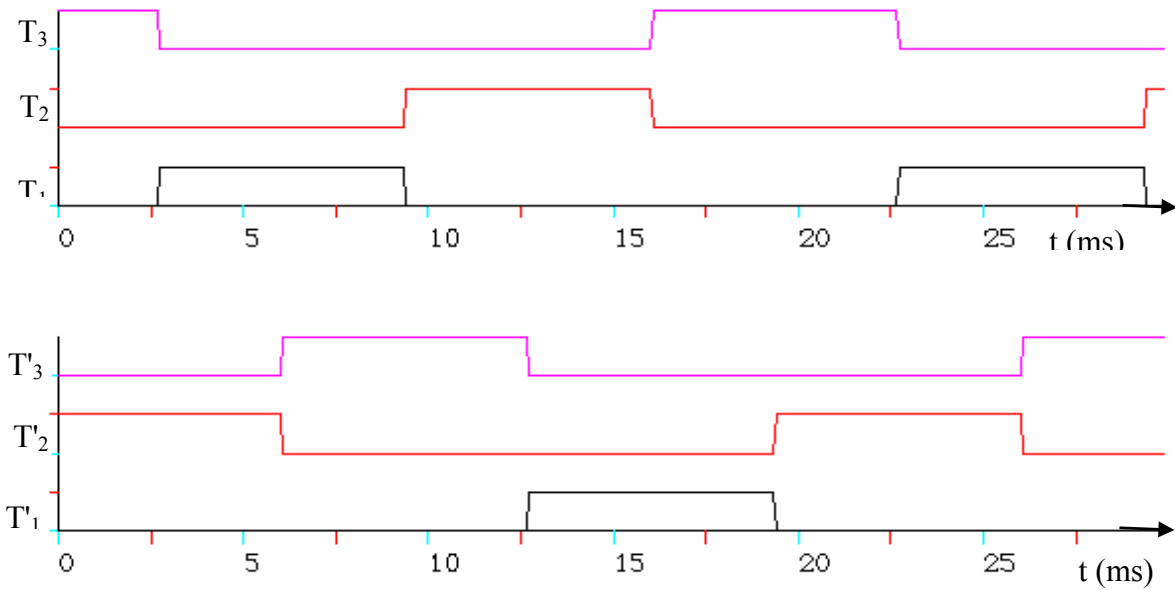
Le courant continu  $I_d$  circule dans le premier groupe de commutation alternativement par les thyristors  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  et dans le deuxième groupe de commutation par les thyristors  $T'_1$ ,  $T'_2$  et  $T'_3$ . La durée de conduction correspond à  $\omega t = 120^\circ = 2\pi/3$ . Comme il découle de la figure (IV.8), la séquence d'amorçage des thyristors dans le pont complet est  $T_1, T'_3, T_2, T'_1, T_3, T'_2, T_1$  et ainsi de suite. On ne doit jamais enclencher en même temps deux thyristors qui se trouvent en série dans la même branche. Ceci correspondrait à un court - circuit du montage redresseur du côté continu.



**Fig.IV.6.** Allures des tensions d'alimentation  $u_1, u_2, u_3$  et de la tension continue  $u_d$  pour  $\theta = 30^\circ$  et une charge :  $R=20 (\Omega)$ ,  $L=1 (H)$ ,  $E=50 (V)$ .



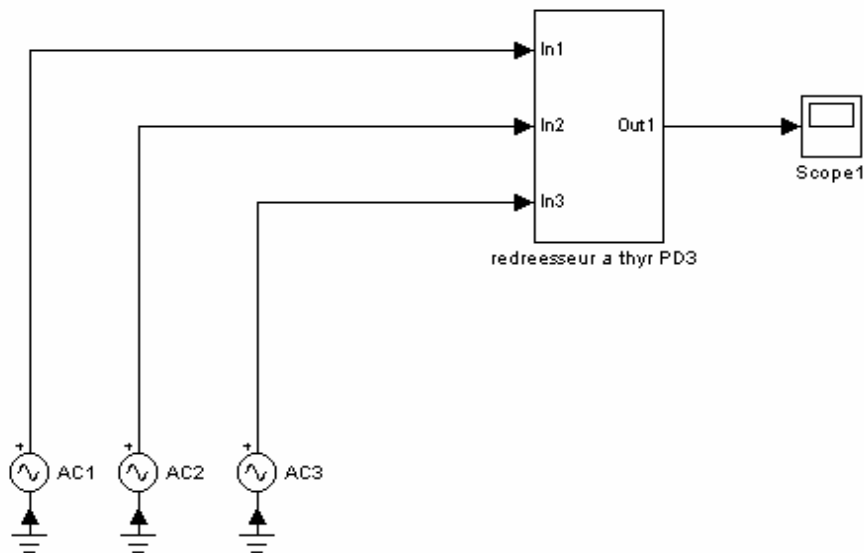
**Fig.IV.7.** Allures des tensions continues  $u_{d1}, u_{d2}$  pour un angle de retard à l'amorçage  $\alpha=30^\circ$  et une charge :  $R=20 (\Omega)$ ,  $L=1 (H)$ ,  $E=50 (V)$ .



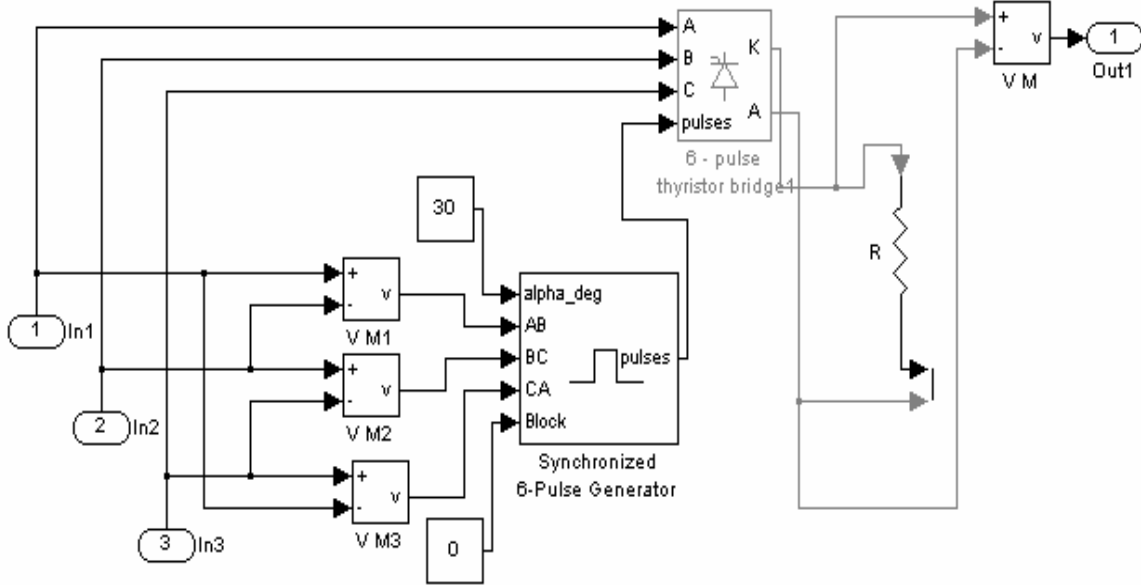
**Fig.IV.8. Durée de conduction des thyristors pour un pont triphasé avec un angle de retard à l'amorçage  $\theta=30^\circ$  et une charge :  $R=20 (\Omega)$ ,  $L=1 (H)$ ,  $E=50 (V)$**

### IV-6. Redresseur triphasé à thyristor:

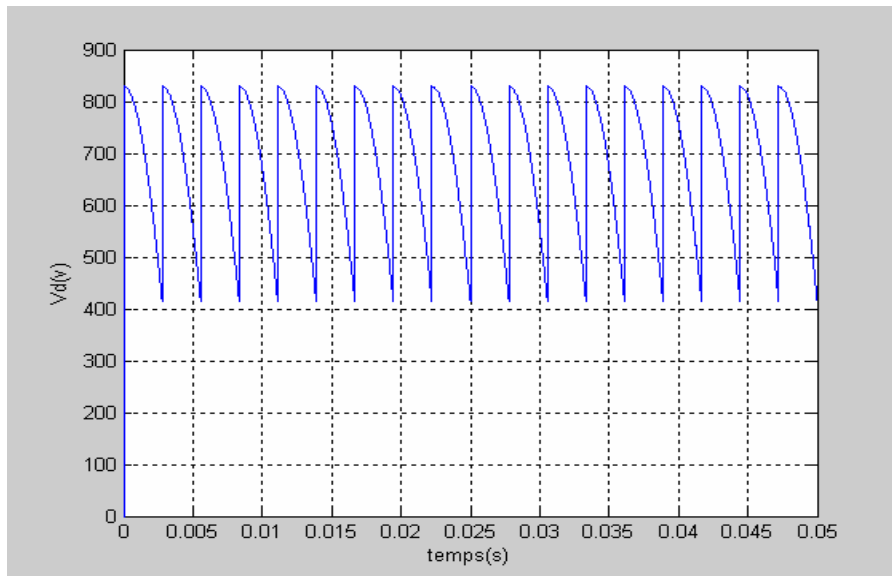
Pour le redresseur a thyristor parallèle double triphasé, le schéma bloc est:



La structure interne du bloc redresseur a thyristor PD3 est



L'allure de tension redressée est représentée sur la figure suivante:

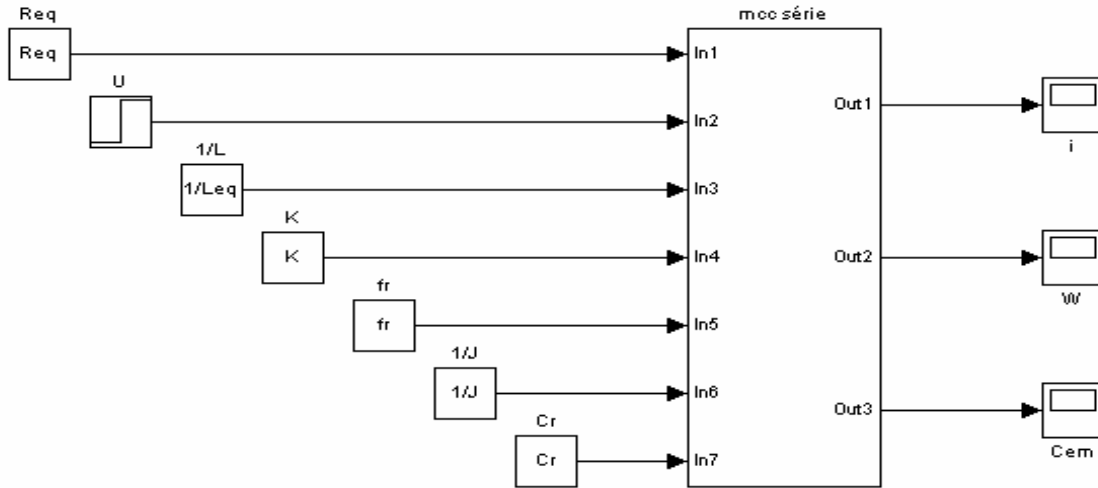


La tension moyenne :

$$U = \frac{3 \cdot U_{\max}}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{3 \cdot 600}{\pi} \cdot \cos 30 = 700 \text{ V}$$

**IV-7. Simulation de moteur:**

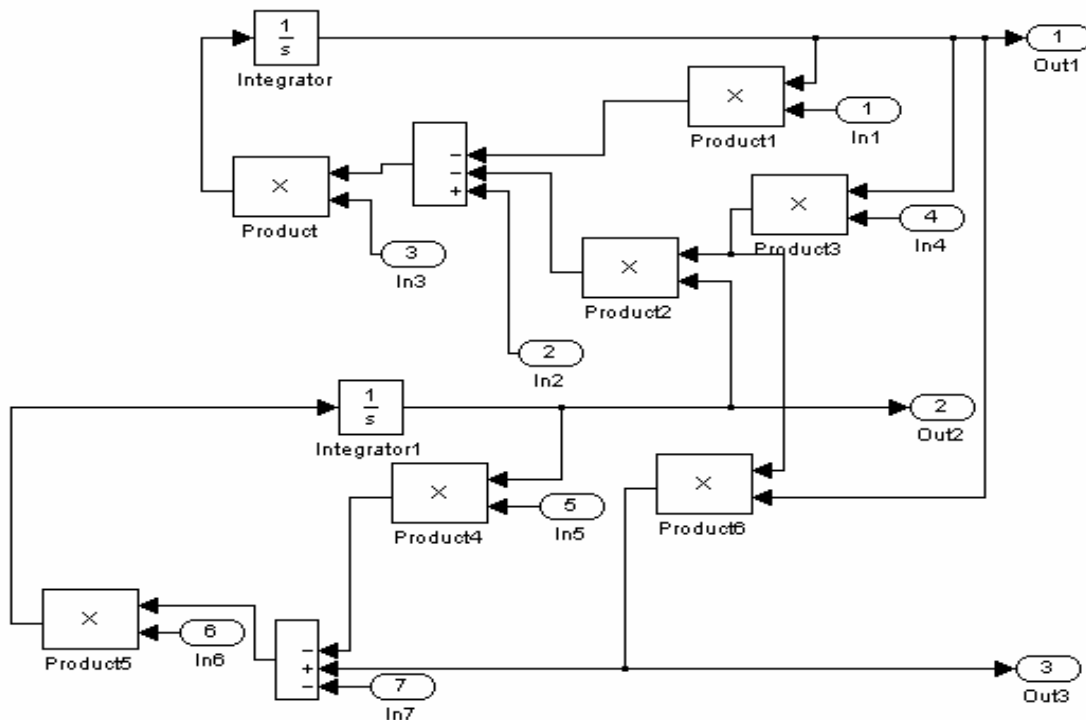
Le schéma bloc de moteur CC à excitation série est :



Les paramètres de moteur sont :

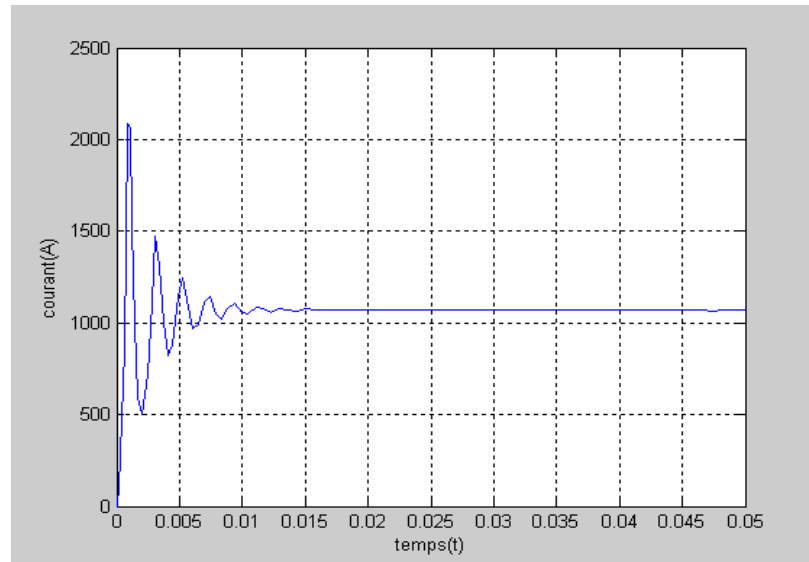
- U=750 ;
- Leq=0.0009;
- Req=0.00951;
- K=0.0062;
- fr=0.011;
- Cr=7100;
- J=0.01;

La structure interne du bloc mcc série est :



L'allure de courant , vitesse et couple sont les suivantes :

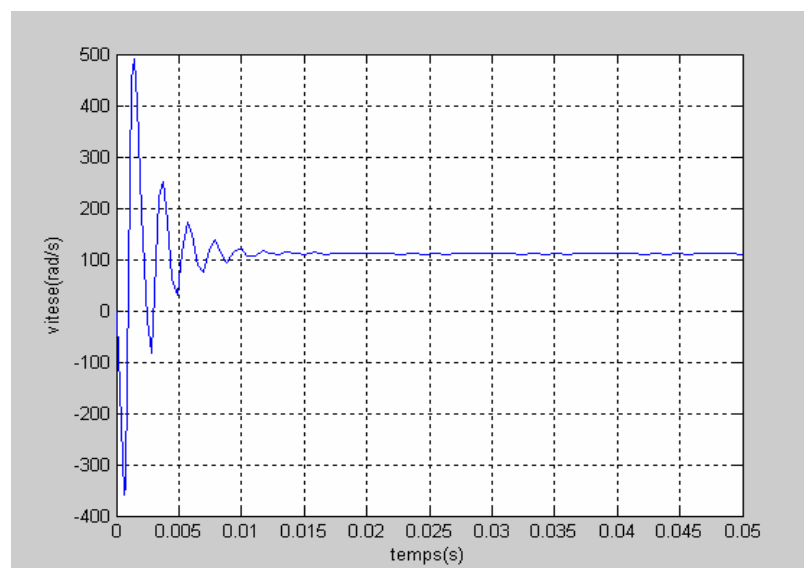
### 1. courant :



Au démarrage le courant atteint une valeur maximale  $i_{max}=2202 A$ .

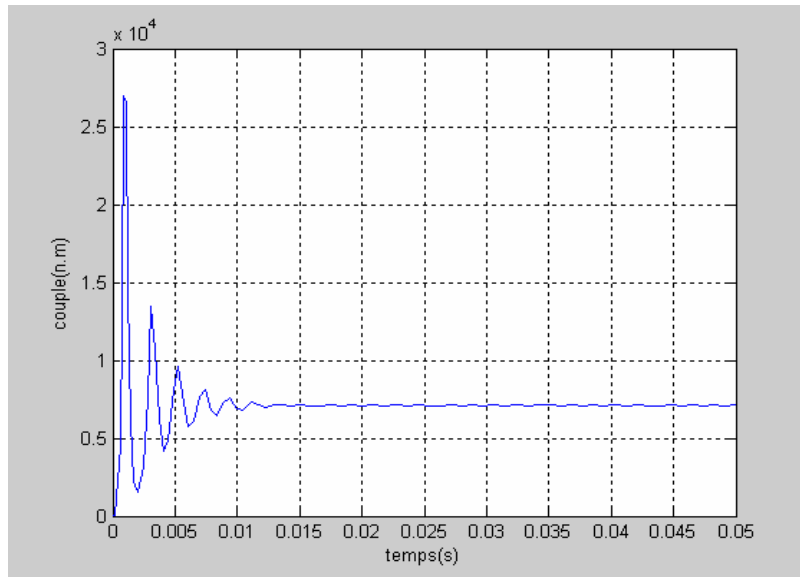
En régime permanent le courant prend la valeur  $i_p=1070 A$ .

### 2. vitesse :



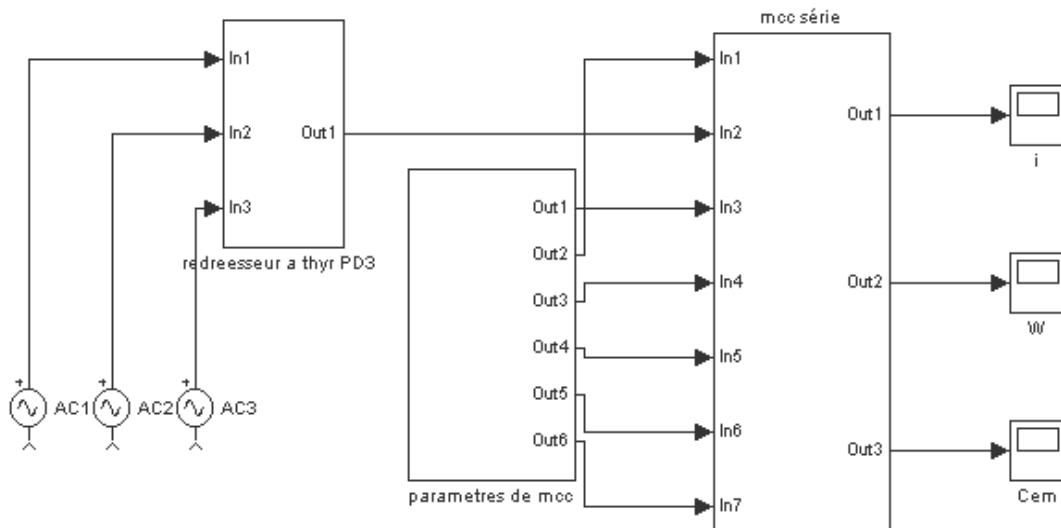
En régime permanent la vitesse du moteur prend la valeur  $\omega=111 \text{ rad/s}$

**3. le couple:**

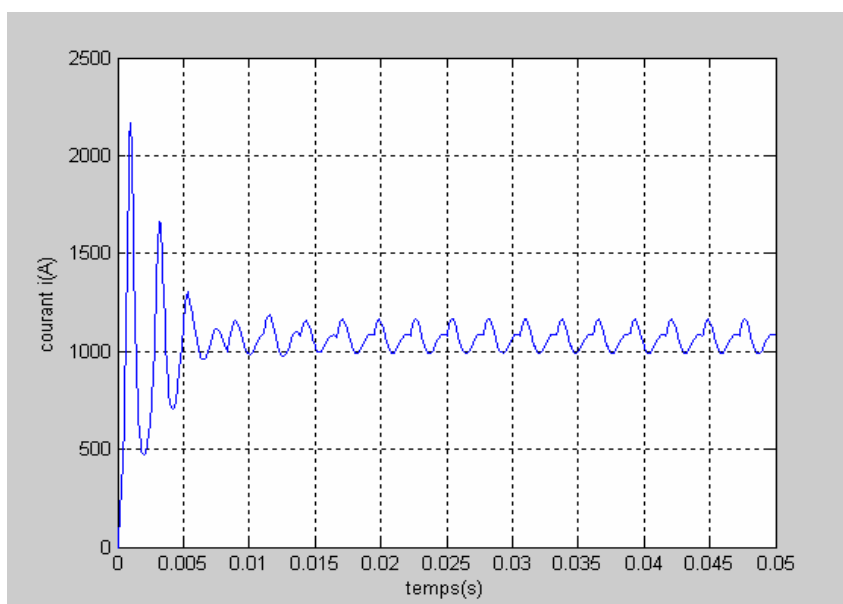


Au démarrage le couple électromagnétique atteint une valeur maximale  $C_{em_{max}}=30000$  N.m.  
 On voit qu'en régime permanent le couple électromagnétique  $C_{em}=7100,8$  N.m.

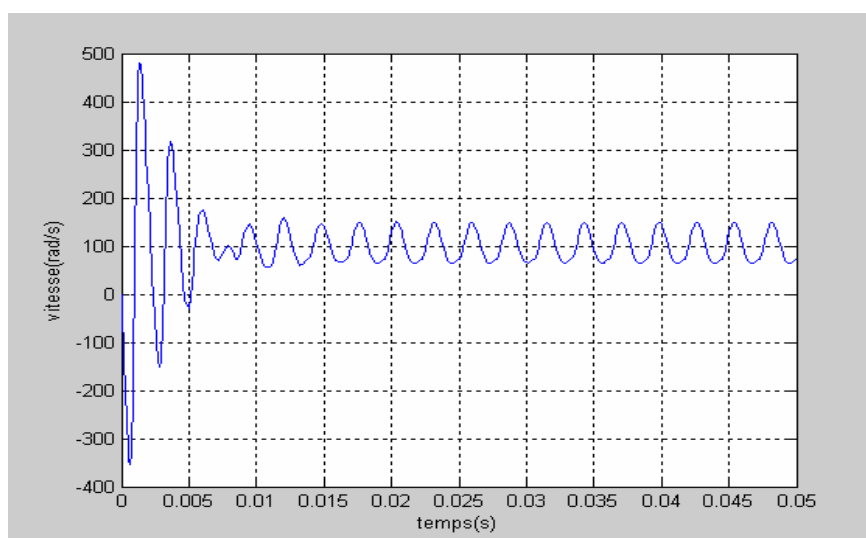
**IV-8.Simulation de l'ensemble redresseur à thyristor PD3 - moteur:**



L'allure de courant est :

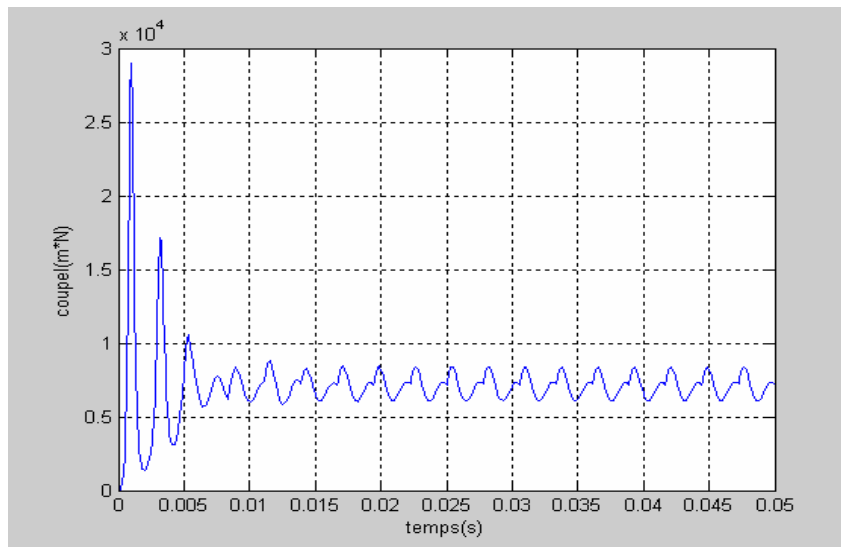


L'allure de la vitesse est :



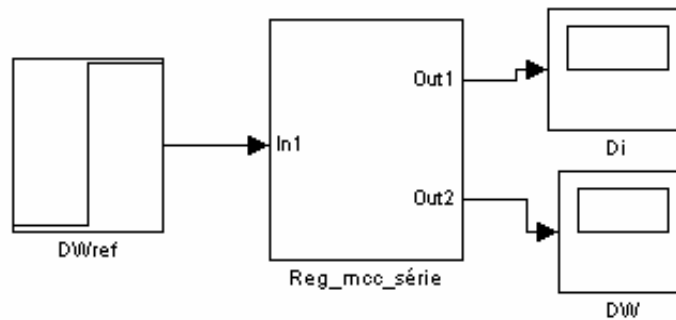
On voit qu'en régime permanent tend vers une valeur moyenne  $\omega_{moy} = 118 \text{ rad/s}$ .

L'allure de couple est :

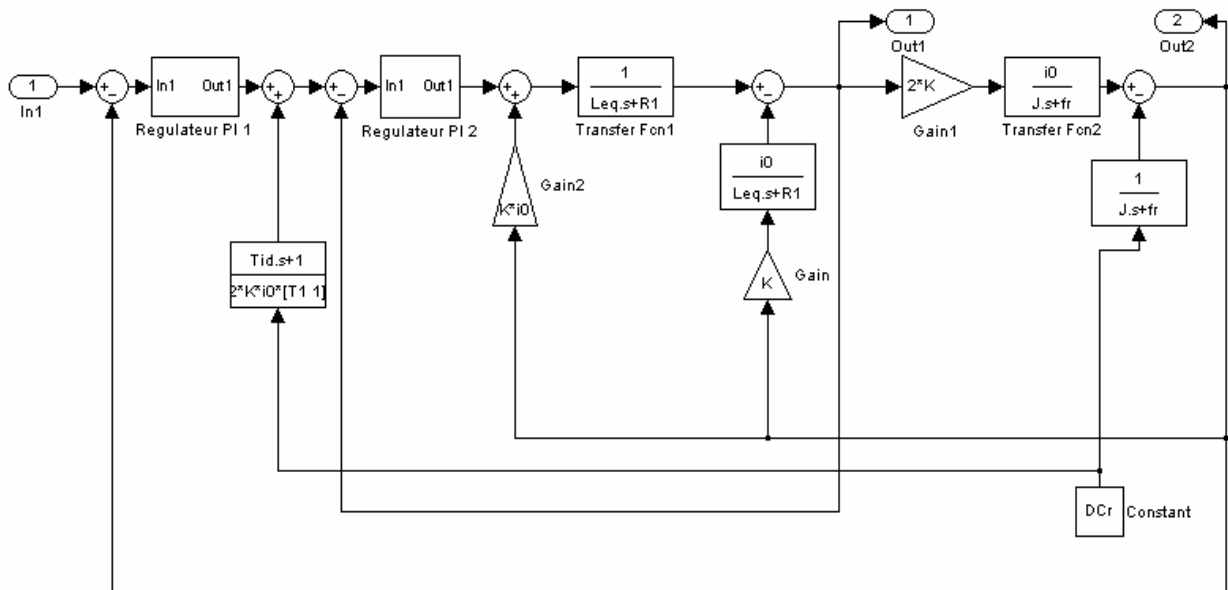


**IV-9. Réglage de vitesse de moteur :**

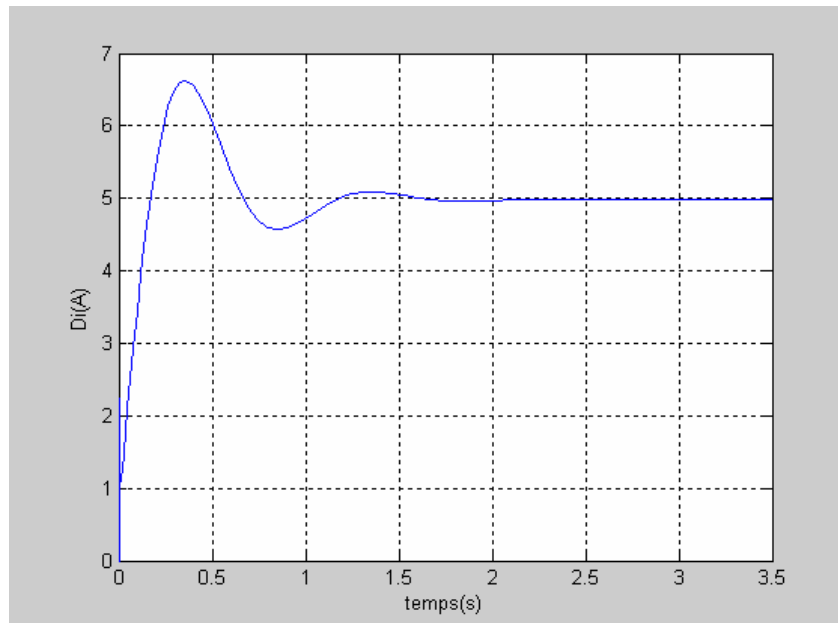
Schéma bloc de commande de moteur CC série :



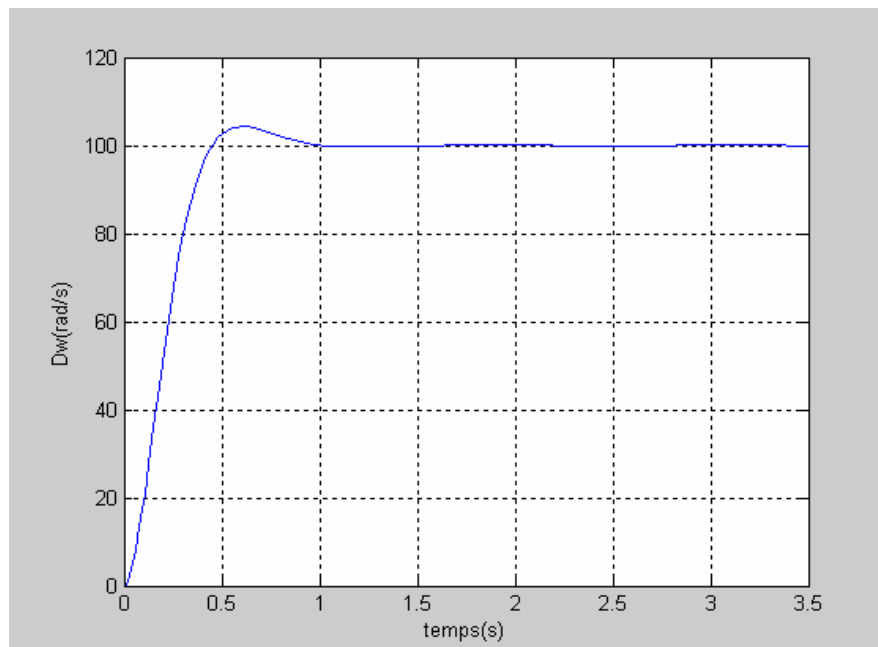
la structure interne de Reg\_mcc\_série :



L'allure de  $\Delta i$  est:



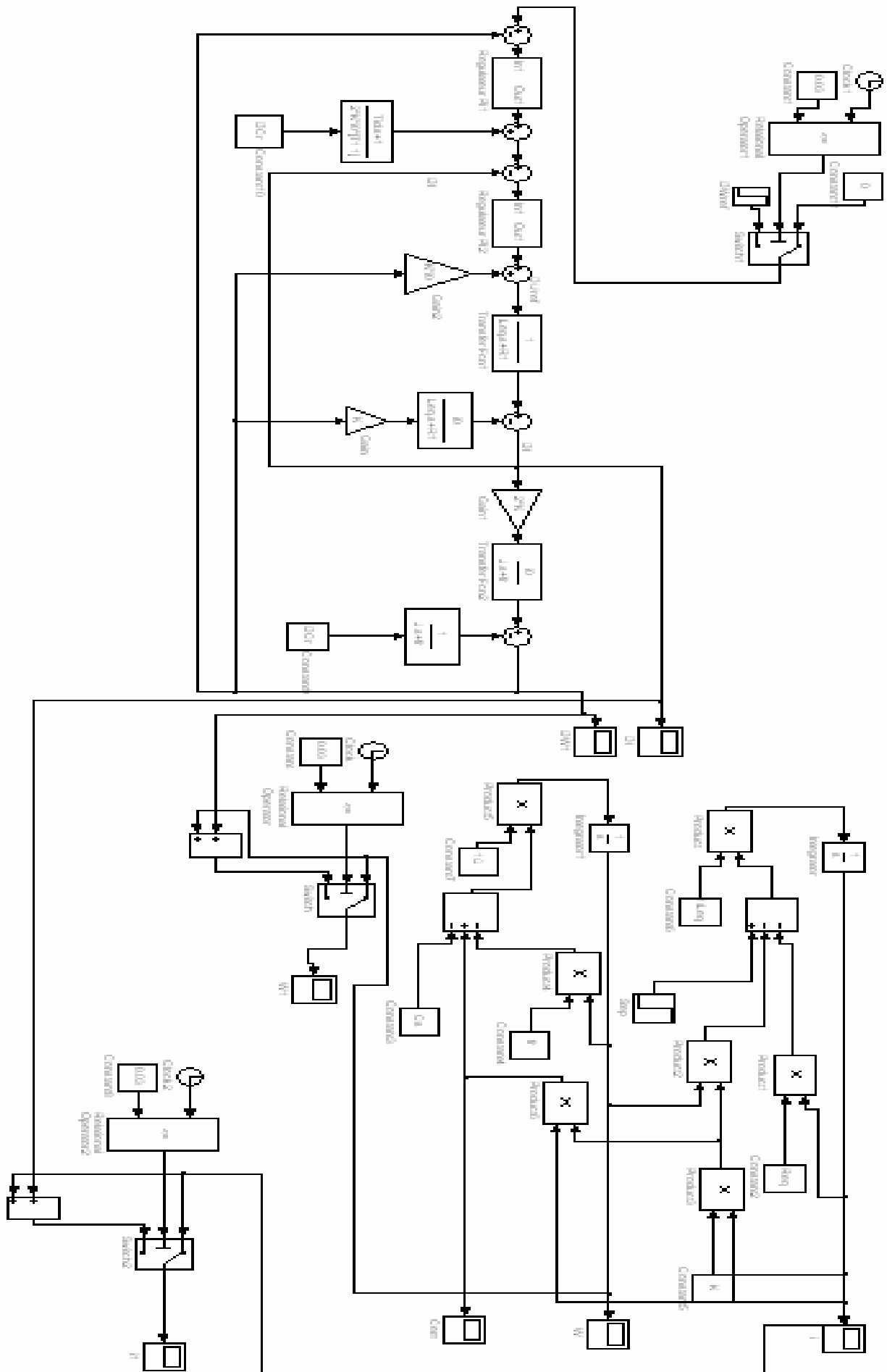
L'allure de  $\Delta W$  est :



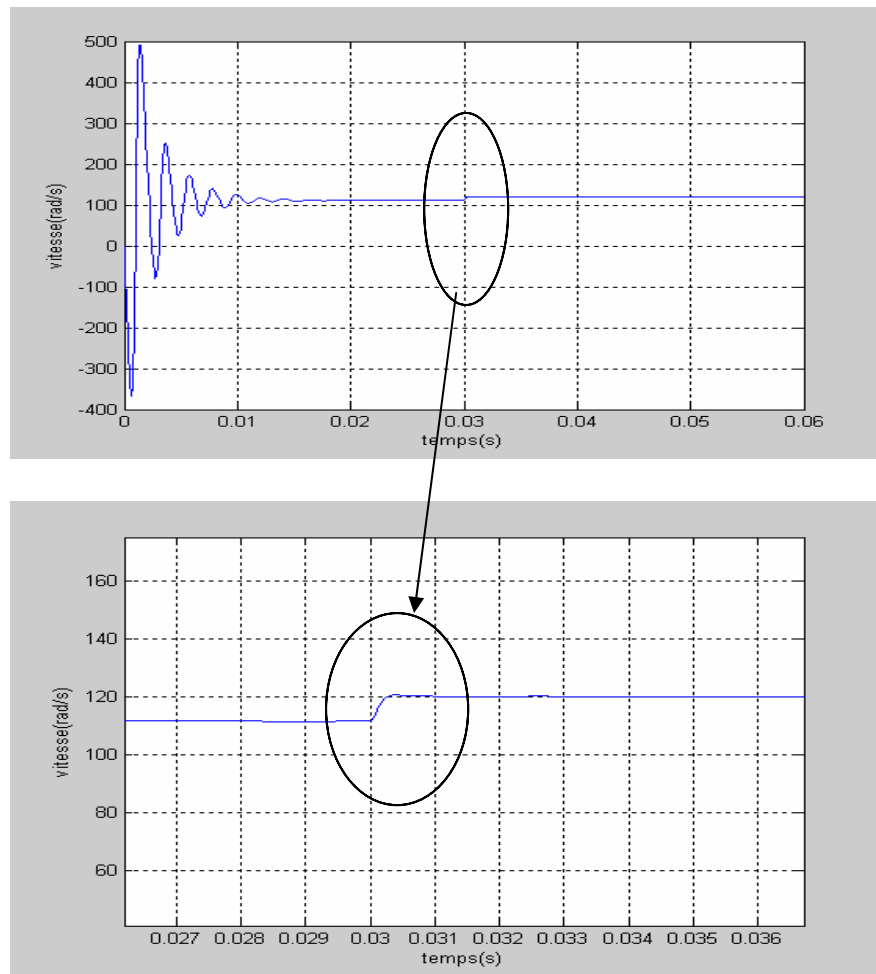
**IV-10.commande du moteur:**

Le data de simulation est :

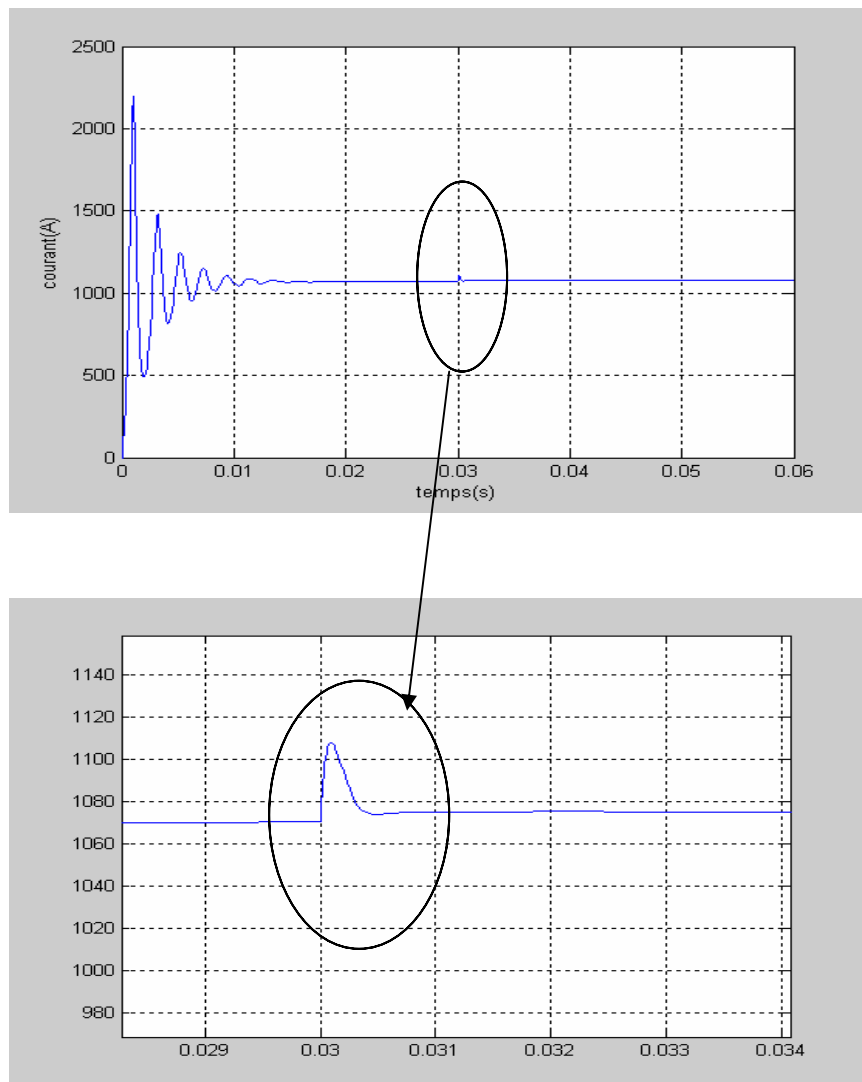
```
Leq=0.0009;  
Req=0.00951;  
fr=0.011;  
Cr0=7100;  
DCr=70;  
J=0.01;K=0.0062  
Tid=0.0006  
W0=100;  
i0=1150;  
U0=750;  
R1=Req+K*W0;  
T1=Leq/R1;  
T2=Tid/R1;T3=J/fr;  
T4=4*K*Tid*i0/fr;  
Cs=7100 ;
```



L'allure de vitesse est suivant :



La variation du courant est représentée sur les figures suivantes:



### Conclusion:

Dans ce chapitre on a modélisé le moteur choisi, et comme l'on a vu ; c'est un modèle non linéaire, pour cela on ait obligé de linéariser ce modèle autour d'un point de fonctionnement pour la commande. On a aussi dimensionné les régulateurs de courant et de vitesse, et simulé le pont redresseur PD3 à thyristor ainsi que la simulation de thyristor avec le moteur CC.

## **Conclusion générale :**

**Ce travail concerne le choix rationnel des moteurs électriques utilisés dans les chantiers de forage.**

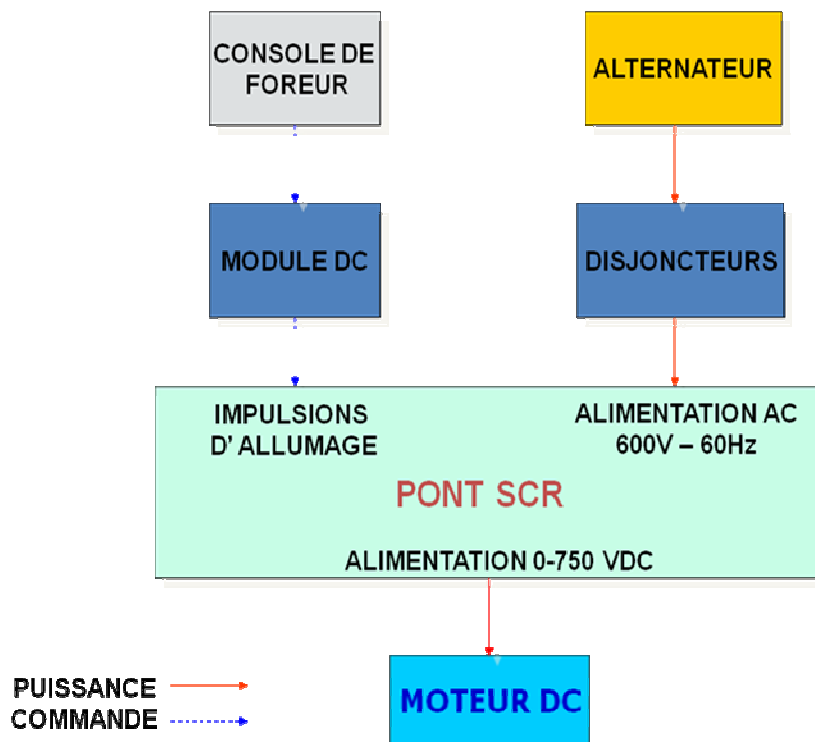
**Nous avons commencé par une description générale sur le chantier de forage, où on a examiné les caractéristiques mécaniques des différentes machines de production (treuil, table de rotation et la pompe à boue).**

**Nous avons ensuite élaboré un guide de choix des moteurs électriques pour l'entraînement de ces machines, et on a choisi un moteur à courant continu à excitation série.**

**Nous avons aussi considéré un cas d'application en vérifiant le choix d'un moteur à courant continu à excitation en série qui entraîne le treuil de forage.**

**A cet effet, nous avons procédé au calcul de la puissance et aux choix des différents critères de sélection d'un moteur asynchrone d'entraînement de la garniture de forage pour remplacer le moteur existant, qui est actuellement un moteur à courant continu.**

**Enfin, on a modélisé le moteur choisi, et comme l'on a vu ; c'est un modèle non linéaire, pour cela on a été obligé de linéariser ce modèle autour d'un point de fonctionnement pour la commande. On a aussi dimensionné les régulateurs de courant et de vitesse, et simulé le modèle du moteur et le pont redresseur PD3.**



SCHEMA DE PRINCIPE DU SYSTEME

### LE PONT SCR:

le pont SCR possède six SCR sont désigné pour redresser le courant alternatif à un courant continu.

### LE SCR:

Le SCR (Silicon Controlled Rectifier) (redresseur commandé au silicium) est un élément semi-conducteur possède une anode et une cathode, mais il possède, en plus, une troisième électrode appelée gâchette.

on dit que le SCR est conducteur lorsque:

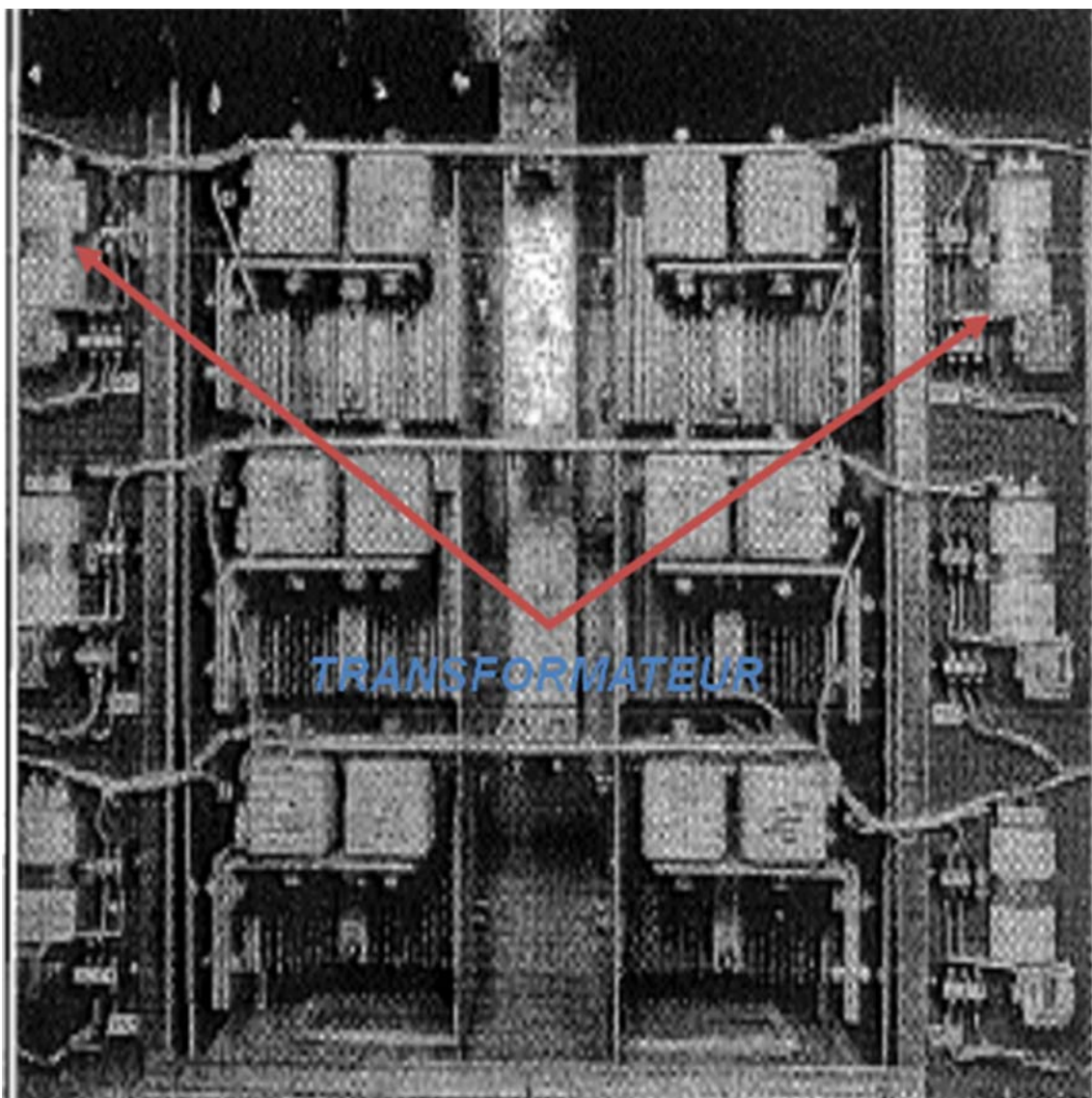
1.l'anode sera positive par rapport à la cathode.

2.la gâchette sera positive par rapport à la cathode.

### Principe de fonctionnement du pont SCR:

Trois phases (A, B, C) alimentent le pont a travers un disjoncteur. Chaque phase AC est connectée a deux SCR. par exemple, la phase A est connectée aux SCR (A+) et (A-). le SCR (A+) alimente la sortie (DC+), alors que le SCR (A-) alimente la sortie DC(-).

Les SCR conduisent s'ils reçoivent des impulsions d'allumage a travers des bornes gâchette et cathode de chaque SCR. Les impulsions d'allumage sont générées dans le DC module.





## **PROTECTION DU PONT SCR:**

### 1. Température excessive de SCR:

Il y a deux capteurs thermiques (TEMP 1, TEMP 2) montés sur (DC+) et (DC-), leurs contacts sont en série avec le circuit de déclenchement (UV) s'ouvrent quand la température des puits thermiques dépassent 195°F (91°C).

### 2. Fusible de SCR:

La protection par fusible Du SCR est appliqué par deux fusibles de 600 A montés en parallèle appelés (les breacketeurs). Le circuit de déclenchement (UV) est câblé a travers des microrupteurs indicateurs des fusibles sautés.

### 3. Arrêt d'urgence:

Le circuit de déclenchement (UV) est aussi activé par le bouton-poussoir d'arrêt d'urgence normalement fermé sur la console du forage.

### 4. Filtre RC:

Le filtre RC (une résistance de 25  $\Omega$  et une capacité de 1 micro F) est destiné à réduire le taux de changement de tension (dv/dt) à travers le thyristor.

### 5. Filtre L:

Une bobine est utilisé pour chaque thyristor pour réduire le taux de changement de courant (di/dt) à travers le thyristor.

Un (dv/dt) ou (di/dt) excessif peut entraîné un raté ou une défaillance du thyristor.

### 6. Système de ventilation forcée:

Le système de ventilation est composé de deux ou six soufflantes situés sous les pont SCR.

### **Disjoncteur De SCR:**

Le disjoncteur est réellement un interrupteur général. Il est doté d'une bobine de déclenchement de sous-tension (UV) et est automatiquement déclenché en position ouverte si le courant 28 VDC alimentant la bobine est coupé. La borne positive de la bobine est connectée de manière permanente au courant de +14 VDC.

La borne négative est reliée au courant de -14 VDC au moyen de divers contacts au niveau de pont SCR normalement fermés qui signalent les conditions dangereuses.

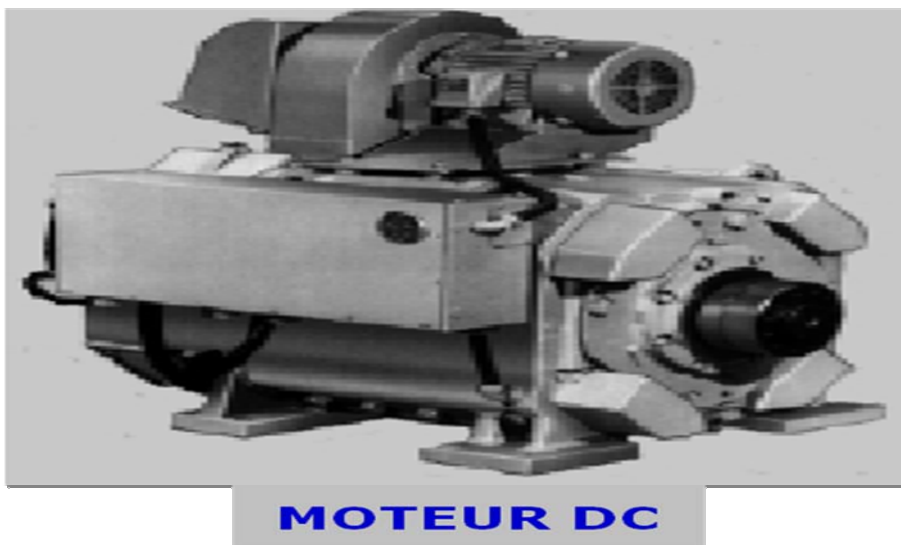
### **DC MODULE:**

Le DC module contient des circuits électroniques pour l'unité SCR. ils peuvent être groupés en trois ensemble:

1. Régulateur DC
2. Circuit d'allumage de SCR
3. Frein dynamique du treuil de forage

### **MOTEUR DC:**

La vitesse de moteur DC est facile et rapide a commander, c'est pour cette raison il est utilisé dans les travaux comme traction, levage, serrage et desserrage ....etc.



**ALTERNATEUR:**

L'alternateur est la source principale de l'énergie électrique alternatif triphasé qui alimente les moteurs DC des machines de forage a travers le pont SCR avec une tension de 600V et 60 Hz.

**Groupe Electrogène****Alternateur**

## **Régulation de vitesse des moteurs DC**

- INTRODUCTION
- La salle SCR
- Le DC module
- CIRCUIT DE REGULATION DC

### **INTRODUCTION**

L'énergie électrique est plus important dans les chantiers

-Dans nos chantiers nous utilisons les moteurs DC pour des raisons sont:

Les moteurs DC ont de couple moteur important

Ils ont des vitesses variables à travers le pont de redressement

La nécessité de l'énergie DC impose l'utilisation de pont de redressement (SCR)

Le pont SCR à 6 thyristors commandé par les impulsions des gâchettes pour la variation de vitesse

### **Le système SCR**

Le système **SCR** permet d'obtenir une conversion de la tension alternative en une tension continue variable. Le système permet d'ajuster la puissance AC produite par les alternateurs et délivrer une puissance DC continue pour les moteurs de traction.



### ■ CIRCUIT DE REGULATION DC

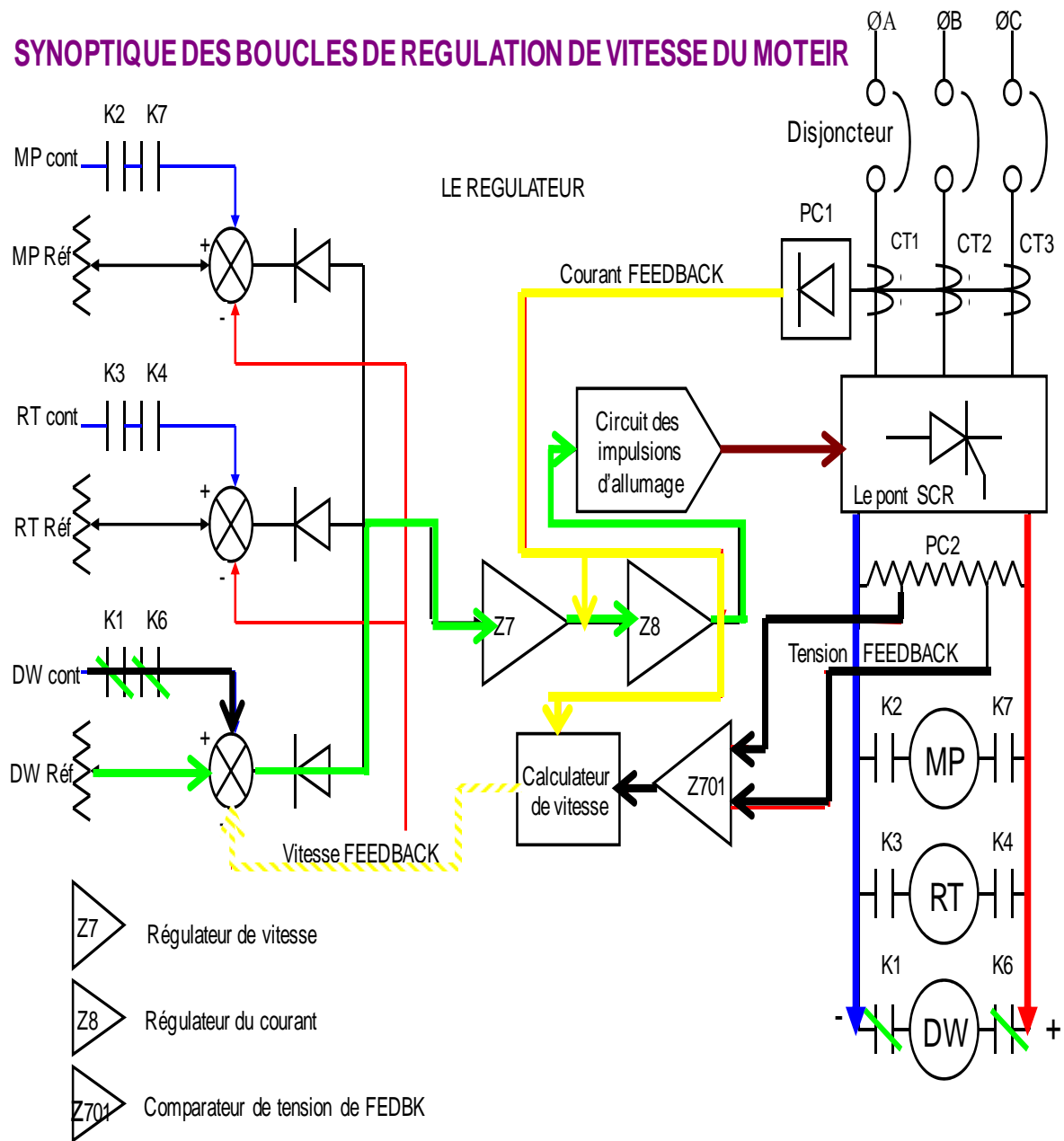
Le régulateur c'est un circuit de contrôle de réinjection lequel assorti automatiquement la vitesse et le couple du moteur à partir du dispositif de commande de la console de forage. Le circuit du régulateur est représenté dans la figure 1.

La sortie du régulateur est une référence d'allumage destinée pour les circuits d'allumage. Les entrés du circuit consistent en :

la référence de vitesse, contre-réaction de courant et vitesse.

Le régulateur consiste en deux boucles, une tension de sortie (vitesse) et une intensité d'entrée (couple). La vitesse de référence à partir de la console de contrôle est additionnée avec le signal de vitesse de contre-réaction afin de dériver un courant de commande, lequel est additionné avec le signal du courant de contre-réaction pour obtenir à la fin la référence d'allumage.

**SYNOPTIQUE DES BOUCLES DE REGULATION DE VITESSE DU MOTEIR**



Référence de vitesse :

Ce signal est originaire de console de contrôle. Cette dernière est équipée de volants manuels avec lesquels l'opérateur peut le faire tourner dans le sens des aiguilles d'une montre afin de contrôler les moteurs de traction. Chaque volant est lié par une tringle à un rhéostat dont sa sortie représente le signal de référence de vitesse (0÷-8.2) Volts.

Le régulateur peut recevoir la référence de la vitesse de plusieurs endroits .par exemple, la référence du treuil peut provenir soit de la console de forage soit de la pédale de commande.

Contre-réaction de la vitesse :

Ce signal est analogue à celui de la vitesse du moteur il se situe entre (0 ÷ +5) Volts pour une vitesse maximale. Ce signal est désigné par le symbole « N ».

Dans les moteurs à excitation « série », la vitesse est fonction de la tension de l'armature, divisée par le flux magnétique. Ce flux en tournant est fonction de l'intensité de l'armature. Par conséquent, le signal « N » est dérivé par la division du signal de contre-réaction de la tension avec le profil du signal du courant de contre-réaction au niveau de (Z701).

Courant de contre-réaction :

Celui-ci est analogue au couple du moteur, puisque ce dernier est directement proportionnel à l'intensité de l'armature. Il est dérivé par les entrées prescrites triphasées du pont de SCR.

# BIBLIOGRAPHIE



1. DOCUMENTS DU CENTRE DE FORMATION DE L'E.N.A.FOR

**KHALED HOUMIA**

2. ELECTROTECHNIQUE GENERALE

**A.BLAJKINE ET COLI.**

3. ELECTROTECHNIQUE

**THEODORE WILDI.**

4. MEMOTECH

**R. BOURGEOIS D.COGNIEL.**

5. SITES INTERNET:

[www.technomcc.com](http://www.technomcc.com)

6. LES CONVERTISSEURS DE L'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

(LA CONVERSION CONTINU-ALTERNATIF)

**FRANCIS LABRIQUE et GUY SEGUIER , ROBERT BAUSIERE.**

7. TECHNIQUE DE L'INGINEUR.

8. COURES DE COMMANDE DES MACHINES ELECTRIQUES

9. CATALOGUE DU CHOIX DES MOTEURS

**BROOK CROMPTON.**

---