



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des Sciences et Technologies  
Département d'Automatique et Electromécanique

N° d'ordre :  
N° de série :

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Domaine:** *Sciences et Technologies*  
**Filière :** **Electromécanique**  
**Spécialité :** **Maintenance Industrielle**

**Par:** Karim GUERRIDA  
Brahim SIRADJ

## **Thème**

**Etude d'une Machine à Courant  
Continu Maintenance, Entretien et Contrôle**

**Soutenu publiquement le : 25/06/2019**

**Devant le jury :**

<b>Mr. Kifouche abdesalem</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Mm. Bouchelga Fatma</b>	MAB	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Mr. Medoukali Hamza</b>	MAB	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>
<b>Mr. Djellouli Taher</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. Allali Mohamed</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire 2018/2019**

# REMERCIERMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH, le  
tout puissant.

Je tiens à exprimer ma grande gratitude envers mon  
encadreur Mr. DJELOULI Tahar qui m'a apporté  
son aide et ses valeureux conseils pour  
l'accomplissement et le suivi de ce travail.

Je remercie également les

Membres de jury pour avoir examiné ce travail

Et je présente mes sincères remerciements à tout le  
personnel qui m'a aidé à la Réalisation de ce travail

# *Dédicaces*

*On dédie ce travail :*

*A nos chers parents Pour leur soutien, leur patience, et leur sacrifice,  
vous méritez*

*tout éloge on espère être l'image que vous êtes fait de nous, que dieu  
vous garde et vous bénisse .*

*On dédie aussi ce travail à nos cher frères et sœurs, et Rayan et Serin  
,Mounir et Hiba Pour leur affection et leur encouragement qui ont  
toujours*

*Été pour nous des plus précieux.*

*Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour.*

*A tous la famille Siradj*

*A tous nos amis*

*A tous nos Collègues*

*A tous ceux qui nous ont aidé*

*Brahim siradj*

# *Dédicaces*

*On dédie ce travail :*

*A nos chers parents Pour leur soutien, leur patience, et leur sacrifice,  
vous méritez*

*tout éloge on espère être l'image que vous êtes fait de nous, que dieu  
vous garde et vous bénisse .*

*On dédie aussi ce travail à nos cher frères et sœurs, Pour leur affection  
et leur encouragement qui ont toujours*

*Été pour nous des plus précieux.*

*Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour.*

*A tous la famille Guerrida*

*A tous nos amis*

*A tous nos Collègues*

*A tous ceux qui nous ont aidé*

*Guerrida karim*

# Liste des figures

<b>Figure (I .1) :</b> Arbre des différentes familles des machines électriques .....	5
<b>Figure (I .2) :</b> Fonctionnement d'une machine à courant continu .....	6
<b>Figure (I .3) :</b> L'inducteur à aimants permanents .....	7
<b>Figure (I .4) :</b> L'inducteur à enroulements et pièces polaires (bobinée) .....	7
<b>Figure (I .5) :</b> Induit d'une petite machine à courant continu.....	8
<b>Figure (I .6) :</b> Collecteur (a) / porte balais d'un machine à courant continu (b) .....	8
<b>Figure (I .7) :</b> Ensemble porte-balais .....	9
<b>Figure (I .8) :</b> Moteur à cc à aimant permanent .....	10
<b>Figure (I .9) :</b> Système balais-collecteurs .....	10
<b>Figure (I .10) :</b> Exemple d'une plaque signalétique .....	11
<b>Figure (I .11) :</b> Schéma équivalent d'un moteur à excitation parallèle .....	12
<b>Figure (I .12) :</b> Schéma équivalent d'un moteur à excitation en série.....	13
<b>Figure (I .13) :</b> Inducteur et induite d'un moteur à excitation séparée .....	15
<b>Figure (I .14) :</b> Rotor et stator d'un moteur à aimants permanents .....	16
<b>Figure (I.15) :</b> Bilan de la puissance.....	18
<b>Figure (II.1) :</b> Diagramme les différents types de maintenance .....	23
<b>Figure (II.2) :</b> Types Défauts des lames de collecteurs .....	32
<b>Figure (II.3) :</b> Vérifier Collecteurs et bagues .....	32
<b>Figure (II.4) :</b> Déférant brûlures collecteurs.....	36
<b>Figure (II.5) :</b> Particuliers types de taches .....	37
<b>Figure (II.6) :</b> Aspects particuliers de certains types de taches.....	37
<b>Figure (II.7):</b> Usures de lames de collecteurs .....	38
<b>Figure (II.8) :</b> Rodage des balais .....	39
<b>Figure (II.9) :</b> Rodage des balais(2) .....	40
<b>Figure (III.1) :</b> Schéma électrique d'une MCC à excitation séparée .....	44

<b>Figure (III.2) : Schéma fonctionnel du moteur CC avec charge</b> .....	45
<b>Figure (III.3) : Schéma bloc d'un système avec correcteur (Boucle fermée)</b> .....	47
<b>Figure (III.4) : Entrée et sortie du régulateur (P)</b> .....	48
<b>Figure (III.5) : Echelon unitaire</b> .....	49
<b>Figure (III.6) : Schéma bloc du régulateur PI</b> .....	51
<b>Figure (III.7): Symbole de correcteur PID</b> .....	52
<b>Figure (III.8): Schéma bloc du régulateur PID</b> .....	54
<b>Figure (III.9) : Couple de moteur (cm)</b> .....	55
<b>Figure (III.10) : Courant (id)</b> .....	55
<b>Figure (III.11) : Réponse du moteur (vitesse)</b> .....	56
<b>Figure (III.12) : Couple de moteur (cm) en charge</b> .....	56
<b>Figure (III.13) : Courant (id) en charge</b> .....	57
<b>Figure (III.14) : Réponse du moteur (vitesse) en charge</b> .....	57

# Liste des tableaux

<b>Tableau (I.1) : Propriétés et Utilisations Le moteur shunt .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau (1.2) : Propriété et utilisation de moteur série .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau (1.3) : Propriété et utilisation de moteur séparée.....</b>	<b>16</b>
<b>Tableau (II .1) : Maintenance programmée .....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau( II .2) : Différentes incidents de fonctionnement .....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau (II .3) : Quelques types de graisse pour conditions normales .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau (II .4) : Indices de commutation.....</b>	<b>33</b>
<b>Tableau (II .5) : Types de patine .....</b>	<b>34</b>
<b>Tableau. (III.1) : Récapitulatif des paramètres PID .....</b>	<b>53</b>

# Notations

<b>K</b>	constant de moteur
<b>P</b>	nombre de pair de pôles de la machine.
<b>N</b>	nombre de conducteurs actifs de la périphérie de l'induit.
<b>A</b>	nombre de paires de voies de l'enroulement entre les deux balais.
<b>n</b>	fréquence de rotation de l'induit [ t/s]
<b><math>\Phi</math></b>	flux sous un pôle de la machine en Webers
<b><math>\Omega</math></b>	vitesse
<b>Pa</b>	Puissance absorbée
<b>Pu</b>	Puissance utile
<b>Pém</b>	Puissance électromagnétique
<b>Pjs</b>	Pertes par effet joule dans l'inducteur
<b>Pjr</b>	Pertes par effet joule dans l'induit
<b>Pc</b>	Pertes fer + pertes mécaniques : dites pertes constantes
<b><math>\emptyset</math></b>	Flux inducteur en Webers [Wb]
<b>I</b>	Courant absorbé en ampères [A]
<b>C</b>	Couple moteur en mètres Newtons [Nm]
<b>Kp</b>	constant de régulateur P
<b>Ki</b>	constant de régulateur i
<b>Kd</b>	constant de régulateur d
<b>Mcc</b>	Moteur à courant continu



# Sommaire

<b>REMERCIERMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>II</b>
<b>Dédicaces.....</b>	<b>III</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>IV</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>VI</b>
<b>Notations .....</b>	<b>VII</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>13</b>
Introduction générale .....	2
<b>CHAPITRE I GENERALITES SUR LES MACHINES A COURANT CONTINU .....</b>	<b>4</b>
I.1.Introduction .....	5
I.2. Types des machines électriques.....	5
I.3 Définition.....	6
I.4. Constitution .....	6
I.4.1 L'inducteur .....	6
I.4.2 L'induit .....	7
I.4.3 Collecteur et les porte balais.....	8
1.4.4 Ensemble porte-balais .....	9
I.5 Principe de fonctionnement .....	9
I.7 Inversion de sens de rotation .....	11
I.8 Dimensionnement d'un moteur à courant continu .....	11
I.9 Différents types de moteur à courant continu.....	12
I.9.1 Moteur à excitation parallèle (ou shunt).....	12
I.9.2 Moteur à excitation en série .....	13
I.9.3 Moteur à excitation séparée .....	15

I.9.4 Moteur à aimant permanent.....	16
I.11 Avantage / inconvénients du moteur courant continu .....	17
I.12 Bilan de la puissance et rendement .....	18
I.12.1 Rendement.....	18
I.13 Conclusion.....	19

## **CHAPITRE II DEFECTS ET MAINTENANCE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU**

II.1 Introduction .....	21
II.2 Définition de la maintenance .....	21
II.3 Fonctions de la maintenance .....	22
II.4 Différents types de maintenance .....	23
II.4.1 Maintenance (Entretien) préventive .....	23
II.4.2 Maintenance préventive systématique .....	24
II.4.2 Maintenance préventive conditionnelle .....	27
II.4.3 Maintenance prévisionnelle (prédictive).....	27
II.4.4 Maintenance corrective .....	27
II.5 Incidents de fonctionnement .....	28
II.5.1 Programmes de lubrification .....	29
II.5.2 Lubrification– Instructions spécifiques.....	29
II.5.3 Remplacement total de la graisse .....	30
II.5.4 Remplacement des roulements.....	30
II.5.5 Filtre à air .....	30
II.6 Dispositif de contrôle pour absence de ventilation .....	30
II.7 Contrôle d'un collecteur.....	31
II.8 Défauts des lames de collecteurs .....	31
II.9 Vérifier Collecteurs et bagues .....	32
II.10 Contrôles en fonctionnement .....	33
II.11 Aspects de patine.....	33

II.12 Brûlures .....	36
II.13 Tache .....	36
II.14 Usures de lames de collecteurs .....	37
II.15 Recommandations pour la mise en place des balais .....	38
II.16 Mesures et contrôles à l'arrêt .....	39
II.16.1 Machine Electrique .....	39
II.16.2 Porte-Balais Et Balais .....	39
II.16.3 Collecteur / Bagues Collectrices .....	41
II.16.4 Examen des lames de collecteurs .....	42
II.17 Conclusion.....	42
<b>CHAPITRE III    COMMANDE D'UN MOTEUR A COURANT CONTINU.....</b>	<b>43</b>
III.1 Introduction.....	44
III.2 Modélisation d'un MCC .....	44
III.3 Fonction de transfert équation .....	44
III.4 Schéma fonctionnel du moteur CC avec charge.....	45
III.5 Définition les régulateurs PID .....	47
III.6 Actions du Régulateur PID .....	48
III.6.1 Action Proportionnelle(P).....	48
III.6.1.1 Effets du correcteur proportionnel .....	48
III.6.2 Action intégrale (I).....	49
III.6.2.1 Effets du correcteur intégral .....	49
III.6.3 Action dérivée (D) .....	50
III.6.3.1 Effets du correcteur dérivé.....	50
III.6.3.2 Effets du correcteur proportionnel-Intégral .....	51
III.7 Différentes structures d'un PID .....	52
III.8 Résumé sur l'action des paramètres (coefficients) .....	53
III.9 Réglage des Paramètres .....	53

III.10 Simulation du model de la machine sur Matlab .....	53
III.11 Simulation De La Commande Avec Régulateur (PID) .....	54
III.12 Présentation des résultats de simulation .....	55
III.13 Conclusion .....	59
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>60</b>
Conclusion Générale.....	60
<b>BIBLIOGRAPHIES .....</b>	<b>62</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

### Introduction générale

L'évolution des technologies conduit à l'utilisation des machines nécessitant des vitesses de rotation précises et variables pour l'entraînement d'engins industriels, systèmes robotique...etc. Les moteurs à courant continu (MCC) ont pendant longtemps été les seuls aptes à la vitesse variable à large bande passante, comme dans le domaine robotique. Ils ont donc fait l'objet de nombreuses améliorations, et beaucoup de produits commercialisés aujourd'hui, ils sont très utilisés dans plusieurs domaines tel que : automobile (ventilation, levés électriques), les sous-marins et dans l'électroménager en remplacement des dynamos à courant continu qui ont été les premiers convertisseurs électromécaniques utilisés, (l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique), (elle peut se comporter comme un frein). Dans le secteur industriel, qui emploie l'utilisation du MCC, ces termes sont utilisés avec des moteurs à vitesse de rotation variable [1].

Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique ; selon la source d'énergie:

-En fonctionnement moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.

-En fonctionnement générateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique

L'avantage principal des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

La commutation du moteur à balais nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de pièces mécaniques pour faire la liaison par frottement entre les charbons et le collecteur. Il en découle que :

- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important ;
- Aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement ;
- le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique

- La température est limitée au niveau du collecteur par l'alliage utilisé pour braser les conducteurs du rotor aux lames du collecteur. Un alliage à base d'argent doit être utilisé lorsque la température de fonctionnement dépasse la température de fusion de l'alliage classique à base d'étain [2].

Aujourd'hui, les moteurs à courant continu, qui sont par nature des machines à vitesse variable, sont très utilisés. Aussi, les progrès extraordinaires accomplis durant ces dernières années dans le domaine des semi-conducteurs de puissance rendent leur commande de plus en plus performante.

Dans ce mémoire, nous allons effectuer une étude d'un moteur à courant continu qui sera organisée comme suit:

- ✓ Dans le premier chapitre, des généralités sur la machine à courant continu seront présentées, elles contiennent sa constitution, son principe de fonctionnement. ses différents types ses avantages et ses inconvénients, et son domaine d'utilisation.
  - ✓ Dans le deuxième chapitre nous allons citer les différents types de maintenance, Les fonctions de la maintenance après avoir connu les défauts du moteur à CC, leur entretien (lubrification, graissage et contrôle) et maintenance et finalement un petit résumé sur l'essentiel de la maintenance du MCC.
  - ✓ Le dernier chapitre est consacré à la modélisation et la commande du MCC, le réglage de sa vitesse se fait par les régulateurs classiques PID, en contrôlant le courant et le couple. Ce control du MCC est validé par la simulation en utilisant le logiciel Matlab/simulink.
- Ce travail va être clôturé par une conclusion générale.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITES SUR LES**  
**MACHINES A COURANT**  
**CONTINU**



## I.1.Introduction

Les moteurs à courant continu sont très utilisés dans les systèmes automatiques qui nécessitent une grande plage de variation précise de la vitesse de rotation, puisque ces moteurs possèdent un découplage naturel ce qui permet d'avoir un réglage simple à sa vitesse. Dans ce chapitre, on va présenter des généralités sur les machines électriques, notamment le moteur à courant continu : la constitution, le principe de fonctionnement, les différents types d'excitations et les caractéristiques. Il s'agit d'établir aussi le domaine d'application vue à la souplesse de variation de sa vitesse en exposant les avantages et les inconvénients de ce type de moteur.

## I.2. Types des machines électriques

On distingue deux grandes catégories de machines électriques :

Les machines à courant continu, ou machines DC (du terme Anglais direct current), et les machines à courant alternatif, ou machines AC (alternative current).

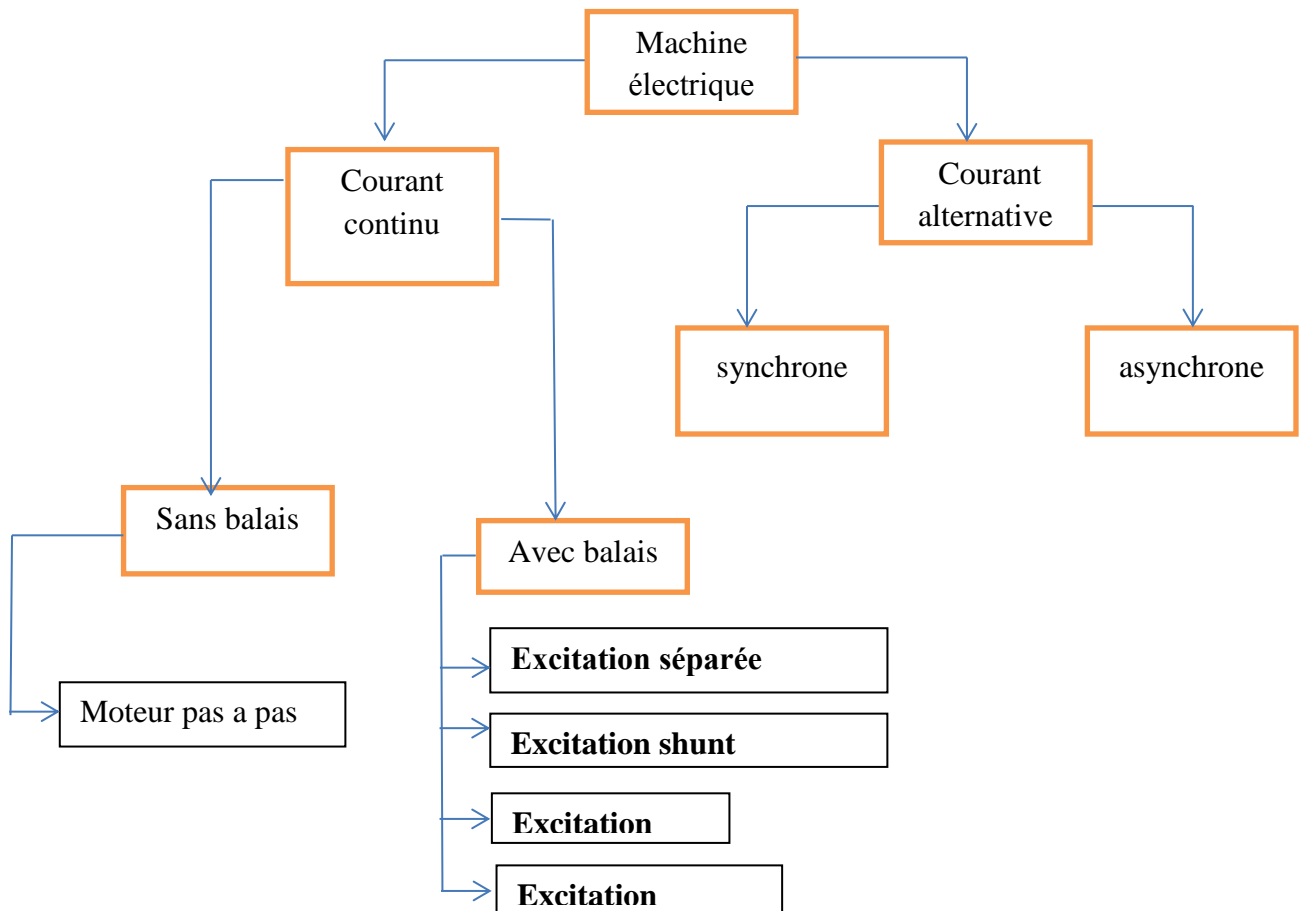
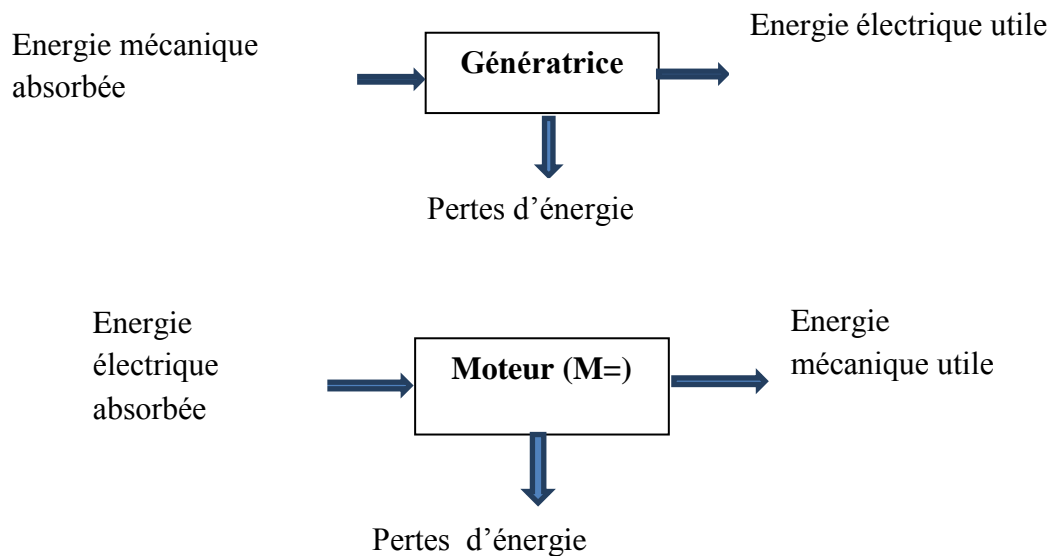


Figure (I.1) : Arbre des différentes familles des machines électriques

### I.3 Définition

Les machines à courant continu sont des convertisseurs électromécaniques d'énergie : Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur. Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînant. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en génératrice [1].



**Figure (I .2) :** Fonctionnement d'une machine à courant continu

### I.4. Constitution

La machine à courant continu est constituée de trois parties principales :

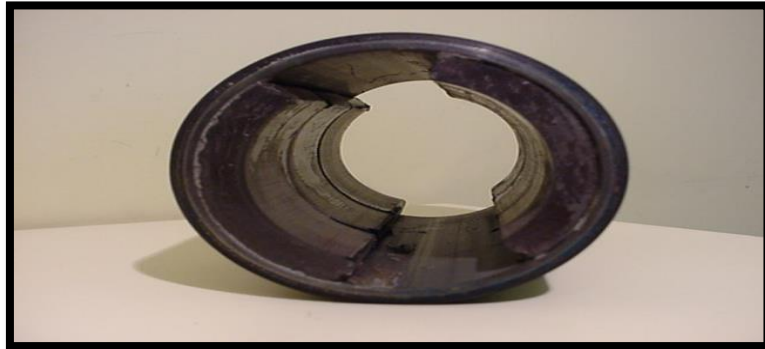
- l'inducteur (stator)
- l'induit (rotor)
- le dispositif collecteur / balais

#### I.4.1 L'inducteur

L'inducteur peut être à aimants permanents ou bobiné.

Le premier type (à aimants permanents) se rencontre dans la plupart des servomoteurs utilisés pour les asservissements de petite puissance (inférieure à 5 kW), comme les robots, les mouvements d'axe (table traçante...). Ce choix conduit à des machines compactes, de très

bon rendement, et surtout faciles à modéliser, donc à asservir, comme un servomoteur d'imprimante par exemple [3].



**Figure (I.3) :** L'inducteur à aimants permanents [3]

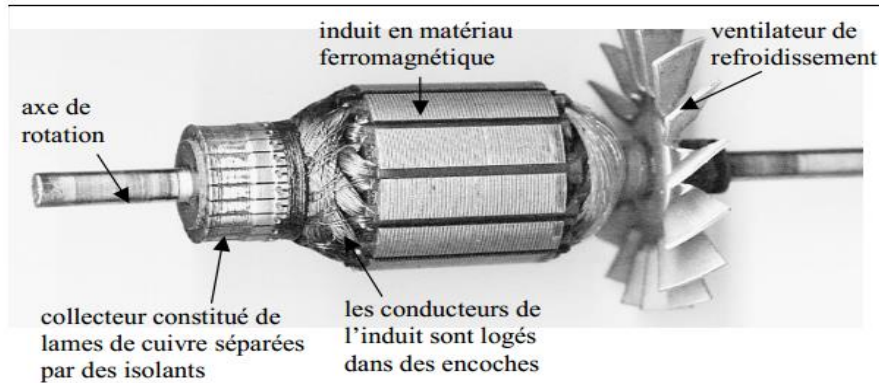
La structure bobinée offre la possibilité de fonctionner en survitesse, sur une large plage, ce qui permet de sous-dimensionner le moteur. Son domaine d'application est encore très large parmi la traction électrique (locomotives et voitures) et les asservissements de grande puissance (laminoirs...).



**Figure (I.4) :** L'inducteur à enroulements et pièces polaires (bobinée) [3]

#### I.4.2 L'induit

L'induit est composé d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un noyau cylindrique. Il est monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur. L'induit constitue un ensemble de conducteurs qui coupent les lignes de champ magnétique. Les bobines sont disposées de telle façon que leurs deux côtés coupent respectivement le flux provenant d'un pôle nord et d'un pôle sud de l'inducteur [3].



**Figure (I.5) :** Induit d'une petite machine à courant continu

### I.4.3 Collecteur et les porte balais

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités. Du bobinage de l'induit.

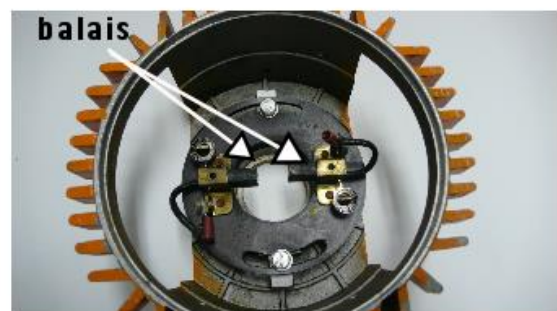
Le collecteur a pour fonction d'assurer la commutation du courant d'alimentation dans les conducteurs de l'induit.

Il est le constituant critique des machines à courant continu car ses lames sont soumises aux efforts centrifuges et assemblées manuellement [3].

Le dispositif collecteur / balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit [3].



**(a)**



**(b)**

**Figure (I.6) :** collecteur (a) / porte balais d'un machine à courant continu (b)

#### 1.4.4 Ensemble porte-balais

L'ensemble porte-balais est assemblé au plateau-palier et isolé par une bague en plastique renforcée en fibre de verre. Les porte-balais contiennent des doigts de pression rappelés par ressort.

Il est facile de faire tourner l'ensemble porte-balais quand un changement de balais devient nécessaire.

Les balais sont fixés sur la carcasse. Ces blocs de carbone (charbons) frottent sur le collecteur en assurant un bon contact électrique.

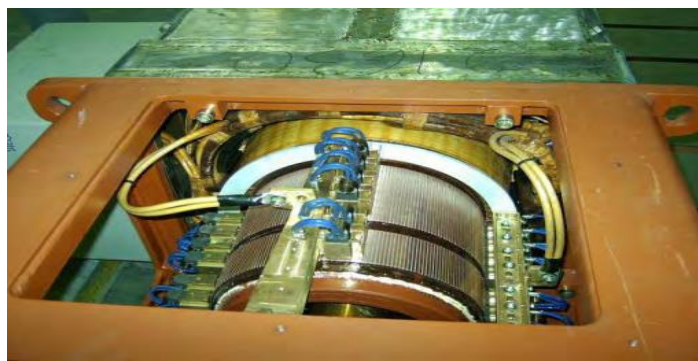


Figure (I .7) : Ensemble porte-balais

#### I.5 Principe de fonctionnement

Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent (comme la figure ci-dessous), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud. Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs. D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces  $F$  égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner [4].

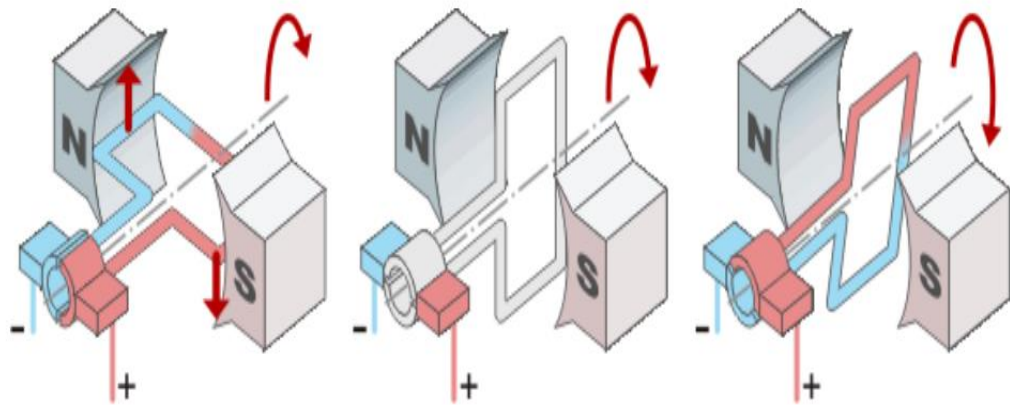


Figure (I.8) : Moteur à cc à aimant permanent [4]

Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre". Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire [4].

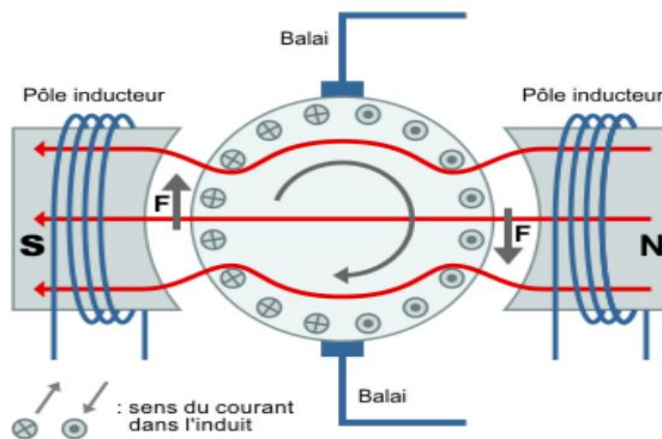


Figure (I.9) : Système balais-collecteurs [4]

### I.6 Force contre électromotrice

Elle est donnée par la relation d'électrotechnique :

La force électromotrice (E) est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur). Elle dépend des éléments de construction de la machine.

$$E = \frac{P}{a} N \cdot n \cdot \Phi \quad (\text{I. 1})$$

$$E = K \cdot \Omega \cdot \Phi \quad (\text{I. 2})$$

Avec :

$$K = P/2\pi a \cdot N \quad (\text{I. 3})$$

### I.7 Inversion de sens de rotation

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu :

Soit inverser le sens du courant d'excitation (inverser le sens de rotation par le changement de la polarité).

### I.8 Dimensionnement d'un moteur à courant continu

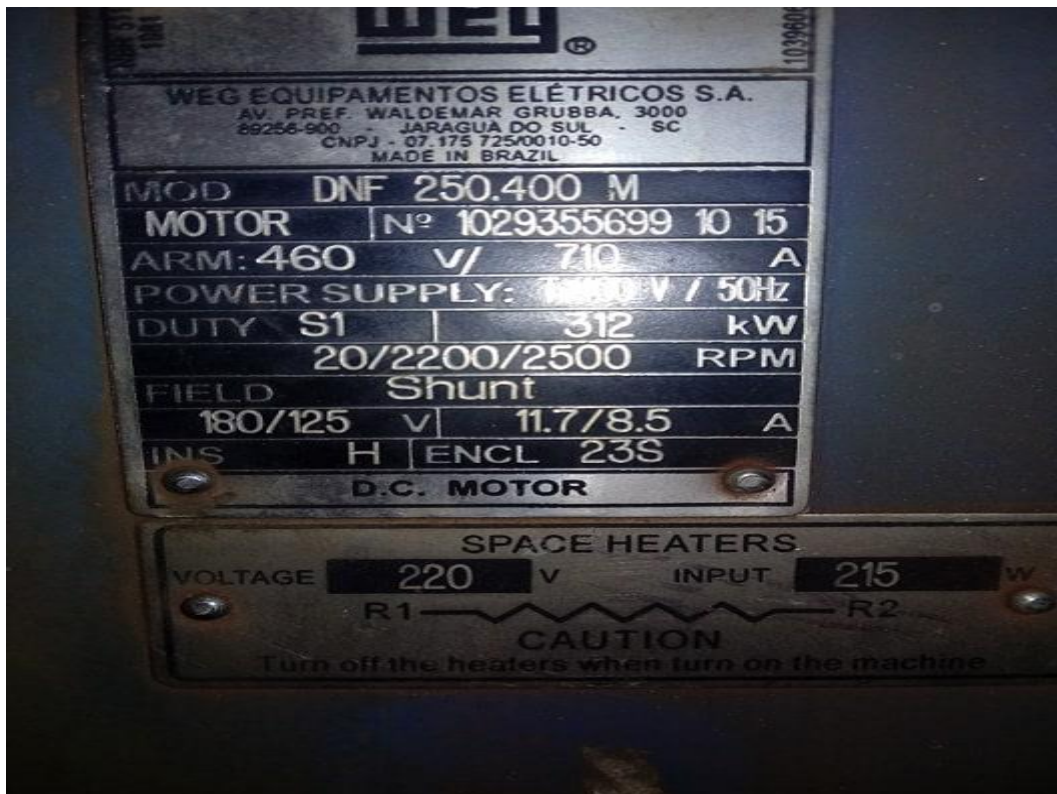


Figure (I.10) : Exemple d'une plaque signalétique

Série de moteur : 1029355699 10 15

ARM : alimentation voltage 460V / 710 A

DUTY: S1 312KW

La Vitesse : 20/2200/2500 RPM

Ofield : types de moteur à courant continu

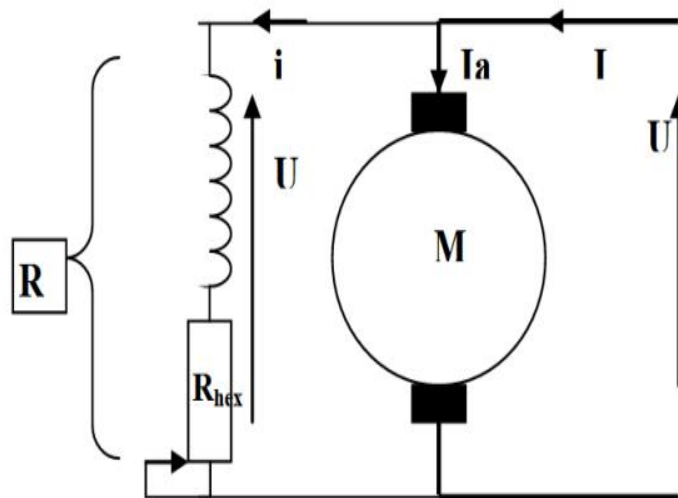
L'alimentation Le moteur à excitation parallèle 180/125 V et 11.7/8.5 A

Résistance friable  $R_{hex}$

## I.9 Différents types de moteur à courant continu

### I.9.1 Moteur à excitation parallèle (ou shunt)

Le moteur à excitation dérivée ou shunt est composé de deux enroulements : un enroulement autour du stator et un autour du rotor. Ils sont connectés en parallèle et sont donc parcourus par des courants d'amplitudes différentes [5].



**Figure (I .11) :** Schéma équivalent d'un moteur à excitation parallèle

Ce moteur présente beaucoup d'avantages. Sa vitesse est sensiblement constante et facile à régler. De plus, il suffit de changer le sens du courant pour changer sa vitesse de rotation.

Ses utilisations sont diverses : machines-outils, appareils de lavage, pompes, ventilateurs, etc...



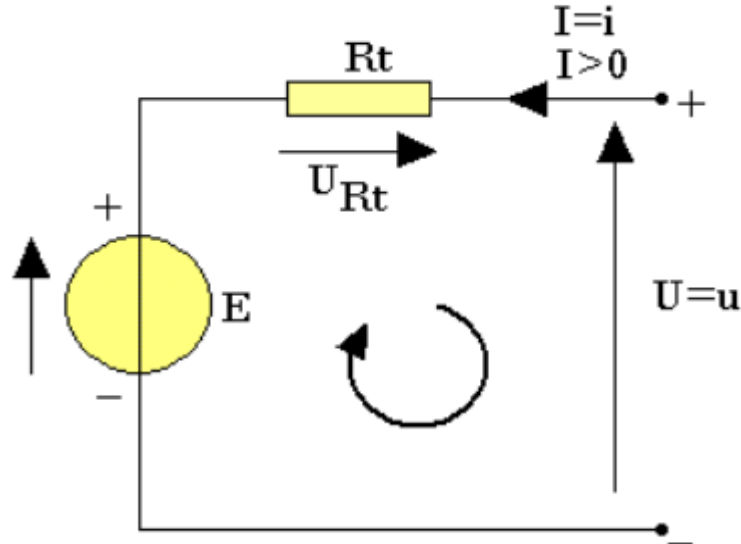
Voici quelques-unes de ses plus importantes propriétés :

- circuit inducteur et induit, alimenté sous la même tension.
- proportionnalité entre f.e.m et vitesse de rotation.
- si U augmente, la vitesse augmente.
- ne jamais couper le courant dans l'induit sinon le moteur s'emballe.
- inversement proportionnelle à la tension dans le circuit induit [5].

**Tableau (I.1) : Propriétés et Utilisations Le moteur shunt**

	Propriétés	Utilisations
MOTEUR SHUNT	-Vitesse sensiblement constante et facile à régler -Degré de stabilité élevé	-Machines-outils, - Pompes, - Ventilateurs, - Appareils de levage

**I.9.2 Moteur à excitation en série**



**Figure (I .12) : Schéma équivalent d'un moteur à excitation en série**

Ce type de moteur est caractérisé par le fait que le stator (inducteur) est raccordé en série avec le rotor (induit), ainsi la même tension traverse le stator et le rotor. Par conséquent, le sens de rotation ne change pas avec le sens du courant; il suffit de brancher le rotor et le stator dans l'autre sens. Et l'induit reçoit une puissance de

$$P_{em} = E \cdot I \tag{I. 4}$$

Maintenant supposons que le flux utile sous un pôle est proportionnel au courant d'excitation I, ainsi

$$\Phi = K \cdot I \tag{I. 5}$$

Avec

De plus. On a donc

$$E = K \cdot I \cdot \Omega \tag{I. 6}$$

avec la vitesse angulaire  $\Omega$

Voyons rapidement la puissance utile  $P_u$  de ce moteur.

On a

$$P_U = P_a - P_j - P_c \tag{I. 7}$$

avec  $P_{abs}$  la puissance absorbée ( $P_a = U \cdot I$ ),  $P_j$  la puissance perdue par effet joule.

$$P_j = R_t \cdot I \tag{I. 8}$$

et  $P_c$  les pertes collectives (pertes fer + pertes mécaniques).

Le principal inconvénient de ce type de moteur est qu'il s'emballe à vide.

Ce type de moteur est utile dans l'électroménager par exemple ou dans les actions de traction ou de levage [5].

**Tableau (1.2) : Propriété et utilisation de moteur série**

	Propriétés	Utilisations
MOTEUR SERIE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesse très variable</li> <li>- S'emballe à vide</li> <li>- Couple de démarrage élevé</li> <li>- Grande vitesse à faible charge</li> <li>- Absorbe très bien les surcharges passagères</li> <li>- Couple indépendant de la tension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traction électrique</li> <li>- Démarreur d'automobile</li> <li>- Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, pompes à piston</li> </ul>

I.9.3 Moteur à excitation séparée

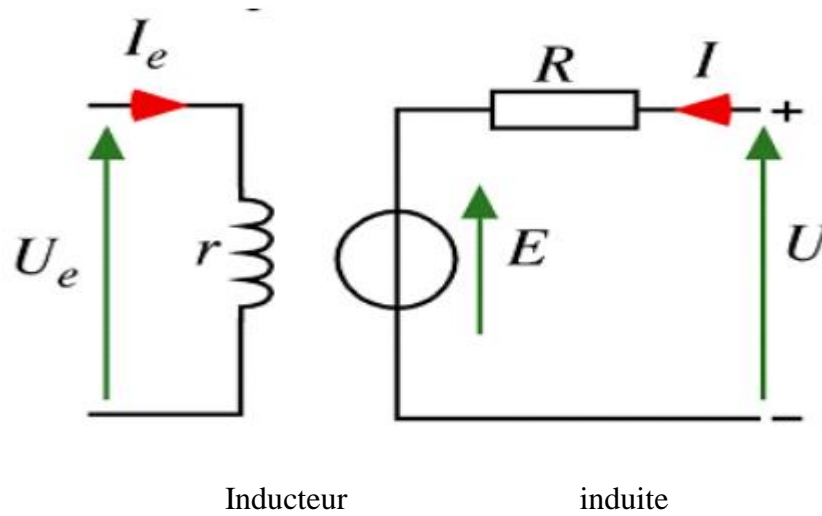


Figure (I.13) : Inducteur et induite d'un moteur à excitation séparée

Pour ce moteur deux alimentations sont nécessaires: une pour l'inducteur et une pour l'induit. Ici,

$$E = U - R \cdot I = K \cdot \Phi \cdot \Omega \tag{I. 9}$$

donc la vitesse de ce moteur est

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I}{K \cdot \Phi} \tag{I. 10}$$

et sa puissance est

$$P_u = P_{je} - P_j - P_c - P_a \tag{I. 11}$$

avec

$$P_a = U \cdot I + U_e \tag{I. 12}$$

Ie la puissance absorbée,

$$P_{je} = U_e \cdot I_e \tag{I. 13}$$

la puissance perdue par effet joule de l'inducteur,

$$P_j = R \cdot I^2 \tag{I. 14}$$

La puissance perdue par effet joule de l'induit et les pertes collectives [5].

La vitesse de ce moteur est réglable par tension et est indépendante de la charge. De plus, elle fournit un couple important à faible vitesse ce qui peut être utile pour les machines-outils ou le levage [5].

Tableau (1.3) : Propriété et utilisation de moteur séparée

	Propriétés	Utilisations
MOTEUR A EXCITATION SEPARÉE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Couple de démarrage plus élève que celui du moteur shunt et croissant très rapidement avec le courant.</li> <li>- Vitesse pratiquement constante aux charges normales et très rapidement décroissante lorsque le couple résistant augmente.</li> <li>- Ne s'emballe pas a vide ou aux faibles charges comme le moteur série</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Machines-outils a couple variable ou a mouvement alternatif (étaux limeurs, raboteuses);</li> <li>- Machines démarrant en charge (treuils, pompes à piston) ;</li> <li>- Traction électrique</li> </ul>

#### I.9.4 Moteur à aimant permanent

Dans le moteur à aimants permanents, le rotor et le stator sont constitués d'aimants dont les pôles identiques sont mis face à face afin de permettre le mouvement du moteur grâce au champ magnétique créé. Les pôles identiques se repoussent ce qui met le moteur en mouvement.

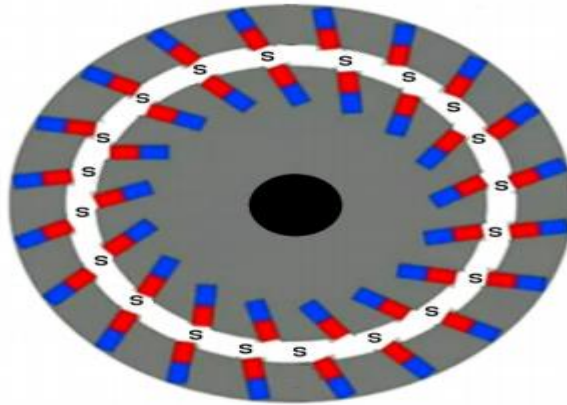


Figure (I.14) : Rotor et stator d'un moteur à aimants permanents

Le principal avantage de ce type de moteur réside dans sa durée de vie élevée qui correspond à celle des aimants (environ 400 ans). En revanche, les moteurs à aimants permanent peuvent être encombrant lorsque l'on veut obtenir des moteurs puissants car il faut des aimants plus puissants [5].

### I.10 Variation de vitesse

Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu, on peut agir sur la tension aux bornes de l'induit. La tension d'induit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation. La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

### I.11 Avantage / inconvénients du moteur courant continu

#### ➤ **Avantages**

L'avantage principal des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation : les variateurs de vitesse, voire leur raccordement direct à la source d'énergie (batteries d'accumulateur, piles, etc...) .Ils ne nécessitent pas d'électronique pour les piloter, et peuvent être branchés directement sur une alimentation, des batteries, un variateur de vitesse, ou une carte de positionnement associée à un signal de copie.

- possibilité d'entraîner de très fortes inerties
- forte constant de temps mécanique
- forte capacité à entraîner des surcharges élevées imprévisibles ralentissant le moteur : puisque son courant est proportionnel au couple, le moteur courant continu peut franchir des pointes de couple, et ainsi éviter les phénomènes de décrochage.

#### ➤ **Inconvénients:**

La commutation du moteur à balais nécessite la mise en œuvre d'un ensemble de pièces mécaniques pour faire la liaison par frottement entre les charbons et le collecteur. Il andécoule que

- plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important ;
- aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement ;
- le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique (réduit dans le cas des moteurs max on par le système CLL (long life capacitor).

La température est limitée au niveau du collecteur par l'alliage utilisé pour braser les conducteurs du rotor aux lames du collecteur. Un alliage à base d'argent doit être utilisé lorsque la température de fonctionnement dépasse la température de fusion de l'alliage classique à base d'étain.

### I.12 Bilan de la puissance et rendement

Mises en jeu dans un moteur à courant continu en fonctionnement nominal par une flèche qui rétrécit au fur et à mesure que la puissance diminue.

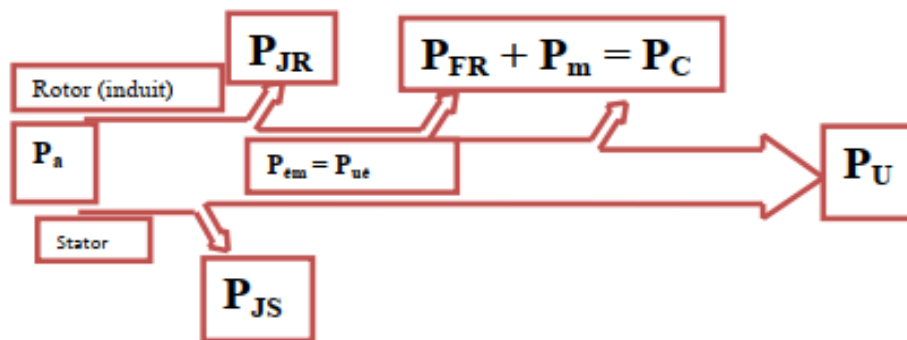


Figure (I.15) : Bilan de la puissance

$P_a$  : Puissance absorbée

$P_u$  : Puissance utile

$P_{em}$  : Puissance électromagnétique

$P_{js}$  : Pertes par effet joule dans l'inducteur

$P_{jr}$  : Pertes par effet joule dans l'induit

$P_c$  : Pertes fer + pertes mécaniques : dites pertes constantes

#### I.12.1 Rendement

Le moteur à courant continu comme toutes les machines électromagnétiques concède des pertes lors de son fonctionnement.

Les pertes comprennent : Les pertes joules, les pertes fer et les pertes mécaniques.

$$\mu = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{I. 15})$$

Le rendement est le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée.

Le courant est proportionnel au couple.

La constante K représente les éléments de construction du moteur.

### I.13 Conclusion

Un moteur à courant continu est une machine qui transforme l'énergie électrique absorbée en une énergie mécanique entraînant une charge mécanique. Le couple développé par un moteur à courant continu est proportionnel au courant d'induit et au flux magnétique. La vitesse de rotation est proportionnelle à la tension d'alimentation et inversement proportionnelle au flux magnétique. Le rendement est le rapport entre la puissance développée par l'axe du moteur (la puissance mécanique utile) et celle qui lui est appliquée ou puissance absorbée (puissance électrique).

Comme toute machine électrique tournante la MCC est constituée de deux parties principales stator et rotor, ce dernier est généralement représenté l'induit qui comporte le collecteur sur le quel, les balais se glissent et assurent la liaison électrique de l'alimentation.

**CHAPITRE II**  
**DEFAUTS ET**  
**MAINTENANCE D'UN**  
**MOTEUR A COURANT**  
**CONTINU**



## **II.1 Introduction**

La fonction de maintenance a pour but d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes, impliquant un minimum économique de temps d'arrêt.

Dans ce chapitre on a cité les différents types de maintenance, Les fonctions de la maintenance après avoir les défauts de ce type des moteurs, leur entretien (lubrification, graissage et contrôle) et maintenance et finalement un petit résumé sur la maintenance des moteurs à courant continu.

## **II.2 Définition de la maintenance**

Selon l'AFNOR par la norme X 60-000 la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [1].

Selon l'AFNOR par la norme NF EN 13306 (avril2001) la maintenance est l'ensemble des actions techniques, administratives et management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

D'après Larousse: La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- Etat spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

### II.3 Fonctions de la maintenance

#### ❖ Étude

Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

#### ❖ Préparation

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées.

Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance : coût, délai, qualité, sécurité,...etc.

Quel que soit le type d'intervention à réaliser, la préparation sera toujours présente. Elle sera :

- Implicite (non formalisée) : dans le cas de tâches simples, l'intervenant assurera lui-même, par expérience et de façon souvent automatique la préparation de ses actions
- explicite (formalisée) : réalisée par un préparateur, elle donne lieu à l'établissement d'un dossier de préparation structuré qui, faisant partie intégrante de la documentation technique, sera utilisé chaque fois que l'intervention sera réalisée. Il sera donc répertorié et conservé sous réserve de mises à jour ultérieures.

#### ❖ Ordonnancement

L'ordonnancement représente la fonction "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes.

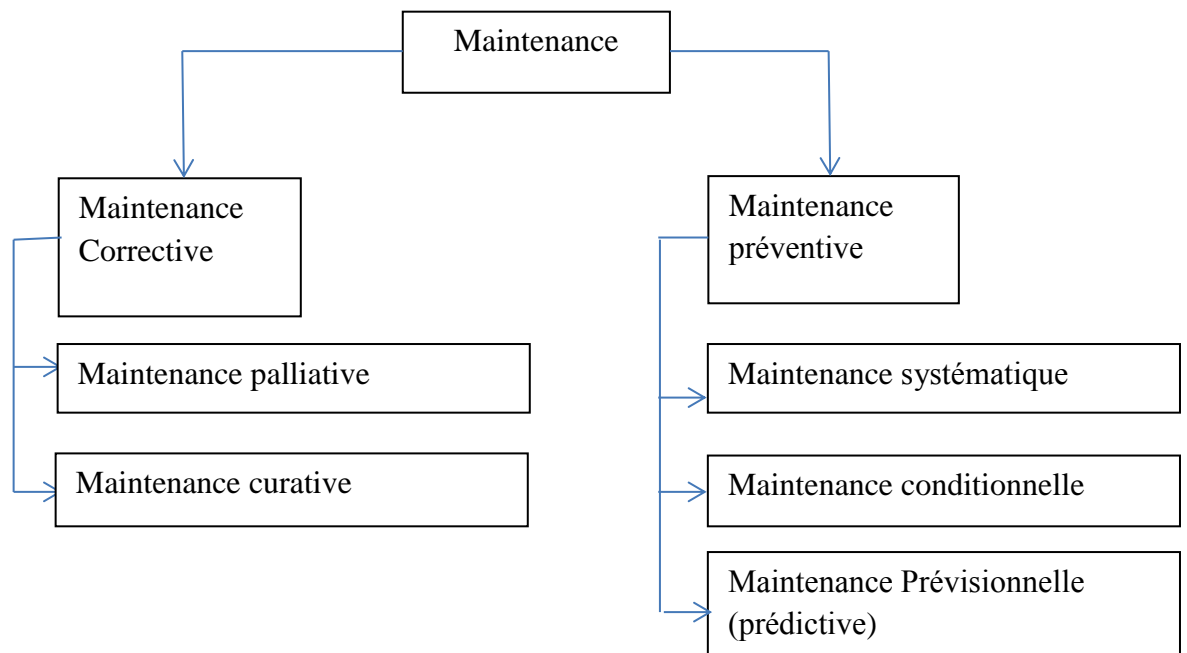
❖ **Réalisation**

La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

❖ **Gestion**

La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget.

**II.4 Différents types de maintenance**



**Figure (II.1) :** Diagramme les différents types de maintenance

**II.4.1 Maintenance (Entretien) préventive**

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance [15]. Permet de maintenir les machines et les équipements en bon état de fonctionnement.

Toute consigne d'entretien préventif sans démontage de machine comporte normalement et dans l'ordre chronologique : des vérifications en fonctionnement, pendant la phase de ralentissement et jusqu'à l'arrêt de la machine l des opérations à l'arrêt :

- nettoyages
- mesures ou contrôles électriques et mécaniques
- vérifications avant remise en route [16].

**II.4.2 Maintenance préventive systématique**

Ce type de maintenance comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer, en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défailants. Ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant. Maintenance programmée (systématique) [16], dans le Tableau II .1 vous trouverez indiqué un programme type de maintenance programmée ; il est bien entendu qu'un tel programme doit être adapté aux nécessités [17].

**Tableau (II .1) : Maintenance programmée [17]**

Composant	Opérations	Intervalle (H) %	Voir au point
Vérification des vibrations de fond et du bruit sur les roulements. Valeurs de référence Normes ISO 3945 (a)	annuelle	Machine complète	
Relèvement d'éventuels bruits anormaux (coups, frottements, etc.) (a)	hebdomadaire		
Vérification visuelle de l'état de propreté intérieur de la machine	mensuelle		
Vérification visuelle des surfaces du collecteur	hebdomadaire	Collecteur	5.2
Vérification excentricité (a)	1200		
Nettoyage soigné du collecteur avec des petits bâtons de caoutchouc spécial et une pierre ponce.	3500-4000		
Balais	Vérification usure et jeu entre balai et porte-balais (a) (b)	400-500	5.4 5.5 5.6

Porte-balais	Vérification efficacité ressorts presse balais	400-500	
Mesurez la résistance d'isolation (avec température de la carcasse d'environ 25°C) (a)	900-1200 (300-600)*	Enrouleur de stator et rotor	4.3
Nettoyage général des enrouleurs	3500-4000	4.3	
Câbles d'alimentation	Contrôlez le serrage des câbles sur les bornes de la machine. Si cela est nécessaire resserrez-les.	annuelle	
Mesure de la température (h) (i)	1200	5.9	Roulements
Nouvelle lubrification et nouveau graissage (sauf en cas de roulements autolubrifiants) (h) (j) (k)	Voir plaque moteur	5.13 5.14 5.15	
Changement de la graisse des roulements	3 ans		
Vérification présence rouille dans roulements (g)	3 ans		
Isolation	Vérification valeur résistance d'isolation à effectuer avec le Megger	900-1200 (300-600)*	4.3
Filtres	Vérification obstruction filtres	hebdomadaire	5.18
Échangeurs de chaleur air-eau et air-air	Voir appendice		
Composant	Opérations	Intervalle (H)	Voir au point
Vis et boulons de fixation	Vérifiez qu'ils ne sont pas desserrés (la vérification est surtout à faire pour les connexions électriques de la barrette de raccordement car des contacts insuffisants peuvent causer des surchauffes localisés).	1800-2200	
Contrôlez l'état de l'alignement machine-charge et réglez les	Tous les 2 ans et à chaque montage	Joints d'accouple	

mesures (f)		ment	
Exécutez la maintenance du joint d'accouplement selon les instructions du producteur du joint.	-		
Electroventilateur	Vérifiez la présence de rouille ou de saleté éventuelles. Si cela est prévu graissez les roulements du moteur asynchrone. (g)	semestriel	
Accessoires variés	Contrôlez le bon fonctionnement	annuel	
Balai de mise à la terre (s'il y en a un)	Vérifiez qu'il coulisse librement dans son porte-balais. Nettoyez la surface de contact entre balai et arbre avec du papier de verre très fin. (a) (b)	annuel	

	<p>(a) Comparez avec les mesures ou avec les observations précédentes.</p> <p>(b) Calculez la consommation en mm pour 1000 heures de service et comparez avec les mesures précédentes; Cela permet d'obtenir une bonne indication sur le collecteur et sur le comportement de la commutation.</p> <p>(c) Enlevez la rouille éventuelle à l'aide d'une pierre à huile puis recouvrir la surface d'une couche anti-corrosive. Cela dépend de la contamination de l'air ambiant..</p> <p>(d) Cela dépend de la contamination de l'eau.</p> <p>(e) Si les vibrations augmentent, inspectez immédiatement ou réduisez les intervalles d'inspection</p> <p>(f) d'inspection</p> <p>(g) Enlevez la rouille.</p> <p>(h) Pour les roulements lubrifiants à graisse.</p> <p>(i) Comparez avec les mesures précédentes</p> <p>(j) Observez les intervalles de lubrification indiqués sur la claquette de la machine à courant continu. Les machines qui restent longtemps arrêtées ont besoin d'être lubrifiées au moins une fois par an (car la graisse peut vieillir ou il peut se faire de la condensation à l'intérieur du roulement).</p> <p>(k) Dès que vous constatez des phénomènes tels que vibrations, sur températures, bruits ou de toute façon lorsqu'il faut</p>
--	---

démonter la machine. L'expérience enseigne que les problèmes attendant aux roulements sont le plus souvent dus à leur usure, plutôt qu'au travail du matériau. De toute façon l'usure dépend à son tour des conditions de fonctionnement.
---

#### **II.4.2 Maintenance préventive conditionnelle**

Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défaillants, entreprises en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle) [17].

#### **II.4.3 Maintenance prévisionnelle (prédictive)**

C'est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien. Elle permet de planifier les interventions [17].

#### **II.4.4 Maintenance corrective**

Elle permet de mettre en évidence la nécessité d'interventions plus décisives. Nos bureaux techniques sont en mesure d'effectuer une évaluation exacte de ce qu'il faut remettre en état pour retrouver un parfait fonctionnement.

En cas de réparation antiéconomique nos mêmes bureaux techniques sont en mesure d'effectuer un dimensionnement correct pour le remplacement de n'importe quel type de moteur de n'importe quelle marque par un moteur technologiquement plus ajourné [16].

II.5 Incidents de fonctionnement

Tableau( II .2) : Différentes incidents de fonctionnement [18]

CONSTAT	CAUSE	REMEDE
Manque de courant d'excitation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut d'alimentation</li> <li>• Inducteurs coupés</li> <li>• Inducteurs en court-circuit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler le variateur</li> <li>• Remplacement du stator bobiné</li> </ul>
Collecteur : traces d'amorçage arrachement de métal rayures, faux-rond	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Défaut d'alimentation</li> <li>• Emplois hors spécifications</li> <li>• Vibrations</li> <li>• Ambiance agressive</li> <li>• Calage d'induit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier l'alimentation</li> <li>• Vérifier l'utilisation</li> <li>• Contrôler l'ambiance</li> <li>• Réfection du collecteur (* La réfection du collecteur est un travail de réparateur qualifié, notamment pour le refraisage des micas: voir notice générale.</li> <li>• Dispositif anti-calage</li> </ul>
Vitesse différente dans un sens par rapport à l'autre	Lors du remontage mauvais indexage stator par rapport au flasque NDE et / ou calage porte-balais	Recaler le moteur selon procédure indiquée dans la notice générale
Déclenchement des sondes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilation</li> <li>• Surcharge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler le circuit de refroidissement, la ventilation forcée et son sens de rotation</li> <li>• Vérifier le fonctionnement de la machine entraînée</li> </ul>
Usure rapide des balais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement en sous-charge</li> <li>• Vibrations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité de réduction de la ventilation par passage de la VF à l'avant (consulter LEROY-SOMER)</li> <li>• Revoir équilibrage des parties entraînées</li> <li>• Support moteur à contrôler</li> </ul>



**II.5.1 Programmes de lubrification**

Pour chaque machine un programme de lubrification périodique des roulements, qui, pour les machines standard dans des conditions d'exercice normales peut être grossièrement déduit. Pour les conditions d'exercice normal reportez-vous au point 5.9.

En ne suivant pas ces conditions vous occasionnez théoriquement une péjoration, et donc une diminution des intervalles de lubrification, que seule la pratique, après un premier temps de service, peut indiquer. Toutes les 4-5 lubrifications il faut remplacer entièrement la graisse [19].

**II.5.2 Lubrification– Instructions spécifiques**

Cette opération doit être faite quand les machines sont en mouvement. Appliquez la pompe au graisseur, enlevez le bouchon de vidange de la graisse pour permettre à l'huile détériorée de sortir. Ajoutez la quantité de graisse indiquée sur la plaque de la machine à courant continu. Enlevez la pompe et remettez le bouchon. la position du graisseur et celle du trou de vidange sont signalées sur les plaques respectives. la mesure que doit être prendre en considération pendant cette opération est:

- Ne mettez pas trop de graisse. Une quantité excessive de graisse surchauffe les roulements et peut les abîmer [19].
- La graisse en excédant tend à couler le long de l'arbre. Ne mélangez pas différents types de graisse car elles pourraient être incompatibles.

Dans le tableau ci-joint (II .3) les types de graisses à utiliser dans des conditions normales.

**Tableau (II .3) : Quelques types de graisse pour conditions normales [19]**

Nom commercial du produit	
Athesia Gr3 Mobilux 3 Exxon Beacon Alvania 3	IP Mobil Exxon Shell

### **II.5.3 Remplacement total de la graisse**

Il doit être fait toutes les 4-5 lubrifications s'il n'est pas encore temps de remplacer les roulements. Il faut démonter partiellement la machine, en suivant les indications des points allant de 6.1 à 6.6. Ensuite enlevez la graisse usée de l'anneau extérieur du roulement à rouleaux, des rouleaux et de la cage ainsi que du pare-graisse intérieur. Enlevez la graisse usée du roulement à billes.

Utilisez d'abord du pétrole, puis de l'huile chaude. Enfin séchez au moyen d'air sec et propre et remontez les pare-graisse et les roulements comme il est indiqué au point 6.5 pour les roulements neufs. Remplir de graisse le roulement et les chambres adjacentes aux 2/3 de leur capacité et remontez la machine [19].

### **II.5.4 Remplacement des roulements**

Il faut prévoir de la faire en même temps que la maintenance générale programmée de la machine, quand on approche du temps de vie utile effective prévue pour les roulements [19].

### **II.5.5 Filtre à air**

Quand il y en a un, le panneau filtrant doit être contrôlé chaque semaine pour éviter qu'il se bouche provoquant une chute excessive de pression et une réduction inacceptable du débit.

Le panneau peut être nettoyé en utilisant des moyens mécaniques (battage et/ou aspiration) ou en le lavant à l'eau.

Après un certain nombre de lavages il faut remplacer le panneau [19].

## **II.6 Dispositif de contrôle pour absence de ventilation**

En général le dispositif de contrôle pour absence de ventilation est situé dans la partie supérieure des échangeurs de chaleur ou calé sur la transmission des électro ventilateurs.

Le dispositif de contrôle pour absence de ventilation ne doit jamais être modifié ; l'opération de réglage doit être effectuée par du personnel qualifié ; dans le cas contraire vous risqueriez un mauvais fonctionnement se manifestant de la façon suivante :

Interventions trop fréquentes, avec des interruptions continues du service ; dans ce cas, il est absolument interdit de court-circuiter le dispositif pour permettre à la machine de travailler ; Interventions retardées, absence de nettoyage du filtre alors que cela serait nécessaire. Dans ce cas, la machine qui est protégée risque de se mettre hors- service.

Si, dans des cas exceptionnels, comme par exemple au cours d'une maintenance ou d'une substitution, vous deviez procéder à un réglage [19].

### **II.7 Contrôle d'un collecteur**

Le collecteur constitue la partie la plus délicate de la machine à courant continu, et donc la plus sensible à tout abus. Dans des conditions normales le collecteur requiert peu de maintenance en plus des inspections périodiques. La patine uniforme qui se forme lorsque le collecteur est en action est un indice de bon fonctionnement. La chaleur de la patine peut varier en fonction des substances présentes dans l'environnement, Dans ce cas le collecteur ne requiert pas d'attention, en dehors de son nettoyage périodique.

Si la surface du collecteur est rugueuse ou légèrement rayée, frottez-la avec une pierre au carborundum ou avec une pierre ponce.

Il faut aussi vérifier l'excentricité du collecteur en s'assurant qu'elle ne dépasse pas la valeur de 0.05 mm. Si c'était le cas ou si la surface était très rugueuse et très rayée il faudrait soumettre le collecteur au tournage [19].

### **II.8 Défauts des lames de collecteurs**

L2 : lame saillante

L4 : lame en retrait

L6 : micras saillants

L8 : bavures aux arêtes

L10 : cuivre couché

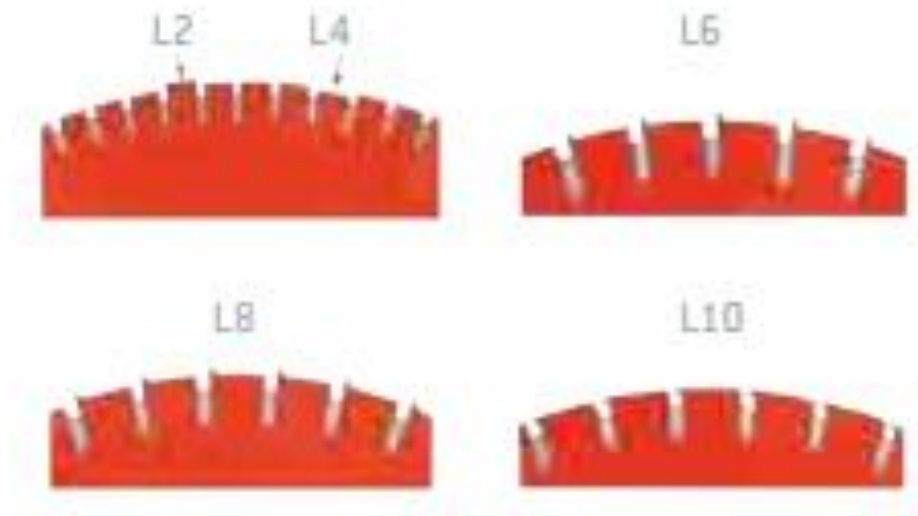


Figure (II.2) : Types Défautes des lames de collecteurs [16]

### II.9 Vérifier Collecteurs et bagues

Vérifier qu'il n'existe ni faux rond ni défaut de surface Si nécessaire, rectifier ou pierre à l'aide du bâti porte-outil.

Gratter ou fraiser les micas des collecteurs.

Chanfreiner les arêtes des lames à 45° sur 0,2 à 0,5 mm .

Préparer la surface avec un coup de pierre à rectifier grain "M". Eviter l'emploi des toiles ou papiers abrasifs. Il est indispensable d'avoir une rugosité suffisante pour établir et conserver une patine correcte. Nos experts sont à votre disposition pour toute intervention, tout diagnostic et tout usinage sur site [16].

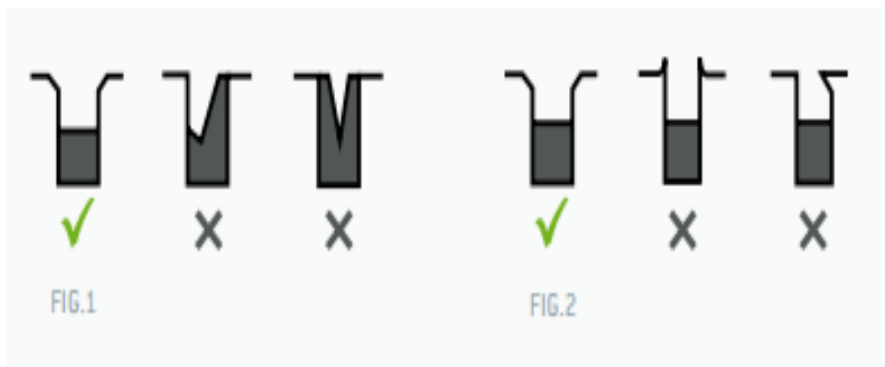
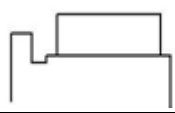
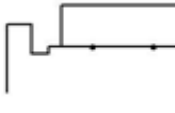

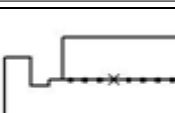
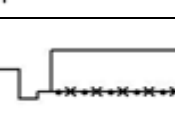
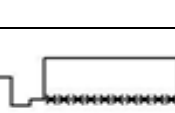


Figure (II.3) : Vérifier Collecteurs et bagues [16]

**II.10 Contrôles en fonctionnement**

Graduation des étincelles selon les échelles "Commutation indicateur mesure"

**Tableau (II .4) : Indices de commutation [17]**

RAPPRESENTATION	INDICE	DISIGNASION DESCRIPTION
	1	parfaitement noire
	1 1/2	légères étincelles intermittentes
	1 3/4	légères étincelles continues faibles
	2	étincelles continues fortes
	2 1/2	étincelles dangereuses
	3	incandescentes

Les limites acceptables, habituellement admises, sont :

- Régime normal : 1 à 3 sur Commutation indicateur (1 à 1 1/2 indice).
- Régime de pointe - Surcharge : 4 sur Commutation Indicateur (1 3/4 indice).

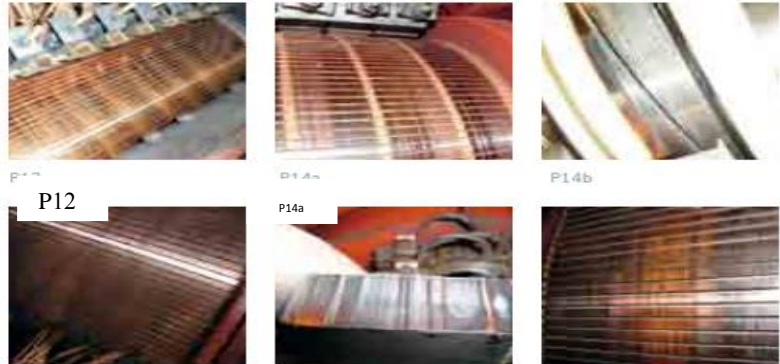

En cas de doute, nous sommes à votre disposition pour toute assistance technique [16].

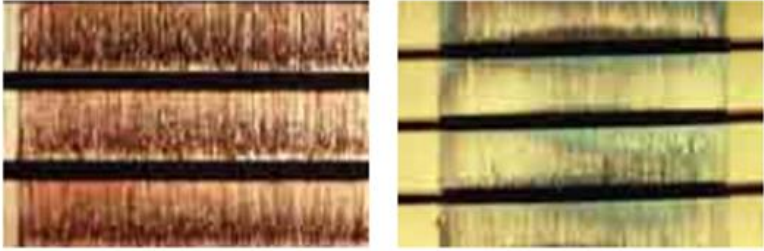


**II.11 Aspects de patine**

La patine est un mélange complexe d'oxydes métalliques, de carbone et d'eau, qui se dépose sur la bague ou le collecteur. L'examen de la patine peut permettre d'établir un diagnostic sur l'état de santé de votre machine électrique tournante.

Les planches ci-après donnent quelques aspects typiques et courants de patines et de défauts de collecteur soude bagues, ainsi que la signification de ces différents types de patines et de défauts [16].

Tableau (II .5) : Types de patine [16]

patines conformes	intensité de la coloration	P2 - P4 - P6 : patines normales de coloration uniforme, marron clair (P2) à marron foncé(P6). fonctionnement satisfaisant de la machine et des balais.	 <p>P2                      P4                      P6</p>
patines non conformes	aspect du dépôt	<p>P12 : patine striée Raies ou bandes plus ou moins larges, alternativement claires et foncées, sans usure de cuivre. causes les plus fréquentes : humidité excessive, vapeurs huileuses ou gaz agressifs dans l'air ambiant, balais sous-chargés.</p> <p>P14patine décapée P14a : sur collecteur / P14b : sur bague collectrice) causes les plus fréquentes : les mêmes que pour la patine striée, mais aggravées ou prolongées. Egalement, nuance de balais inappropriée</p>	 <p>P12                      P14a                      P14b</p> <p>P14c                      P14FF*                      P16a</p>
		<p>P16 : patine tartinée causes les plus fréquentes : collecteur déformé ou malpropre, bague ovalisée. Taches de formes, colorations et dimensions diverses, sans caractère de périodicité. ff = face frottante</p>	 <p>P16b                      P16FF*</p>
	taches d'origine mécanique	<p>P22 : patine non uniforme, effet "pas de vis" P22 : patine non uniforme, effet "pas de vis" cause la plus fréquente : défaut d'usinage du collecteur suite à une maintenance mal effectuée</p>	

		<p>P24 : taches foncées à bords francs suivies ou non de taches plus claires à bord estompés cause la plus fréquente : défaut affectant une lame ou un groupe de lames et occasionnant le soulèvement du balai.</p>	 <p>P26 P28</p>
		<p>P26 - P28 : lames tachées au milieu ou sur les bords Ombrage sur le milieu des lames (P26) ou frangeant les deux bords de lames (P28). - cause la plus fréquente : rectifications défectueuses du collecteur.</p>	
	marquage des lames d'origine Électrique	<p>P42 : lames alternativement claires et foncée ce schéma se reproduit sur tout le tour du collecteur. c'est un motif répétitif. Les causes les plus fréquentes sont d'origine électrique. Elles sont liées au mode de bobinage d'induit, avec commutations successives (et de difficulté croissante) des conducteurs dans l'encoche.</p>	 <p>P42 P44</p>
		<p>P44 : pitting - piqûres d'étincelles fortes cause la plus fréquente : passage d'un courant de haute fréquence.</p>	
patines non conformes	taches dues a une pollution	<p>P62 : forte présence de corps gras cause la plus fréquente : balai encrassé par cette pollution lors d'une maintenance.</p>	 <p>P62</p>

## II.12 Brûlures

B6:brûlures paréтин celles sur bords de lames, plus ou moins sévères.

B8:brûlures au centre des lames.

B10:patine“trouée”.

Petites taches claires, en nombre variable être parties au hasard sur une piste normalement patinée.

Cause :étincelle sous balais [16].



Figure (II.4) : Défauts brûlures collecteurs [16]

## II.13 Tache

### ✚ Aspects particuliers de certains types de taches

- T10 : image de balai sur collecteur.
- T11 : image de balai sur bague.
- Tache foncée ou noire reproduisant la face frottant du balai sur le collecteur ou la bague.
- causes les plus fréquentes : surcharge accidentelle ou marquage électrolytique lors d'un arrêt prolongé de la machine [16].





**Figure (II.5) :** Particuliers types de taches [16]

**✚ Aspects particuliers de certains types de taches (suite) [16]**

- T14 : frange foncée due à une lame en retrait L4.
- T16 : franges foncées dues à des micas saillants L6.
- T18 : taches foncées et localisées dues à des bavures L8.



**Figure (II.6) :** Aspects particuliers de certains types de taches [16]

### II.14 Usures de lames de collecteurs

**R2** : vue d'un collecteur permettant d'apprécier l'usure du métal piste par piste avec un quinconçage correct des balais. Cette usure peut apparaître après un fonctionnement très long.

**R4** : vue d'un collecteur dans le cas d'une usure anormale du métal par quinconçage incorrect des balais, qualité inadaptée, pollutions diverses [16].

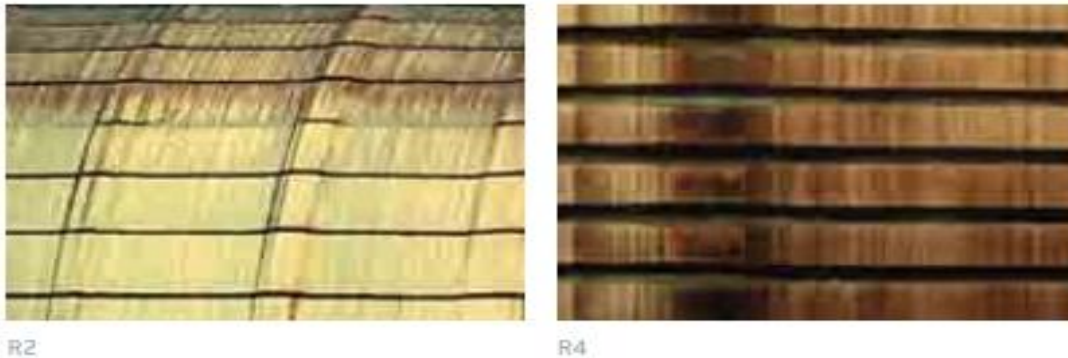


Figure (II.7): Usures de lames de collecteurs [16]

### II.15 Recommandations pour la mise en place des balais

#### ➤ Balais

Il est capital de suivre les recommandations suivantes :

- Ne pas utiliser des balais de nuances différentes sur une même machine sous peine de sérieux désagréments.
- Prendre soin d'éliminer la patine établie si l'on désire changer la nuance de balais
- Vérifier que les balais coulissent librement dans les cages des porte-balais, sans jeu excessif
- Vérifier, surtout pour les balais inclinés, qu'on ne les a pas montés (ou remontés) à l'envers dans les porte-balais. Même chose pour les balais jumelés à plaquette métallique

#### ➤ Rodage des faces frottâmes des balais

Pour ajuster exactement les faces frottantes au rayon de courbure de la bague ou du collecteur, utiliser une pierre ponce, appliquée pendant la marche à vide ou à faible charge. Les poussières de ponce, agissant comme abrasif, effectuent rapidement et parfaitement ce travail.

Il est, bien sûr, indispensable de repasser la pierre grain après cette opération afin de reconstituer la rugosité du collecteur.

Quand la quantité de matière à enlever du balai est importante, utiliser pour dégrossir une toile abrasive, grain 60 ou 80, insérée face abrasive vers le haut entre faces frottantes et

collecteur et déplacée suivant un mouvement de va-et-vient (Figure II.9).

Nettoyer les faces frottantes, souffler pour enlever les poussières d'abrasif et de balais [16].

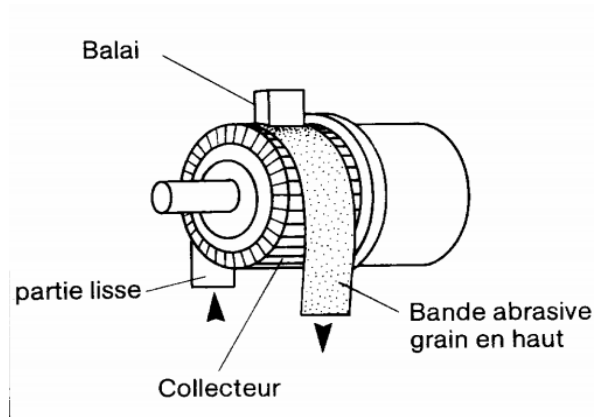


Figure (II.8) : Rodage des balais [20]

## II.16 Mesures et contrôles à l'arrêt

### II.16.1 Machine Electrique

- Mesurer la résistance d'isolement des différents circuits avant et après soufflage pour être en mesure d'établir une comparaison lors de l'intervention.
- Mesurer l'entrefer en 4 points à 90° de décalage (3 - 6 - 9 et 12 heures) avec un jeu de cales appropriées et comparer la moyenne obtenue sur les 4 axes avec la valeur d'origine communiquée par le constructeur. L'écart obtenu indiquera le jeu approximatif interne des paliers.

### II.16.2 Porte-Balais Et Balais

- Vérifier le jeu entre les porte-balais et les balais.
  - En cas de mauvais coulisement, examiner l'intérieur des cages des porte-balais.
  - Vérifier que la distance “#d#” entre les porte-balais et la partie mobile (collecteur ou bagues) est adaptée (2,5 à 3 mm pour la plupart des machines), voir schéma ci-contre.
  - Poussée des systèmes de pression des porte-balais:
- \* Toutefois un écart maximal de 10 à 15 % reste acceptable.



**Figure (II.9) :** Rodage des balais(2) [16]

et jusqu'à l'arrêt de la machine

Vérifier à l'aide d'un dynamomètre que les pressions sont bien égales sur tous les balais.

Vérifier que les porte-balais sont toujours correctement fixés avec l'angle prévu.

- Noter s'il y a de la poussière de cuivre déposée sur les porte balais ou sur les systèmes de fixation (lorsque les balais utilisés ne contiennent pas de cuivre, bien entendu).
- Mesurer la hauteur de tous les balais d'une même ligne pour voir s'il y a des usures anormales.
- Vérifier que les arêtes des balais sont intactes, sans brûlure ni écaillage, et que les faces ne portent ni marques de vibrations ou d'électroérosion, ni brûlures, ni traces de ravinement.
- Vérifier que les câbles des balais ne sont ni oxydés, ni brûlés, ni effilochés.
- Après remise en place des balais, vérifier :
  - qu'ils coulissent normalement, avec un jeu convenable pour éviter aussi bien les coincements que les battements
  - que les systèmes de pression sont bien positionnés sur le milieu des têtes des balais et que les plaquettes amortisseuses sont en bon état
  - que les câbles des balais ne sont pas pincés par les systèmes de pression
- Vérifier, surtout pour les balais inclinés, qu'ils n'ont pas été montés (ou remontés) à

l'envers dans les porte-balais. Même chose pour les balais jumelés à plaquette métallique.

- Prendre soin d'éliminer la patine établie si l'on désire changer la nuance de balai. Sur une même machine, ne jamais utiliser des balais de nuances différentes et a fortiori de fabricants différents.
- Positionnement des balais : en règle générale nous déconseillons le quinconçage (décalage axial), mais il peut s'avérer judicieux pour une répartition symétrique du courant et de la température.

Dans le cas où le chevauchement (décalage tangentiel) est nécessaire pour assurer la commutation, vérifier qu'il est correctement effectué.

- Vérifier que l'espacement entre deux pôles consécutifs est identique tout autour du collecteur.

### II.16.3 Collecteur / Bagues Collectrices

#### ➤ **Dégraissage**

Sur des collecteurs peu gras, un nettoyage soigneux au chiffon propre et sec est préférable. Dans le cas où il subsiste un film gras, on peut utiliser, après avoir relevé ou retiré les balais, un chiffon propre imbibé sans excès d'un solvant sec, non chloré, à évaporation rapide et ne laissant pas de résidus [16].

#### ➤ **Faux-rond**

Vérifier le faux-rond avec le CL-Profilier. La valeur optimale est d'environ 0,01 mm et ne doit jamais excéder 0,03 mm [16].

#### **Rugosité**

On a parlé ici de rugosité arithmétique  $R_a$ , un paramètre de rugosité internationalement reconnu et utilisé.  $R_a$  = valeur moyenne arithmétique des valeurs absolues des variations du profil dans le tronçon de mesure. S'assurer que la rugosité sur patine établie est toujours supérieure à 0,4  $\mu\text{m}$ . Dans le cas contraire, dépolir les surfaces, de préférence avec une pierre abrasive à rectifier grain "M" (moyen). Après pierrage ou usinage, nous recommandons les rugosités suivantes :

- $R_a = 0,9$  à 1,8  $\mu\text{m}$  pour les collecteurs des machines industrielles
- $R_a = 0,5$  à 1,0  $\mu\text{m}$  pour les petits collecteurs des machines de puissance inférieure à 1 kW
- $R_a = 0,75$  à 1,25  $\mu\text{m}$  pour les bagues acier ou bronze

Les rugosités dépassant  $2 \mu\text{m}$  occasionnent des usures de balai excessives.

En outre, l'étape de pierrage doit permettre d'obtenir un nombre de pics de 100 pics / cm [16].

#### II.16.4 Examen des lames de collecteurs

- Contrôler que le cassage d'angle des lames est correct

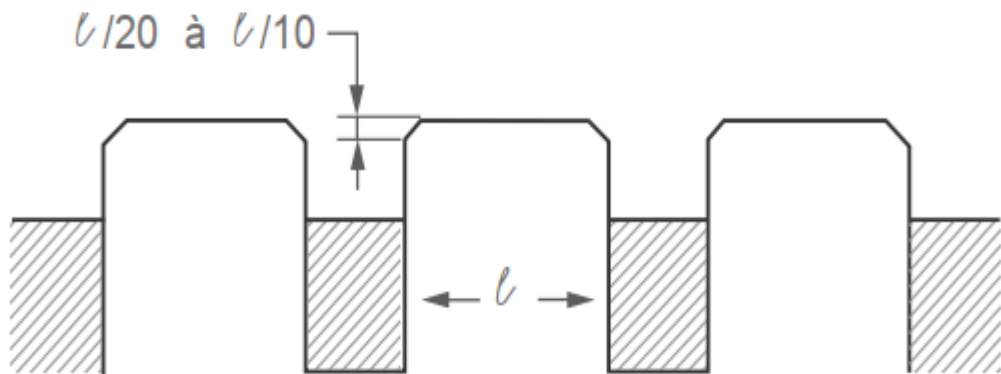


Figure (II.10) : Examen des lames de collecteurs [20]

#### II.17 Conclusion

La maintenance des moteurs à courant continu est basée sur le contrôle de moteur (graissage, lubrification) et essentiellement sur remplacement des roulements surtout de collecteurs et balais.

Le collecteur constitue la partie la plus délicate de la machine à courant continu, et donc la plus sensible à tout abus. Dans des conditions normales le collecteur requiert peu de maintenance en plus des inspections périodiques. La patine uniforme qui se forme lorsque le collecteur est en action est un indice de bon fonctionnement. La chaleur de la patine peut varier en fonctions des substances présentes dans l'environnement. Cela nécessite un grand soin, des spécialistes et des équipements spéciaux dans le processus de maintenance, menant à un processus d'entretien élevé.

**CHAPITRE III**  
**COMMANDE D'UN**  
**MOTEUR A COURANT**  
**CONTINU**

### III.1 Introduction

L'évolution des technologies conduit à utiliser des machines nécessitant des vitesses de rotation précises et variables pour l'entraînement d'engins industriels, systèmes robotique...etc. Dans notre étude, on s'intéresse aux moteurs à courant continu, car ils offrent une introduction facile au fonctionnement de ses homologues, en donnant des repères clairs. Les moteurs à courant continu ont pendant longtemps été les seuls aptes à la vitesse variable à large bande passante, comme dans le domaine robotique. Ils ont donc fait l'objet de nombreuses améliorations, et beaucoup de produits commercialisés aujourd'hui [10].

### III.2 Modélisation d'un MCC

Le schéma électrique d'une MCC à excitation indépendante est le suivant :

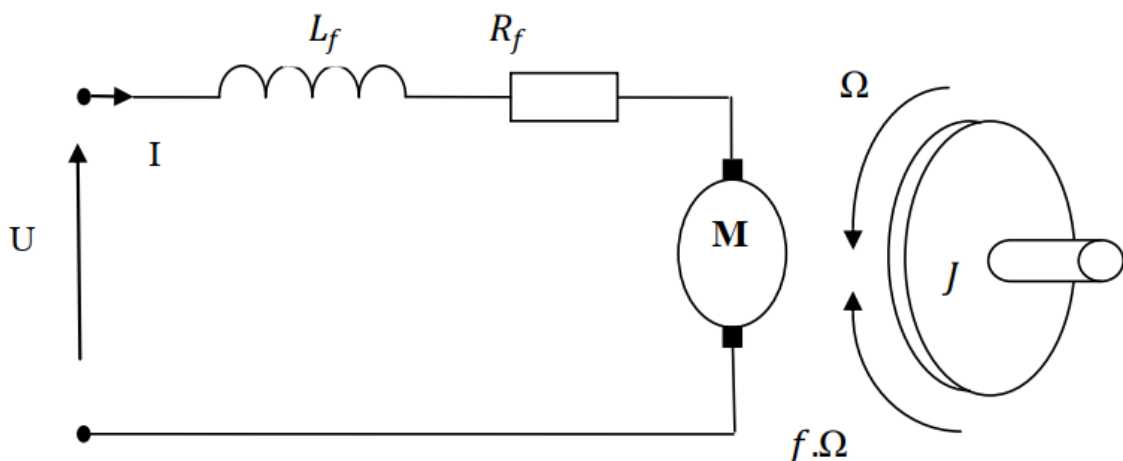


Figure (III.1) : Schéma électrique d'une MCC à excitation séparée [10]

### III.3 Fonction de transfert équation

- Equation électrique

$$u_a(t) - u_i(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \cdot \frac{di_a(t)}{dt} \quad (\text{III. 1})$$

Transformée de Laplace :

$$I_a(S) = [U_a(s) - u_i(s)] \cdot \frac{\frac{1}{R_a}}{1 + s \cdot \frac{L_a}{R_a}} \quad (\text{III. 2})$$

- Equation « cinématique » sans frottements :



$$T_{em}(t) - T_{rés}(t) = J_{tot} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \tag{III. 3}$$

Transformée de Laplace :

$$\Omega(S) = [T_{em}(s) - T_{rés}(s)] \cdot \frac{1}{J_{tot} \cdot s} \tag{III. 4}$$

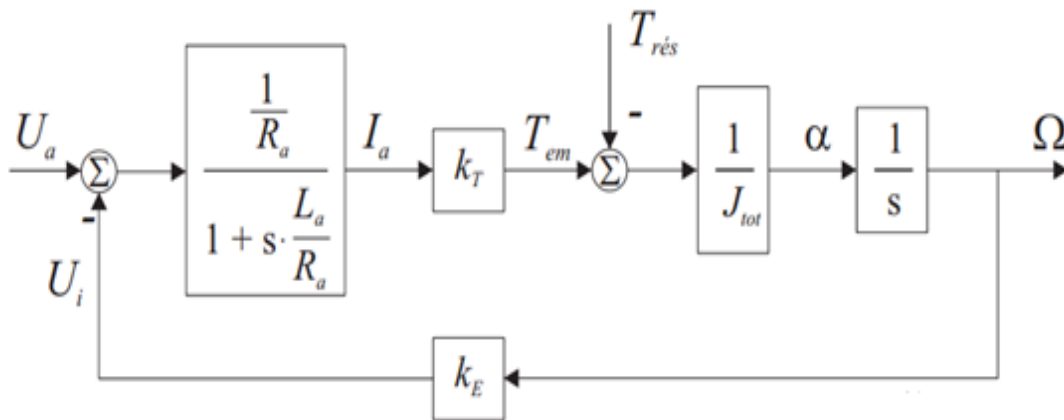
**III.4 Schéma fonctionnel du moteur CC avec charge**

$$I_a(S) = [U_a(s) - u_i(s)] \cdot \frac{\frac{1}{R_a}}{1 + s \cdot \frac{L_a}{R_a}} \tag{III. 5}$$

$$U(s) = K_E \cdot \Omega(s) \tag{III. 6}$$

$$\Omega(S) = [T_{em}(s) - T_{rés}(s)] \cdot \frac{1}{J_{tot} \cdot s} \tag{III. 7}$$

$$T_{em}(s) = K_T \cdot I_a(s) \tag{III. 8}$$



**Figure (III.2) :** Schéma fonctionnel du moteur CC avec charge [8]

En appliquant la théorie vue au cours de régulation

$$G_{uw}(s) = \frac{\frac{1/R_a}{1 + s \cdot L_a/R_a} \cdot K_T \cdot \frac{1}{s \cdot J_{tot}}}{1 + \frac{1/R_a}{1 + s \cdot L_a/R_a} \cdot K_T \cdot \frac{1}{s \cdot J_{tot}} \cdot k_E} \tag{III.9}$$

En groupant les termes constants, et en multipliant numérateur et dénominateur par (S) 1 + s · La Ra · Ra · s · J tot

on obtient

$$G_{uw}(s) = \frac{K_T}{\left(1+s\frac{L_a}{R_a}\right).R_a s.J_{tot}+K_T.K_E} \quad (III. 10)$$

En mettant le dénominateur sous forme polynomiale

$$G_{uw}(s) = \frac{K_T}{K_T.K_E+s.J_{tot}.R_a+s^2.\frac{L_a}{R_a}.J_{tot}.R_a} \quad (III.11)$$

Finalement, en normalisant le dénominateur

$$G_{uw}(s) = \frac{1}{K_E} \cdot \frac{1}{1+s.\frac{J_{tot}.R_a}{K_T.K_E}+s^2.\frac{L_a}{R_a}.\frac{J_{tot}.R_a}{K_T.K_E}} \quad (III. 12)$$

On introduit

La constante de temps électrique

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} \quad (III. 13)$$

La constante de temps mécanique

$$\tau_m = \frac{J_{tot}.R_a}{K_T.K_E} \quad (III. 14)$$

la fonction de transfert du moteur CC et de la charge, sans frottements visqueux, devient ainsi

$$G_{uw}(s) = \Omega(s)/U_a (s) = \frac{1}{K_E} \frac{1}{1+s.\tau_m+s^2.\tau_m\tau_e} \quad (III. 15)$$

Le dénominateur est du 2ème degré et définit 2 pôles ces pôles sont réels si le déterminant est positif

$$\tau_m^2 - 4\tau_m \cdot \tau_e \geq 0$$

Donc si

$$\tau_m \geq 4 \cdot \tau_e$$

Sinon, ces pôles sont complexes conjugués

cas particulier :

$$\tau_m \geq 4 \cdot \tau_e$$

le dénominateur définit 2 pôles réels

$$s_{1,2} = \frac{-\tau_m \pm \sqrt{\tau_m^2 - 4\tau_m\tau_e}}{2\tau_m\tau_e} \tag{III. 16}$$

Les racines Valenton peut le décomposer en 2 éléments simples

$$G_{uw}(s) = \frac{1}{K_E} \frac{1}{(1+s\tau_m).(1+s\tau_{min})} \tag{III. 17}$$

Avec

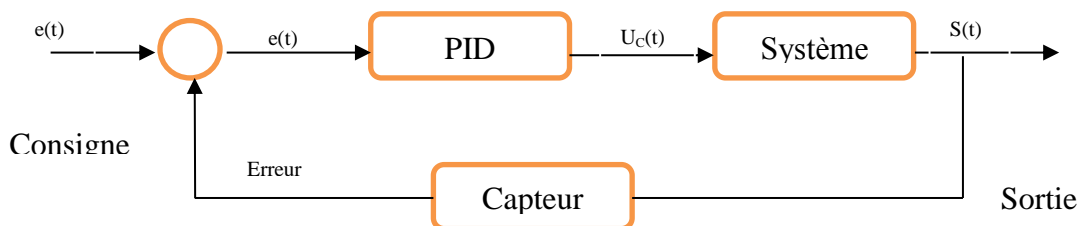
$$\tau_{max} = \frac{1}{s_1} = \frac{2\tau_m\tau_e}{\tau_m - \sqrt{\tau_m^2 - 4\tau_m\tau_e}} \tag{III. 18}$$

$$\tau_{min} = \frac{1}{s_2} = \frac{2\tau_m\tau_e}{\tau_m + \sqrt{\tau_m^2 - 4\tau_m\tau_e}} \tag{III. 19}$$

### III.5 Définition les régulateurs PID

La commande PID est dite aussi (correcteur, régulateur, contrôleur), se compose de trois termes P, I, D d'où le 'P' correspond au terme proportionnel, I pour terme intégral, D pour le terme dérivé de la commande. Les régulateurs PID sont probablement les plus largement utilisés dans le contrôle industriel. Même les plus complexes systèmes de contrôle industriel peut comporter un réseau de contrôle dont le principal élément de contrôle est un module de contrôle ID.

Ce chapitre a pour but, d'implémenter la commande PID classique pour un moteur à courant continu à excitation séparée, pour un seul objectif est d'annuler l'erreur statique, diminuer le dépassement, diminuer le temps de réponse et le temps de monté afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation et d'avoir un système précis, rapide, stable et robuste [10].



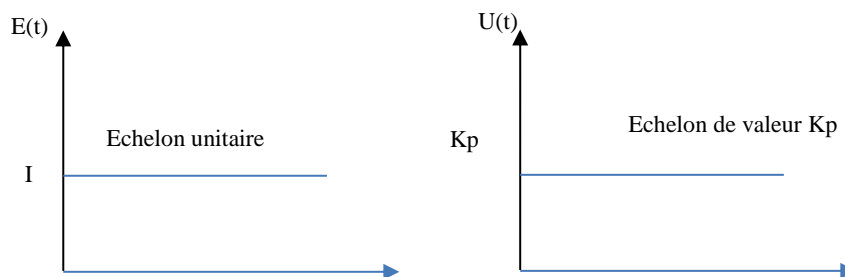
**Figure (III.3) :** Schéma bloc d'un système avec correcteur (Boucle fermée)

### III.6 Actions du Régulateur PID

#### III.6.1 Action Proportionnelle(P)

Cette action est la plus classique. Elle consiste à appliquer une correction en rapport avec la différence instantanée entre la mesure et la consigne courante. Le rapport erreur/commande s'appelle le gain ou (Bande proportionnelle).

La limite de cette commande arrive à partir du moment où l'erreur devient petite ou si la consigne n'est pas constante ; en effet l'annulation de l'écart considère que la consigne à l'instant  $T+1$  sera le même qu'à l'instant  $T$ .



**Figure (III.4) :** Entrée et sortie du régulateur (P)

L'action proportionnelle corrige de manière instantanée, donc rapide, tout écart de la grandeur à régler, elle permet de vaincre les grandes inerties du système. Afin de diminuer l'écart de réglage et rendre le système plus rapide, on augmente le gain (on diminue la bande proportionnelle) mais est limité par la stabilité du système. Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas importante [7].

##### III.6.1.1 Effets du correcteur proportionnel

- \_ Diminution du temps de montée.
- \_ Diminution de l'erreur statique.
- \_ Augmentation du temps de stabilisation.
- \_ Augmentation du dépassement [6].

$$G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = -\frac{R_2}{R_1} = K_p \quad (\text{III. 20})$$

### III.6.2 Action intégrale (I)

Cette action calcule sa contribution à la commande en n'utilisant pas l'écart instantané mais une mémoire des écarts intervenus lors des précédents échantillonnages. Ceci permet d'éliminer à la fois les erreurs statiques trop petites pour que l'action proportionnelle et les erreurs de suivi de consignes en pente. La limite de cette commande intervient à partir du moment où le système ne réagit plus à la commande passée (blocage d'organe, limitation de sécurité, etc.). Dans ce cas précis, le régulateur va amplifier à l'infini sa contribution intégrale. On parle de saturation d'intégrale. La résolution de problèmes passe de l'utilisation d'un PID à l'intégrale externe. La contribution intégrale se calcule en ajoutant tous les  $T_i$  secondes la valeur de l'entrée de l'intégrateur à l'ancienne valeur.

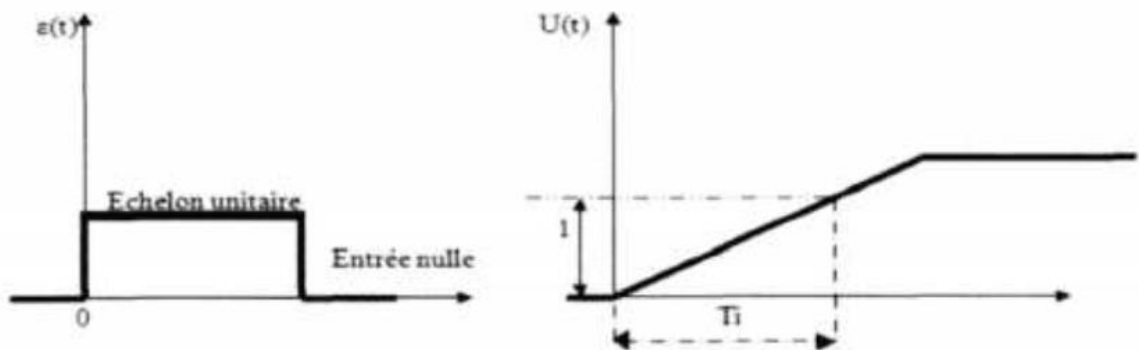


Figure (III.5) : Echelon unitaire

Le réglage de la contribution intégrale peut se faire de deux façons : soit réglage du  $T_i$ , soit réglage de « n » qui est le nombre de fois où l'on somme l'entrée durant l'unité de temps (1 minute ou 1 seconde). Nous avons la relation  $T_i = 1/n$ . Elle permet d'éliminer l'erreur résiduelle en régime permanent. Afin de rendre le système plus dynamique (diminuer le temps de réponse), on diminue l'action intégrale mais, ceci provoque l'augmentation du déphasage ce qui provoque l'instabilité du système en boucle fermée. Et elle est aussi utilisée lorsqu'on désire avoir en régime permanent, une précision parfaite, en outre, elle permet de filtrer la variable à régler d'où l'utilité pour le réglage des variables bruitées [7].

#### III.6.2.1 Effets du correcteur intégral

- Améliore la précision en réduisant ou annulant l'erreur statique.
- Introduit un déphasage de  $-90^\circ$  qui risque de déstabiliser le système (diminution de la marge de phase) [6].

$$U_2 = \frac{1}{RC} \int U_1 dt \quad (\text{III.21})$$

### III.6.3 Action dérivée (D)

L'effet dérivée est sans influence sur le régime permanent (la dérivée est nulle), mais il y a aucun effet important en régime transitoire [8].

#### III.6.3.1 Effets du correcteur dérivé

- ✓ améliore la stabilité du système par l'introduction d'un déphasage supplémentaire de + 90° (augmentation de la marge de phase),
- ✓ mais fait diminuer la précision du système,
- ✓ et amplifie les bruits de hautes fréquences [7].

#### - Cas D'une Commande Proportionnelle-Intégrale (KD=0) [10]

Le correcteur de type PI est une régulation de type P auquel on a ajouté un terme intégral, il élabore alors une commande qui peut être donnée par la relation suivante :

$$U_c(p) = K_p(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon \rightarrow U_c(p) = K_p \varepsilon(p) + K_i \frac{d\varepsilon(p)}{p} \quad (\text{III.22})$$

Le terme intégral complète l'action proportionnelle puisqu'il permet de compenser l'erreur statique et d'augmenter la précision en régime permanent. L'idée est d'intégrer l'erreur depuis le début et d'ajouter cette erreur à la consigne, lorsque l'on se rapproche de la valeur demandée, l'erreur devient de plus en plus faible. Le terme proportionnel n'agit plus mais le terme intégral subsiste et reste stable, ce qui maintient le moteur à la valeur demandée. L'intégrale agissant comme un filtre sur le signal intégré, elle permet de diminuer l'impact des perturbations (bruit, parasites), et il en résulte alors un système plus stable. Malheureusement, un terme intégral trop important peut lui aussi entraîner un dépassement de la consigne, une stabilisation plus lente,

III.6.3.2 Effets du correcteur proportionnel-Intégral

- Diminution du temps de montée.
- Elimination de l'erreur statique.
- Augmentation du temps de stabilisation.
- Augmentation du dépassement [6].

$$G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = -\frac{R_2 + \frac{1}{C_1 P}}{R_1} = -\frac{1 + R_2 C_1 P}{R_1 C_1 P} = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C_1 P}\right) \quad (III. 23)$$

Avec :

- Gain proportionnel :

$$K_P = -\frac{R_2}{R_1} \quad (III.24)$$

- Gain intégral :

$$K_i = -\frac{1}{R_2 C_1} \quad (III. 25)$$

Structure de la correction (PI) :

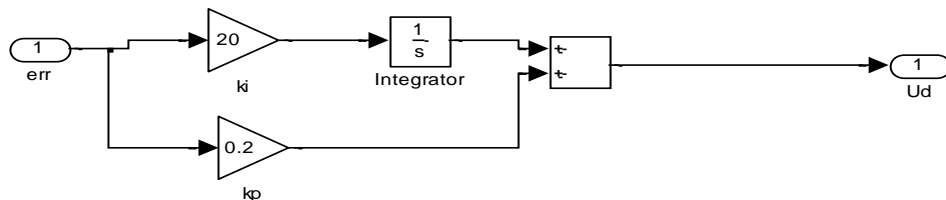


Figure (III.6) : Schéma bloc du régulateur PI

- Cas d'une Commande Proportionnelle-Intégrale-Dérivée PID

Les correcteurs, usuellement utilisés en pratique sont les correcteurs à effet proportionnel intégral et dérivé (P.I.D.). Ils permettent d'engendrer à partir de la sortie du comparateur (c'est dire l'écart existant entre la consigne et la grandeur à réguler) un signal proportionnel à l'erreur et à sa dérivée d'une part, et à son intégral [6].

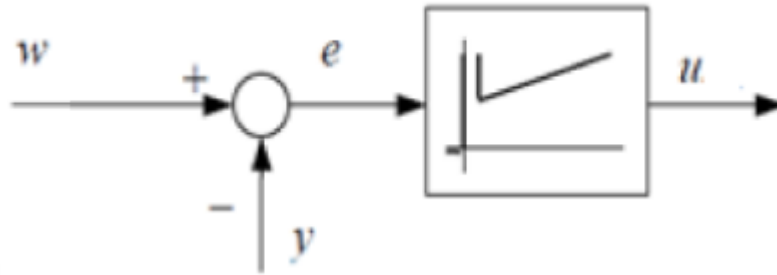


Figure (III.7): Symbole de correcteur PID

La commande délivrée par ce correcteur est de la forme

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (III.26)$$

Sa fonction de transfert est la suivante

$$G(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = K_p \frac{1+pT_i+p^2T_iT_d}{pT_i} \quad (III.27)$$

### III.7 Différentes structures d'un PID

On peut distinguer trois structures principales

➤ **Structure série**

La commande délivrée par ce correcteur est de la forme

$$U(t) = K_p \left[ \frac{T_i T_d}{T_i} \right] e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (III.28)$$

Sa fonction de transfert est la suivante

$$G(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} \right) (1 + T_d p) \quad (III.29)$$

➤ **Structure PID Parallèle**

La commande délivrée par ce correcteur est de la forme

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (III.30)$$

Sa fonction de transfert est la suivante



$$G(p) = K_p + \frac{1}{T_{ip}} + \frac{T_d p}{1+\tau p} \tag{III.31}$$

➤ **Structure PID Mixte**

Sa fonction de transfert est la suivante

$$G(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_{ip}} + \frac{T_d p}{1+\tau p} \right) \tag{III.32}$$

➤ **Effet du correcteur**

- ♣ Eliminer l'erreur
- ♣ Améliorer la stabilité
- ♣ Augmenter la rapidité
- ♣ Augmenter la bonde passante

**III.8 Résumé sur l'action des paramètres (coefficients)**

Après avoir expliqué précédemment le rôle de chaque action, proportionnelle, intégrale et dérivé, on représente un résumé sur l'action des paramètres (coefficients) dans le (tableau. III.1) suivant :

**Tableau. (III.1) : Récapitulatif des paramètres PID**

COEFFICENTS	Temps de montée	Temps de stabilisation	Dépassement	Erreur statique
$K_p$	Diminue	Augmente	Augmente	Diminue
$K_i$	Diminue	Augmente	Augmente	Elimine
$K_d$	Change. Faible	Diminue	Diminue	Change. Faible

**III.9 Réglage Des Paramètres**

Régler un régulateur PID consiste à agir sur les 3 paramètres des différentes actions (gain du proportionnel, gain de l'intégral, gain de la dérivée) sur des valeurs optimales pour obtenir la réponse adéquate en précision, rapidité, stabilité et robustesse en sortie du procédé.

**III.10 Simulation du model de la machine sur Matlab**

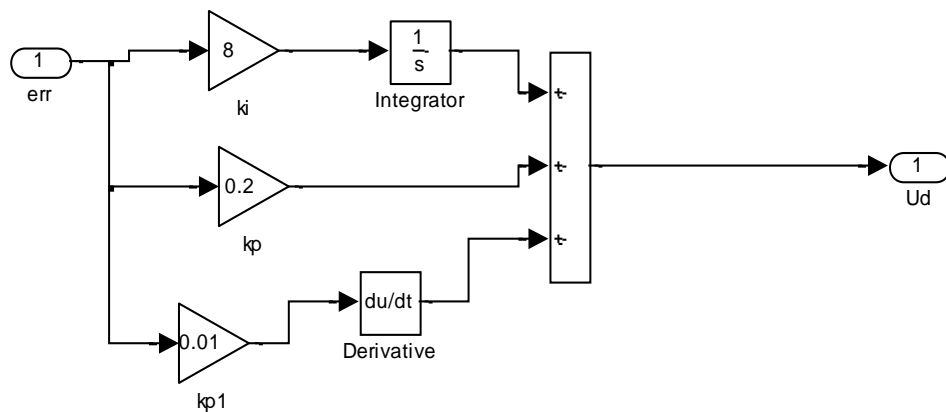
Pour simuler le modèle de la machine nous allons appliquer comme entrée du système une tension en échelon et visualiser comme sortie la vitesse de rotation ainsi que le couple fourni par la machine et le courant absorbe. Les caractéristiques de la machine choisie sont:

- Tension d'alimentation nominale:  $U_n=150V$
- Vitesse de rotation nominale:  $N_n= 20/2200/2500$  rpm
- Résistance d'induit:  $R_a=0.01\Omega$
- Inductance d'induit:  $L_a=0.001mH$
- Courant nominal absorbe  $I_{an}= 710$  A
- Coefficient de frottement visqueux  $f = 0.003$
- Moment d'inertie du rotor  $J = 0.02$  kg.m<sup>2</sup>

### III.11 Simulation De La Commande Avec Régulateur (PID)

#### III.11.1 Structure de la correction (PID)

La correction utilisée est une régulation de la vitesse de rotation du moteur, le système corrigé aura le schéma bloc suivant :



**Figure (III.8):** Schéma bloc du régulateur PID

### III.12 Présentation des résultats de simulation

#### Moteur en vide

On fait la simulation de moteur CC marche en charge avec regulateur PID, les courbes en dessous montrent les résultats de courants de démarrage, la vitesse et le couple de moteur

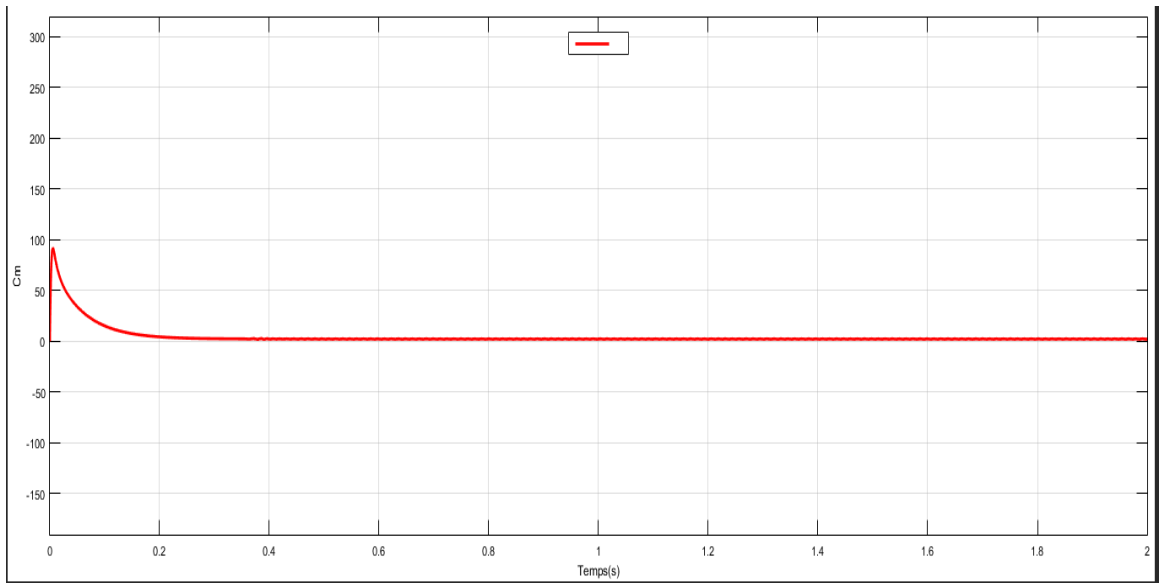


Figure (III.9) : Couple de moteur (cm)

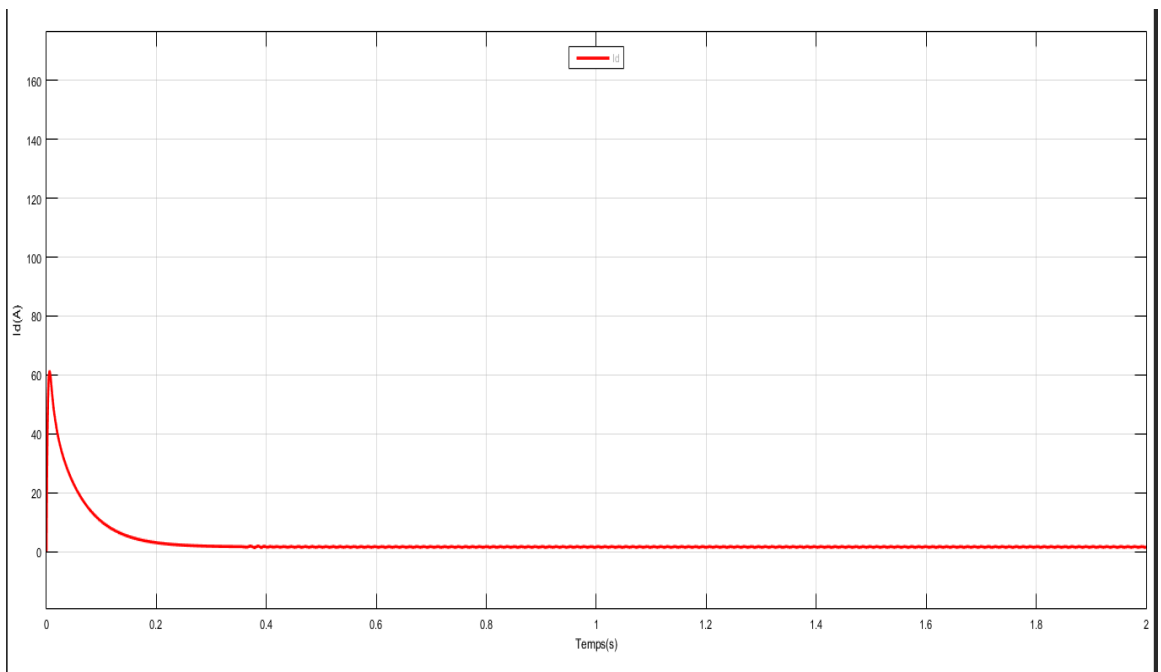


Figure (III.10) : Courant (id)

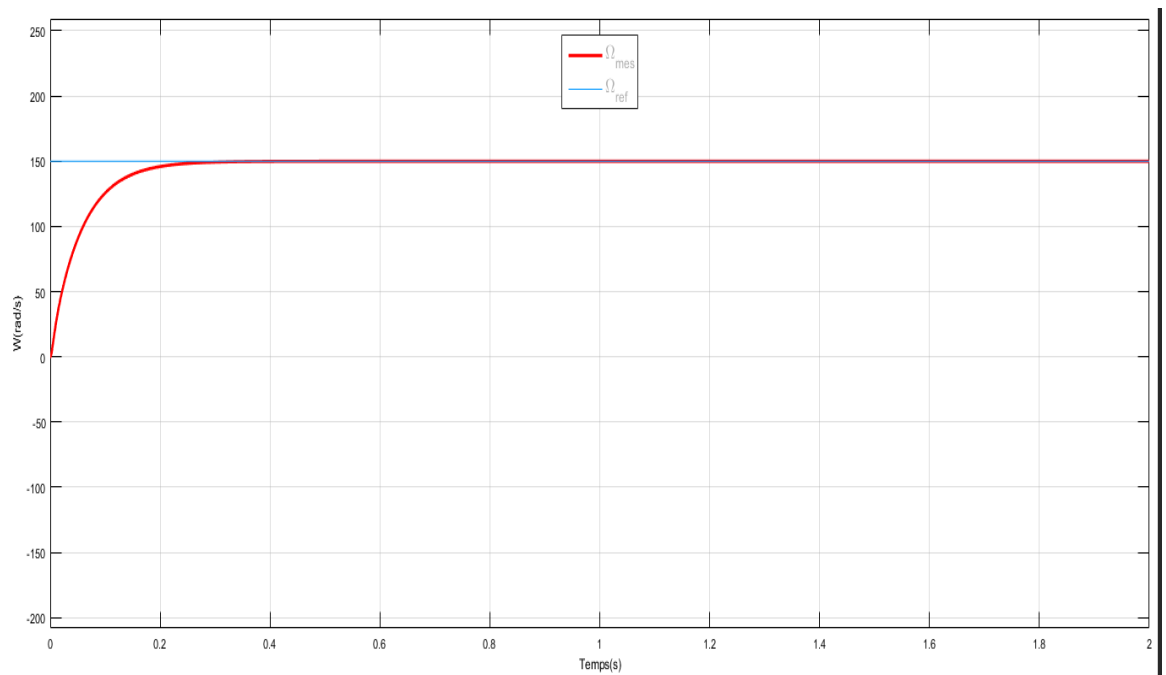


Figure (III.11) : Réponse du moteur (vitesse)

**-Essai en charge**

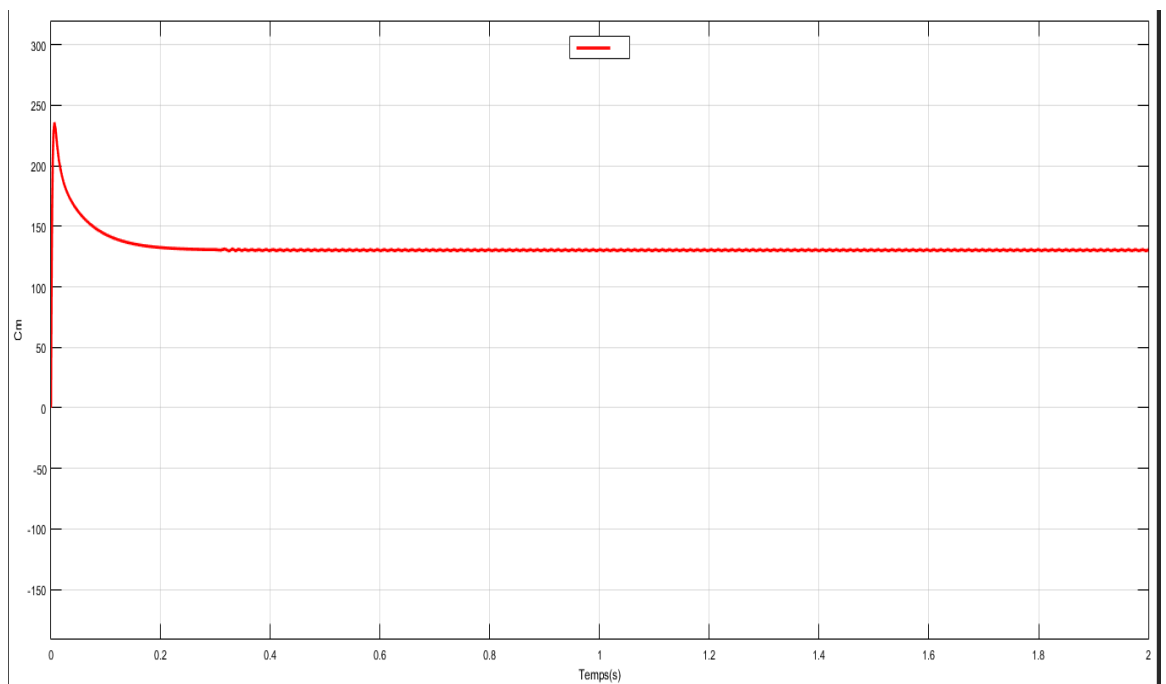


Figure (III.12) : Couple de moteur (cm) en charge

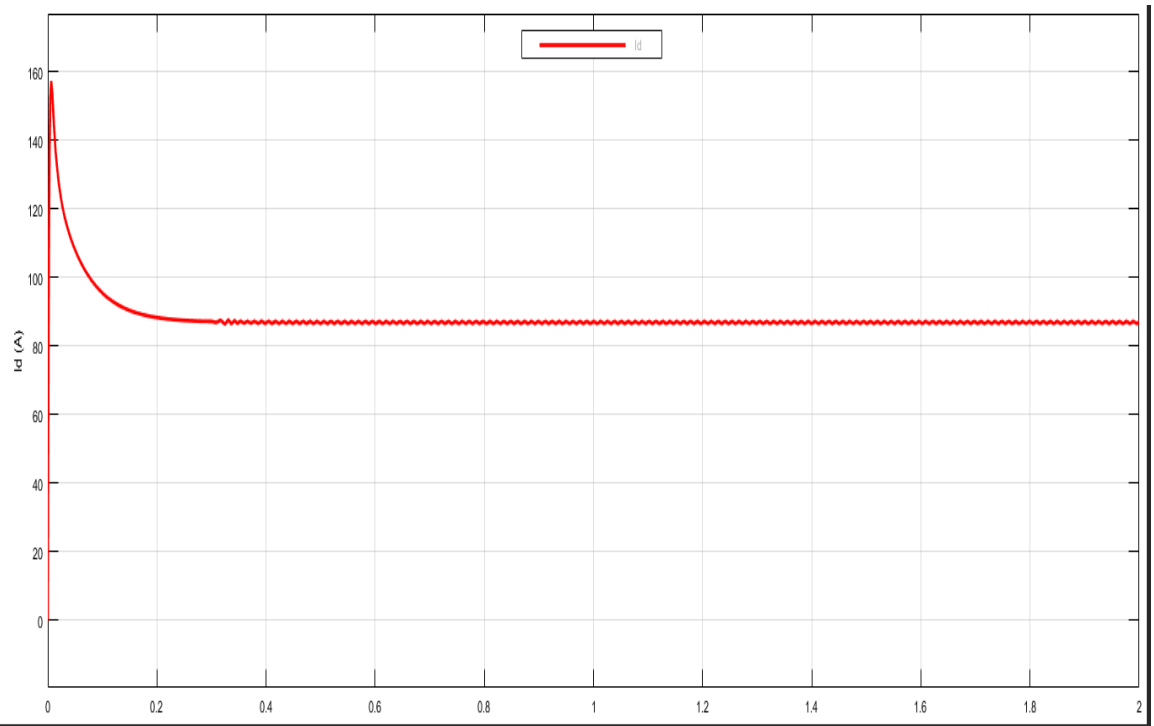


Figure (III.13) : Courant ( $i_d$ ) en charge

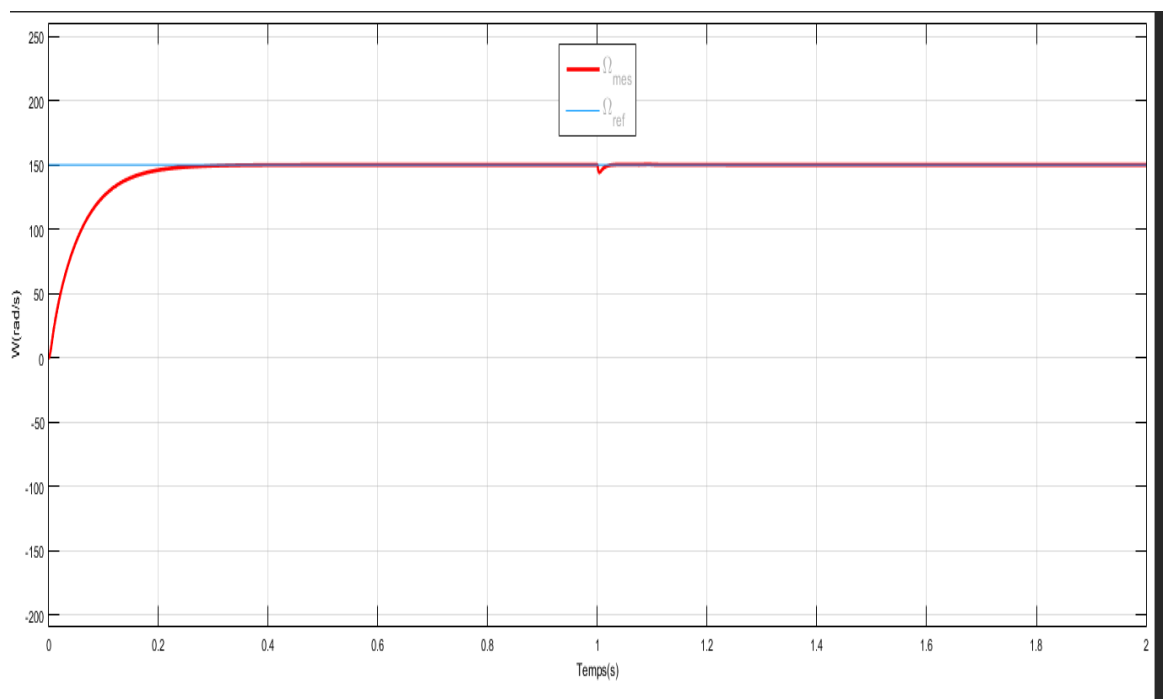


Figure (III.14) : Réponse du moteur (vitesse) en charge

### Interprétation

D'après les courbes il est bien remarquer que :

- Ces courbes montrent l'efficacité de régulateur de système de régulation vis-à-vis le réglage de vitesse avec la charge.
- Dans le cas où on applique un couple résistant (perturbation) que la vitesse diminue à une valeur inférieure à celle du régime permanent en un temps moyennement court puis retourne au régime établi jusqu'à l'élimination de la perturbation où elle augmente rapidement puis rentre au régime permanent.

L'analyse de ces résultats confirme que cette technique de commande est bien adaptée à notre processus, avec des avantages suivants :

- Le régime transitoire de la vitesse du moteur s'établit en moins de 0.02s.
- L'erreur entre la vitesse du moteur et sa consigne, au régime permanent, est pratiquement nulle.

Au moyen du choix des coefficients du régulateur, il est possible d'obtenir un comportement désiré en boucle fermée, caractérisant les performances du système de régulateur. Les critères à satisfaire sont les suivants :

- Les effets des perturbations doivent être minimisés,
- Les changements de la consigne doivent s'effectuer en douceur tout en étant rapides,
- La mesure doit être égale à la consigne,
- Le système ne doit pas "pomper", y compris dans le cas d'une variation du procédé.
- Il n'est en général pas possible de trouver un régulateur qui soit optimal pour tous les critères, et un compromis doit être trouvé. Par exemple, pour obtenir une bonne compensation des perturbations, le régulateur doit être réglé de façon à réagir rapidement.
- En fin on peut conclure que le rôle principal du régulateur de vitesse et de maintenir à niveau constant la vitesse de sortie quelle que soit la variation de la charge

### III.13 Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour la simulation d'un moteur à courant continu à l'aide de MATLAB après une modélisation de la machine à étudier avec un régulateur PID afin de stabiliser la vitesse en éliminant la perturbation, la simulation a été réalisée en charge puis a vide en charge pour voir le rôle important de régulateur PID dans la stabilité de courant et vitesse.

Les courbes résultantes de simulation de courant de démarrage, couple et vitesse montrent l'efficacité de régulateur PID pour l'amélioration de la stabilité du moteur.

# **CONCLUSION GENERALE**



### Conclusion Générale

En plus de quarante ans, les moteurs à courant continu ont démontré leur simplicité et leur fiabilité. Ils ont fait leurs preuves dans l'industrie. Actuellement, ce type des moteurs qui, cette fois, est associé à un variateur de vitesse statique (variateur électronique) dont la technologie est plus simple et peu onéreuse tout en demandant l'entretien et en offrant des performances élevées dans une plage de vitesse très large (de 1 à 100 %).

Le MCC est un moteur dont le rotor est entraîné par un champ magnétique tournant dans le stator (il peut être généré par un bobinage ou par un aimant permanent). Le rotor est alimenté par le stator, qui lui transmet du courant continu par l'intermédiaire de balais. Ces balais glissent sur le collecteur et avec le frottement à vitesse élevées posent plusieurs problèmes ce qui nécessite l'entretien et la maintenance périodique.

A l'issue de ce projet, nous pouvons tirer des points suivants :

➤ Le moteur à courant continu est une machine qui transforme l'énergie électrique absorbée en une énergie mécanique entraînant une charge mécanique, il est constitué principalement par l'inducteur, l'induit et le collecteur qui l'inconvénient majeur et pour ce la maintenance devient indispensable pour le MCC ce qu'on a étudié au premier chapitre.

➤ Le deuxième chapitre a présenté la maintenance qui a pour but d'assurer la disponibilité optimale des installations de production et de leurs annexes. Dans les moteurs courant continue, la maintenance est très importante pour la fiabilité et le contrôle du MCC. Le dispositif collecteur/balais constitue la partie la plus délicate de la machine à courant continu, et donc les plus sensibles à tout abus. Dans des conditions normales Cela nécessite un grand soin, des spécialistes et des équipements spéciaux dans le processus de maintenance, menant à un processus d'entretien élevé.

➤ Le couple développé par un moteur à courant continu est proportionnel au courant d'induit et au flux magnétique qui dépend du courant d'excitation. Après avoir la modélisation des circuits électriques du MCC on a élaboré l'asservissement de la vitesse tout en contrôlant le courant d'induit et par la suite le couple comme n a vu au dernier chapitre.

Les résultats de simulation obtenus valident cette modélisation et ce control, ils montrent un bon réglage de vitesse et présentent des bons performances: poursuite de consigne, rapidité, précision statique et pas de dépassement (un peu ou légère de dépassement).



# BIBLIOGRAPHIES

- [1] <https://www.mdp.fr/documentation/lexique/courant-continu/definition.html>
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine\\_%C3%A0\\_courant\\_continu](https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_%C3%A0_courant_continu)
- [3] Cours Machines à courant continu Djamel taibi
- [4] <https://energieplus-lesite.be/techniques/les-ascenseurs/le-moteur-a-courant-continu/>
- [5] Le moteur à courant continu Monsieur Guillotin
- [6] Zoghmar Mahieddine Habchi Aboubakar seddik  
Étude comparative entre deux régulateurs PID et FLC appliqués à la Machine à Courant Continu
- [7] Sadeg Mohammed Amine, yahiatene Fayçal « Etude et réalisation de la commande par retour d'état adaptative d'un moteur à courant continu»
- [8] Régulation du moteur dc Mécatronique met2 eem / en  
Michel Girardin et Bernard Schneider Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud CH-1400 Yverdon-les-Bains
- [9] Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu
- [10] Khiat Nacer Réglage de Vitesse d'un Moteur à Courant Continu en Utilisant les Corrcteurs Classiques (PID)
- [11] Moteurs à courant continu ISO 9001 et ISO 14001
- [12] Industries de procédés / transports / énergie  
balais pour moteurs et générateurs mersen 2-ptt-guide-technique-balais-
- [13] Thème S0.3 Machines électromagnétiques TITRE Les machines à courant continu
- [14] DC motors Moteurs à courant continu Gleichstrommotoren
- [15] Chapitre I Diagnostic des défauts dans la machine asynchrone
- [16] Guide technique maintenance des balaise, porte- balais , collecteur et bagues mersen  
maintenance-moteurs-mercen

## Bibliographies

---

- [17] instructions d'installation, d'utilisation et de maintenance pour machines à courant continu
- [18] LSK Moteurs à courant continu Installation et maintenance Les produits et matériels présentés dans ce document sont à tout moment susceptibles d'évolutio LEROY-SOMER
- [19] Sicme Motori Spa – Strada del Francese
- [20] Ressources formatives – Electricien de Maintenance des Systèmes Automatisés

## الملخص

في هذا العمل درسنا محرك تيار مستمر من حيث صيانة ومراقبة وتحكم. أولا خصائصه المزاي والعيوب حيث يتطلب صيانة مستمرة وتحديدًا للمجمع ثم قمنا بتصميم نموذج لهذا المحرك والتحكم فيه باستخدام المصحح ب. إ. د لضبط سرعته والتحكم في عزم الدوران. بواسطة التيار. يتم التحقق من هذا الامر عن طريق المحاكاة باستخدام برنامج ماتلاب . من النتائج التي حصلنا عليها راينا كفاءة هذه المصححات الكلاسيكية في ضبط السرعة في مواجهة اضطراب الحمل

الكلمات\_ المفتاحية

محركات التيار المستمر، تصميم، مراقبة، صيانة، ماتلاب ، تحكم ، المصحح ب. إ. د.

### Résumé :

Dans ce travail nous avons étudié un moteur à courant continu (MCC): maintenance, entretien et contrôle. Au premier lieu, nous avons cité ses caractéristiques (avantages et inconvénients) ce qui demande une maintenance périodique notamment au collecteur. Par la suite nous avons modélisé et commandé un MCC en utilisant les correcteurs PID pour régler sa vitesse et contrôler son couple par le courant. La validation de cette commande est faite par simulation en utilisant le logiciel Matlab/Simulink. D'après les résultats obtenus nous avons constaté l'efficacité de ces régulateurs pour le réglage de la vitesse vis-à-vis à la perturbation de la charge.

Les mots\_ clés :

MCC, Contrôle, Maintenance, Régulation, PID, Matlab/simulink.