

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Faculté de Technologie
Département de Génie électrique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme Mastère en électrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

Thème

**Dimensionnement optimal des systèmes de
Motorisation industriels**

Réalisé par :

- **Mr. CHERFI Ghilas**
- **Melle. BENAHMED Baya**

Encadré par :

Mr. TAZERART Farid

2023/2024

Dédicace

A mes chers parents,

Mais aucune dédicace ne serait témoin de mon profond amour, mon immense gratitude et mon plus grand respect, car je ne pourrais jamais oublier la tendresse et l'amour dévoué par lesquels ils m'ont toujours entouré depuis mon enfance.

Je dédie aussi ce Modeste travail :

A mon grand frère « Oussama », Et à tous mes amis en particulier « Sarah », « Djamila », Et mon binôme « Ghilas » qui m'a aidé à rédiger ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon père et ma mère, qui m'ont soutenu et encouragé durant tout mon parcours.

A mon frère, et mes sœurs.

A tous mes amis en particulier à mon binôme « Baya » qui a contribué à la réalisation de ce travail.

Remerciement

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à Dieu, qui nous a accordé la force et le courage nécessaire pour mener à bien ce travail de fin d'études.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos professeurs et le chef de département qui ont contribué à notre formation.

*Nous exprimons notre sincère reconnaissance envers notre encadreur aimable, Mr.TAZERART
Pour sa gratitude et son soutien inestimable tout au long de cette période de travail.*

Liste des symboles :

J : moment d'inertie.

C_N : Couple nominal.

w_n : Vitesse nominale de rotation.

M : masse.

F : la force.

R : rapport de réduction.

E_{cr} : Énergie cinétique de rotation.

E_{ct} : Énergie cinétique de translation.

P : puissance.

C_a : Couple d'accélération.

T_d : Temps de démarrage.

w_r : Vitesse angulaire de la roue.

ω_p : Vitesse angulaire de pignon.

Z : Nombre de dent

m : Module.

D : Diamètre primitif.

D_a : Diamètre de tête.

D_f : Diamètre de pied.

h_a : Saillie.

h_f : Creux.

h : Hauteur de dent.

b : Largeur de denture.

α : Entraxe.

K : Coefficients de correction.

T_{am} : Température ambiante.

I : Courant.

$\theta_s \theta_r$: Déphasage de l'axe direct par rapport au stator et rotor.

ω_s : Pulsation de stator.

ω_r : Pulsation de rotor.

ω : Pulsation d'alimentation.

P : nombre de paires de pole.

d_q : Axes correspondent au référentiel lié au champ tournant.

E : tension d'alimentation.

M : indice de la modalisation.

f_p : Fréquence de la porteuse.

f_v : Coefficient de frottement visqueux.

Acronyme :

Fdm : Facteur de marche.

FOC : Field Oriented Control (commande vectorielle a flux orienté).

IRFOC : indirect Field Oriented Control (commande vectorielle indirecte à flux orienté).

MAS : machine asynchrone.

MCC : Machine à courant continue

PI : Régulateur Proportionnel Intégral.

PD : Proportionnel Dérivée.

MLI : Modalisation de Largeur D'impulsion.

Sommaire :

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Entraînements électriques et mécanismes de transmission.

I.1 Introduction.....	2
I.2 Constitution des entraînements électrique.....	2
I.2.1 Caractéristiques mécanique des moteurs électriques	2
I.2.2 Caractéristique mécanique des machines entraînées	3
I.2.3 Réducteur de vitesse	3
I.2.4 Calcule les paramètres de charge ramenée sur l'arbre moteur.....	4
I.2.5 Effectuer un premier choix de moteur.....	7
I.3 Transmission mécanique.....	8
I.3.1 Transmission sans modification de la vitesse.....	8
I.3.2 Transmission avec modification de la vitesse.....	8
I.3.2.1 Réducteurs à engrenages	8
I.3.2.2 Système roue et vis sans fin.....	12
I.3.2.3 Train d'engrenage.....	13
I.3.2.4 Système de roue et crémaillère.....	14
I.4 Conclusion.....	16

Chapitre II : Vérification du choix de la motorisation

II .1. Introduction	17
II .2. Corriger le choix du moteur adapté aux conditions d'utilisation	17
II.2.1 correction suivant la température	18
II.2.2. Correction suivent l'altitude	18
II.3. Types de service des moteurs électriques.....	18
II.3.1. Types de services principaux : SI...S10 ;	18
□ Service continu _Service type S1	19
□ Service temporaire_ service de type S2.....	20
□ Service intermittent périodique sans démarrage _ Service type S3	20
□ Service intermittent périodique avec démarrage- Service type S4	21
□ Service intermittent périodique à démarrage et freinage électrique – Service type S5	22

□ Service ininterrompu périodique à charge intermittente –Service type S6.....	22
□ Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7.....	23
□ Service ininterrompu périodique à changement liés de charge et vitesse – Service type S8	23
□ Service à variation non périodique de charge et de vitesse – Service type S9	24
□ Service à régimes constants distincts-Service type S10.....	25
II.4 Vérification du moteur	26
II.4.1 Vérification du moteur au démarrage.....	26
II.4.1.1 Calculer le couple d'accélérateurs nécessaire	26
II.4.1.2 Organigramme de vérification du temps de démarrage du moteur	27
II.4.2 Vérification du moteur à l'échauffement.....	28
Détermination de la puissance équivalente P_{eq} (crédible) en fonction des services S2	
a S10.....	28
II.4.2.1 Organigramme de vérification de l'échauffement de moteur.....	28
II.4.2.2 Classe d'isolement	29
II.5 Coût de cycle de vie d'un moteur électrique	30
II.6 Conclusion.....	30

Chapitre III : La Commande vectorielle appliquée aux types des services.

III.1 Introduction	31
III.2 Commende à flux orienté.....	31
III.3 Choix d'orientation de flux.....	32
III.4 Types de la commande vectorielle.....	32
III.4.1 Commande vectorielle directe	33
III.4.2 commande vectorielle indirecte	33
III.5 Structure de la commande indirecte à flux rotorique orienté	34
III.5.1 Mise en équation de la commande IRFOC	34
III.6 Commande vectorielle à flux rotorique orienté	35
III.6.1 Découplage entré-sortie	35
III.6.1.1 Découplage par compensation	35
III.6.2. Estimation ω_{set} θ_s	36
III.7 Régulation	36
III.7.1. La conception des régulateurs	37
III.7.2 Caractéristiques des régulateurs	37
III.7.3 Calcule des régulateurs	38
III.8 Simulation	40
III.8.1 simulations de la commande vectorielle.....	39
Interprétation de résultats	46

III.9 Conclusion	47
------------------------	----

Chapitre IV : Application pour le choix des moteurs électriques.

IV.1 Introduction	48
IV.2 LES PROCEDURES SUIVIES POUR LA REALISATION DU PROJET.....	49
IV.2.1 Élaboration des Modèles du Système d'Information	49
IV.2.1.1 Modèle Conceptuel de Données (MCD)	50
IV.2.1.2 Modèle Logique de Données (MLD).....	50
IV.2.2 Implémentation de la Base de Données.....	50
IV.2.3 OUTILS UTILISÉS POUR LA RÉALISATION DU PROJET.....	50
MySQL.....	50
IV.2.4 Développement de l'Application avec Java et NetBeans.....	51
IV.2.4.1 Conception de l'Interface Graphique	51
IV.2.4.2 Connexion de NetBeans à la Base de Données.....	51
IV.2.4.3 Compilation et Déploiement.....	51
IV.2.5 Conception de la Base de Données et de l'Application	52
IV.3 L'interface principale	52
IV.3.1 Menu du choix du mécanisme.....	52
IV.3.1.1 Boîte de dialogue	54
IV.3.2 Menu de la consultation	55
IV.4 Exemple d'application	56
IV.5 Conclusion	59
Conclusion générale	60

Liste des figures :

Chapitre I : Entraînements électriques et mécanismes de transmission.

Figure I-1 : schéma d'un entraînement électrique.....	2
Figure I-2 : Cas d'un seul réducteur de vitesse.....	4
Figure I-3 : cas de deux réducteurs de vitesse.....	6
Figure I-4 : joint cardan	8
Figure I-5 : Réducteur à engrenage.....	8
Figure I-6 : engrenage a dentue hélicoïdale.	9
Figure I-7 : engrenage a dentue droit.....	9
Figure I-8 : Engrenage concourant.....	10
Figure I-9 : Engrenage gauche.....	10
Figure I-10 : Caractéristique des engrenages.....	11
Figure I-11 : système roue et vis sans fin	13
Figure I-12 : train d'engrenage	13
Figure I-13 : Système de roue et Crémaillère	14

Chapitre II : Vérification du choix de la motorisation

Figure II-1 : Service de type S1.....	19
Figure II-2 : Service de type 2.	20
Figure II-3 : Service de type S3.....	21
Figure II-4 : Service de type S4.....	21
Figure II-5 : Service de type S5.....	22
Figure II-6 : Service de type S6.....	22
Figure II-7 : service de type S7	23
Figure II-8 : service de type S8.....	23
Figure II-9 : service de type S9.....	24
Figure II-10 : service de type S10.....	25
Figure II-11 : Caractéristique mécanique de la machine asynchrone.	26
Figure II-12 : L'organigramme de vérification du temps de démarrage.	27
Figure II-13 : Organigramme de vérification de l'échauffement de moteur	29

Chapitre III : La Commande vectorielle appliquée aux types des services.

Fig.III-1 : Orientation de flux (rotorique, statorique, d'entrefer).....	31
Figure.III-2 : Découplage par compensation.....	36
Figure.III-3 : Représentation de la commande par PI.....	37
Figure. (III-4) : Schéma fonctionnel de la régulation de vitesse.....	38
Figure.III-5 : Schéma fonctionnel de la régulation de flux.....	39
Figure.III-6 : Schéma blocs de simulation de la commande vectorielle.....	40
Figure.III-7 : couple électromagnétique.....	41

Figure.III-8 : vitesse rotorique.....	41
Figure.III-9 : flux rotorique.....	41
Figure.III-10 : Courants statorique.....	42
Figure.III-11 : Zoome d'une partie des courants statorique	42
Figure.III-12 : présentation des services de fonctionnement.....	43
Figure.III-13 : Commande vectorielle avec les services de démarrage S1—S10.....	44
Figure.III-14: Couple électromagnétique correspondant au service S8.....	45
Figure.III-15: Vitesse rotorique	45
Figure.III-16 : flux rotorique.....	45
Figure.III-17: courants statorique.....	46
Figure.III-18: zoome d'une partie des courants statorique.....	46

Chapitre IV: Application pour le choix des moteurs électriques.

Figure IV-1 : L'interface principale.....	52
Figure IV-2: Menu du choix des mécanismes	53
Figure IV-3 : boîte de dialogue du sous-menu ascenseur.....	54
Figure IV-4: table des moteurs à deux pôles.....	55
Figure IV-5 : introduction des données du convoyeur à bande.....	56
Figure IV-6: résultat du choix préliminaire.....	57
Figure IV-7 : Fin de la vérification.....	58
Figure IV-8 : Affichage du résultat final.....	59

Liste des Tableaux :

Chapitre I : Entraînements électriques et mécanismes de transmission.

Tableau I-1 : Caractéristique des engrenages parallèles.....	12
--------------------------------------------------------------	----

Chapitre II : Vérification du choix de la motorisation

Tableau II-1 : classe d'isolement	29
-----------------------------------------	----

INTRODUCTION GENERALE

Les progrès technologiques et la mondialisation des marchés ont entraîné une évolution rapide des systèmes de motorisation, notamment dans le secteur industriel. Face à cette situation, il devient impératif de déterminer les dimensions optimales des systèmes de motorisation pour assurer une efficacité énergétique, une fiabilité opérationnelle et une durabilité accrue des équipements. La problématique de ce mémoire est donc : comment définir les dimensions optimales des systèmes de motorisation industrielle pour garantir leur performance maximale dans diverses conditions d'utilisation ?

Pour aborder cette problématique, ce mémoire propose d'analyser divers aspects techniques et méthodologiques requis pour évaluer et sélectionner correctement les moteurs électriques et leurs systèmes de transmission correspondants. Le principal but consiste à mettre en place une méthode rationnelle et systématique pour choisir les moteurs les plus appropriés aux conditions particulières de service et d'utilisation industrielle.

Les entraînements électriques et les mécanismes de transmission seront exposés dans le premier chapitre, avec une description détaillée des caractéristiques mécaniques des moteurs et des machines entraînées, ainsi que le calcul des paramètres de la charge ramenée sur l'arbre moteur [1].

Le deuxième chapitre traitera de la vérification et de l'adaptation du choix initial du moteur en fonction des conditions d'utilisation particulières, comme la température, l'altitude et les divers services offerts par les moteurs électriques.

L'étude de la commande vectorielle sera abordée dans le troisième chapitre, une méthode sophistiquée de contrôle des moteurs électriques, qui permettra une régulation précise de la vitesse et du couple.

Le chapitre quatre présentera une application informatique que nous avons créée avec NetBeans et liée à une base de données. La mise en place de cette application automatisera et simplifiera la sélection des moteurs asynchrones.

Pour terminer, une conclusion générale synthétisera notre travail.

CHAPITRE I :
ENTRAINEMENTS
ÉLECTRIQUES ET
MÉCANISMES DE
TRANSMISSION.

I.1 Introduction

Les entraînements électriques dans l'industrie sont des systèmes électromécaniques conçus pour accomplir des processus technologiques grâce au mouvement de composants de travail, avec le moteur électrique, et plus particulièrement la machine asynchrone à cage, comme élément central.

La conception de ces systèmes d'entraînement est une tâche complexe en raison de la diversité des procédés industriels et de la nature souvent non linéaire des composants impliqués. Cela nécessite une analyse globale du système pour garantir un fonctionnement fiable. Pour y parvenir, il faut des connaissances issues de différents domaines de l'ingénierie moderne : machines électriques, électronique, informatique et mécanique. Cette tâche multidisciplinaire requiert la collaboration de spécialistes (experts) de plusieurs secteurs.

I.2 Constitution des entraînements électrique

Le schéma d'un entraînement électrique est représenté sur la fig.I.1.

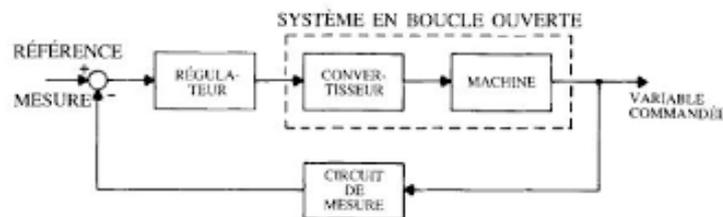


FIG. I.3 Commande en boucle fermée

Figure I-1 : schéma d'un entraînement électrique.

I.2.1 Caractéristiques mécanique des moteurs électriques

Les caractéristiques mécaniques des moteurs électriques sont :

- ✓ Son moment d'inertie J_{moteur} en Kg ;
- ✓ Son couple nominal C_N en N.m ;
- ✓ Sa vitesse nominale ω_n en tr/min.

I.2.2 Caractéristique mécanique des machines entraînées

Translation ; caractérisé par

- ✓ Sa masse M en Kg ;
- ✓ Sa vitesse V en m/s ;
- ✓ Sa force de déplacement F en N.

Rotationnelle ; caractérisé par

- ✓ Sa masse M en Kg ;
- ✓ Sa vitesse W en rad/s ;
- ✓ Son moment d'inertie J_{ch} en Kg/m^2 □ Son couple de charge C_{charge} en N.m.

I.2.3 Réducteur de vitesse

Un réducteur est un élément permettant de transmettre une puissance entre un moteur et une machine en réduisant la vitesse (c'est-à-dire avec un rapport de réduction inférieur à 1). Les réducteurs sont généralement composés d'organes mécaniques, des engrenages, des mécanismes entraînés (accouplements, frein), des structures servant de support (arbres, paliers) généralement incorporés dans un carter. Chacun des composants influe sur le comportement dynamique du réducteur. Il existe différents types de réducteurs : mécaniques, hydrauliques, pneumatiques. Parmi les réducteurs mécaniques, on rencontre, les systèmes : poulies/courroies, trains d'engrenage ordinaire (parallèle, conique, gauche) et trains épicycloïdaux (plan, sphérique). Un réducteur est un organe mécanique à base d'engrenages très utilisé dans l'industrie mécanique, il entraîne aussi bien de grosses installations que de petits matériels, il possède deux arbres un arbre d'entrée et un arbre de sortie, si on inverse l'entrée et la sortie on obtient un multiplicateur, le nom de réducteur est réservé à un mécanisme s'intercalant entre le moteur et le récepteur. Lorsque le moteur est fixé sur le carter du réducteur, l'ensemble porte le nom de motoréducteur [2].

Un réducteur sert à réduire la vitesse d'un moteur (hydraulique, pneumatique, thermique, électrique) avec transmission de la puissance motrice vers une machine réceptrice en absorbant moins d'énergie. Il permet aussi d'augmenter le couple moteur afin d'entraîner en rotation un organe récepteur sous l'effet d'un nouveau couple [2].

La loi d'entrée et de sortie d'un point de vue cinématique revient à établir le rapport entre les vitesses angulaires pour avoir le rapport de réduction comme suit :

Si $R < 1$: Réducteur ;

Si $R > 1$: Multiplicateur.

R : rapport de réduction.

I.2.4 Calcul des paramètres de charge ramenée sur l'arbre moteur

- Cas d'un seul réducteur de vitesse

Un moteur avec un seul réducteur de vitesse est un type de dispositif mécanique utilisé pour réduire la vitesse de rotation d'un moteur tout en augmentant le couple de sortie. Ce réducteur de vitesse est généralement composé d'engrenages. Ce type de configuration est couramment utilisé dans diverses applications telles que les véhicules, les machines industrielles et les équipements de transmission de puissance (Fig. I.2).

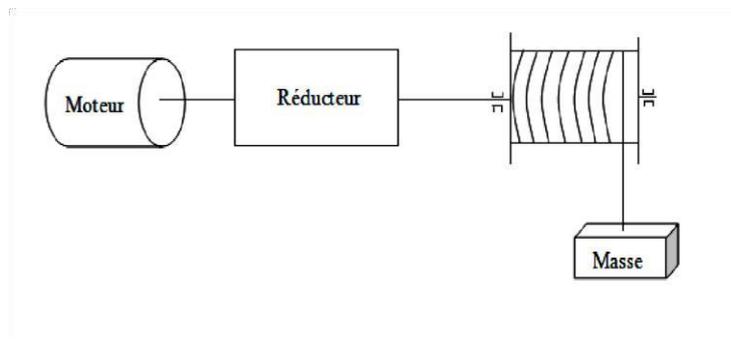


Figure I-2 : Cas d'un seul réducteur de vitesse

Moment d'inertie ramené

Pour calculer le moment d'inertie ramené sur l'arbre du moteur avec un seul réducteur de vitesse, on doit tenir compte du moment d'inertie de la charge (J_{charge}) ainsi que du rapport de réduction du réducteur de vitesse R et son rendement η . Le moment d'inertie ramené sur l'arbre du moteur ($J_{charge-ramenée}$) peut être calculé comme suit :

Soit l'énergie cinétique de rotation

$$E_{cr} = \frac{J_{charge} \omega^2}{2} \quad (I.1)$$

Et l'énergie cinétique de translation

$$E_{ct} = \frac{mV^2}{2} \quad (I.2)$$

$$\eta_{réducteur} = \frac{p_{charge}}{p_{moteur}} = \frac{p_2}{p_1} \quad (I.3)$$

$$p_{charge} = p_{moteur} \eta_{réducteur} \quad (I.4)$$

$$p_{charge} = \frac{J_{charge} \omega_2^2}{2} \quad (I.5)$$

$$p_{moteur} = \frac{J_{charge-ramené} \omega_1^2}{2} \quad (I.6)$$

$$\frac{J_{charge} \omega_2^2}{2} = \frac{J_{charge-ramené} \omega_1^2 \eta_{réducteur}}{2} \quad (I.7)$$

$$J_{charge-ramené} = \frac{J_{charge} \omega_2^2}{\eta_{réducteur} \omega_1^2} \quad (I.8)$$

Nous avons:

$$R = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (I.9)$$

Donc

$$J_{charge-ramené} = \frac{J_{charge} R^2}{\eta_{réducteur}} \quad (I.10)$$

Le moment d'inertie total

L'équation mécanique

$$C_a = C_m - C_r = J_{total} \quad (I.11)$$

$$J_{total} = J_{moteur} + J_{réducteur} + J_{charge ramené} \quad (I.12)$$

$$J_{total} = J_{moteur} + J_{réducteur} + \frac{J_{charge} R^2}{\eta_{réducteur}} \quad (I.13)$$

Temps de démarrage

On a

$$C_a = C_m - C_r = J_{total} \frac{d\Omega}{dt}$$

Au démarrage (I.14)

$$C_a = C_m - C_r = J_{total} \frac{\omega_n - 0}{T_d - 0}$$

$$T_d = \frac{J_{total} \omega_n}{C_a} \quad (I.15)$$

$$T_d = \frac{J_{total} \omega_n}{C_a - C_r} \quad (I.16)$$

$$(I.17)$$

Le couple de charge ramené sur l'arbre de moteur

On a

$$\eta_{réducteur} = \frac{p_2}{p_1} \tag{I.18}$$

$$p_2 = \eta_{réducteur} p_1 \tag{I.19}$$

$$C_{charge} \omega_2 = \eta_{réducteur} C_{charge-ramené} \omega_1 \tag{I.20}$$

$$C_{charge-ramené} = \frac{C_{charge} R}{\eta_{réducteur}} \tag{I.21}$$

- **Cas de deux réducteurs de vitesse**

Un moteur électrique avec deux réducteurs de vitesse est une configuration utilisée dans de nombreuses applications où un couple élevé et une faible vitesse de rotation sont nécessaires. Les deux réducteurs de vitesse permettent de réduire la vitesse de rotation du moteur de manière plus importante, ce qui peut être nécessaire dans des applications telles que les convoyeurs, les machines industrielles, les ascenseurs, etc. Cette configuration offre généralement un contrôle plus précis sur la vitesse et le couple de sortie (Fig.I.3).

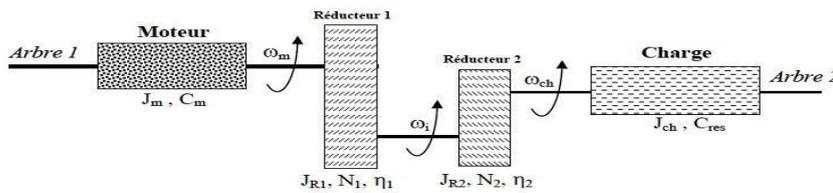


Figure I-3 : cas de deux réducteurs de vitesse

Le moment d'inertie ramené

$$J_{charge-ramenée} = \frac{J_{charge}}{\eta_{réducteur 1} i_1^2 \eta_{réducteur 2} i_2^2} \tag{I.22}$$

Telle que

$$i_1 = \frac{1}{R_1} \tag{I.23}$$

$$i_2 = \frac{1}{R_2} \tag{I.24}$$

Le moment d'inertie total

$$J_{total} = J_{moteur} + J_{réducteur\ 1} + \frac{J_{réducteur\ 1}}{\eta_{réducteur\ 1} i_1^2} + J_{charge-ramenée} \quad (I.25)$$

Le couple de charge ramené sur l'arbre de moteur

$$C_{charge-ramenée} = \frac{C_{charge}}{\eta_{réducteur\ 2} \eta_{réducteur\ 1} i_1 i_2} \quad (I.26)$$

I.2.5 Effectuer un premier choix de moteur

Lors du choix d'un moteur électrique, plusieurs facteurs sont à prendre en considération :

Puissance requise : Déterminez la puissance nécessaire pour notre application en fonction de la charge à entraîner.

- **Tension et fréquence** : Choisissez un moteur dont la tension et la fréquence correspondent à notre alimentation électrique.
- **Vitesse de rotation** : Sélectionnez une vitesse nominale appropriée pour notre application.
- **Couple de démarrage** : Assurez-vous que le moteur à un couple de démarrage adéquat pour surmonter les charges initiales.
- **Efficacité** : Recherchez un moteur avec un rendement élevé pour réduire la consommation d'énergie. Environnement de fonctionnement : Considérez les conditions environnementales telles que la température, l'humidité et la poussière.
- **Taille et poids** : Assurez-vous que le moteur convient à l'espace disponible et à la capacité de charge de notre équipement.
- **Coût initial et coût total de possession** : Évaluez le coût initial du moteur ainsi que les coûts de maintenance et d'exploitation à long terme. En tenant compte de ces facteurs, on pourra choisir le moteur électrique le mieux adapté à notre application.

I.3 Transmission mécanique

I.3.1 Transmission sans modification de la vitesse

Les accouplements de transmission sans modification de la vitesse sont des dispositifs utilisés pour transmettre le mouvement entre deux arbres rotatifs sans altérer la vitesse de rotation. Ils sont souvent utilisés dans les machines où une vitesse constante est nécessaire, comme les moteurs et les pompes. Les types courants incluent les accouplements rigides, les accouplements à denture droite et les accouplements à denture hélicoïdale (fig.I-4).



Figure I-4 : joint cardan

I.3.2 Transmission avec modification de la vitesse

I.3.2.1 Réducteurs à engrenages

Engrenage est un ensemble de deux roues munies de dents assurant un entraînement sans glissement entre deux axes alignés l'un à l'autre (Fig.I-5).

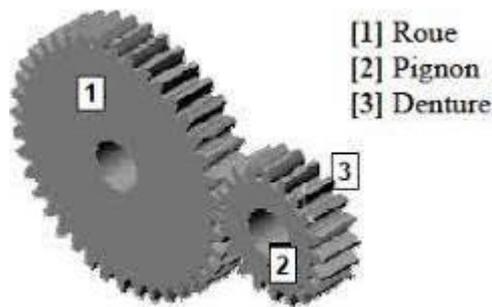


Figure I-5 : Réducteur à engrenage

- **Types d'engrenage**

- **Engrenage parallèle**

Les axes des deux roues sont parallèles dans le même plan, il existe deux types d'engrenage en parallèle, un à denture droite (Fig.I-7) et l'autre à denture hélicoïdale (Fig.I-6).



Figure I-6 : engrenage à denture hélicoïdale.



Figure I-7 : engrenage à denture droite.

- **Avantage de la denture hélicoïdale**

- Transmission plus souple ;
- Plus progressive et moins bruyante ;
- Transmission d'efforts importants, vitesses élevées ;
- Conduite plus grande (2, 3 ou 4 couples de dents toujours en prise).

- **Inconvénients**

- Rendement un peu moins bon ;
- Ces engrenages doivent toujours rester en prise ;
- Sont plus chères [2].

- Engrenage concourant

Il existe une intersection entre les axes des deux roues (Fig.I-8).

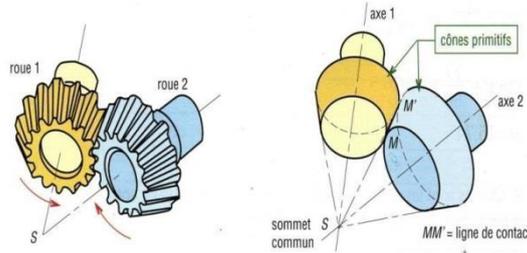


Figure I-8 : Engrenage concourant.

- Engrenage gauche

Un engrenage gauche fait référence à un type spécifique d'engrenage où les dents sont inclinées dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Il est conçu pour transférer le mouvement dans le sens inverse ou pour effectuer une fonction spécifique dans certaines applications mécaniques (Fig.I-9).



Figure I-9 : Engrenage gauche

• Rapport de transmission

On peut assimiler l'engrènement d'un pignon et d'une roue au roulement sans glissement de deux cercles primitifs l'un sur l'autre.

Le rapport de transmission de l'engrènement ou le rapport des vitesses est alors :

$$R = \frac{w_r}{w_p} = \frac{d}{D} = \frac{z_p}{z_r} \quad (I.27)$$

w_p, w_r sont respectivement la vitesse angulaire du pignon et de la roue,
 d, D sont respectivement le diamètre du pignon et de la roue,
 z_p, z_r sont respectivement des dents du pignon et de la roue. [2]

- **Caractéristique des engrenages parallèles**

Son présenté sur la (fig. I-10) :

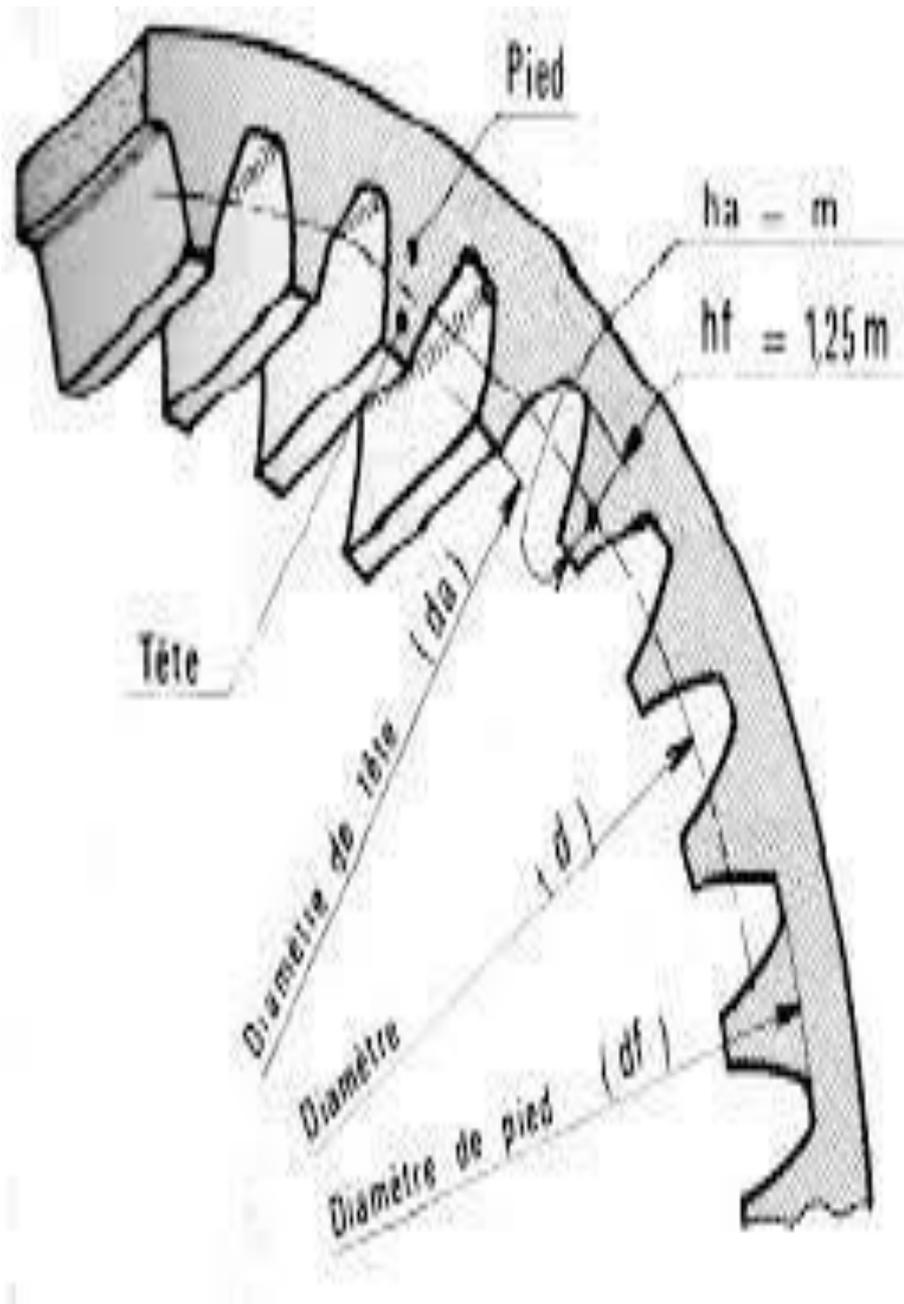


Figure I-10 : Caractéristique des engrenages

Désignation	Symbole	Formule
Module	M	Par un calcul de RDM
Nombre de dents	Z	Par un rapport de vitesse
Diamètre primitif	D	$d = m * z$
Diamètre de tête	D_a	$d_a = d + 2 * m$
Diamètre de pied	D_f	$d_f = d - 2.5 * m$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1.25 * m$
Hauteur de dent	H	$h = 2.25m$
Pas	P	$p = \pi m$
Largeur de denture	B	$b = km(5 \leq k \leq 16)$
Entraxe	A	$a = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$

Tableau I-1 : Caractéristique des engrenages parallèles

Condition d'engrangement

- Même module M ;
- Même angle d'hélice B ;
- Les hélices sous de sens opposé.

I.3.2.2 Système roue et vis sans fin

Ce système transmet des forces et des mouvements entre deux axes perpendiculaires entre eux. De façon générale la roue dentée avance seulement d'une dent (la distance de son pas, en millimètre) quand la vis sans fin fait un tour complet (Fig.I-11)[4].

$$r = \frac{W_{sortie}}{W_{entree}} = \frac{W_{roue}}{W_{vis}} = \frac{E}{z} \quad (I.28)$$

Le système n'est pas réversible : la vitesse et la force d'entrée doivent venir toujours de la part de la vis sans fin, alors que la force et le mouvement giratoire deux sorties doivent correspondre à la roue dentée. Le mécanisme ne marche pas dans le cas contraire. C'est un système idéal pour obtenir des rapports de transmission énormément réducteur entre deux axes perpendiculaires entre eux [3].

E : nombre de filets de vis

Z : nombre de dent de la roue



Figure I-11 : système roue et vis sans fin

I.3.2.3 Train d'engrenage

Un train d'engrenage simple est un système mécanique composé de plusieurs engrenages en contact qui transmettent la puissance d'un arbre d'entraînement à un arbre entraîné. Chaque engrenage a un nombre de dents spécifique qui détermine son rapport de transmission (Fig.I-12).

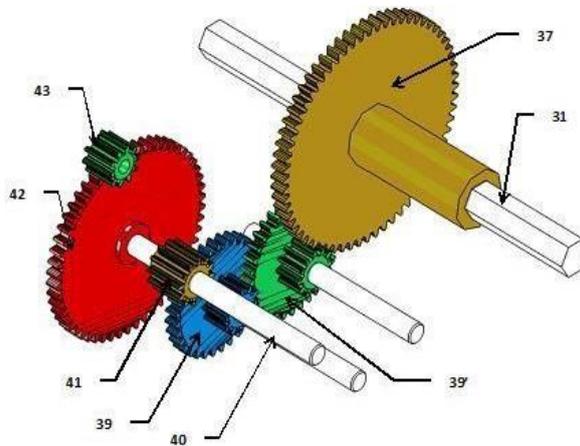


Figure I-12: train d'engrenage

Le premier engrenage, appelé engrenage conducteur, reçoit la puissance de la source d'énergie (comme un moteur) et transmet ce mouvement aux engrenages suivants dans le train. L'engrenage mené, reçoit le mouvement du précédent et le transmet au suivant, et ainsi de suite. Le rapport de transmission entre les engrenages dépend des diamètres et du nombre de dents de chaque engrenage dans le train. Cela permet de modifier la vitesse de rotation, le couple et la direction du mouvement. Les trains d'engrenages simples sont largement utilisés dans les machines et les mécanismes où une transmission de puissance précise est nécessaire.

I.3.2.4 Système de roue et crémaillère

Le système de roue et de crémaillère est un mécanisme utilisé pour convertir le mouvement rotatif en mouvement linéaire, ou vice versa. Il se compose de deux éléments principaux : une roue dentée (roue dentée) et une crémaillère (Fig. I-13) [5].



Figure I-13 : Système de roue et Crémaillère

Voici plus de détails sur ce système :

- **La roue dentée :**

- La roue dentée est un disque circulaire équipé de dents sur son pourtour.
- Les dents sont conçues pour s'engager avec les espaces entre les dents de la crémaillère.
- La taille des dents, leur nombre déterminent le rapport de transmission et la précision du système.

- **La crémaillère :**

- La crémaillère est une barre rectangulaire ou en forme de rail équipée de dents sur une de ses faces.
- Les dents de la crémaillère sont conçues pour s'engager avec les dents de la roue dentée.
- Lorsque la roue dentée tourne, elle fait avancer ou reculer la crémaillère, produisant ainsi un mouvement linéaire.

- **Fonctionnement :**

- Lorsque la roue dentée tourne dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens antihoraire, ses dents interagissent avec celles de la crémaillère, poussant ou tirant celle-ci dans la direction souhaitée.
- Ce mouvement linéaire peut être utilisé pour déplacer des charges, comme dans les systèmes de direction automobile, les machines-outils, les systèmes de transport par câble, les portes coulissantes, etc.

- **Avantage :**

- Le système roue et crémaillère offre un mouvement linéaire précis et contrôlé.
- Il est souvent plus efficace que d'autres mécanismes de transmission linéaire en termes de transfert de puissance et de précision.

- **Applications :**

- Automobiles : utilisé dans les systèmes de direction assistée et les mécanismes de freinage.
- Machinerie industrielle : utilisé dans les machines-outils pour le mouvement précis des outils.
- Transport : utilisé dans les systèmes de funiculaires et de transport par câble.
- Automatisation : utilisé dans les systèmes de positionnement et les robots.

- **La vitesse de la crémaillère**

$$V = P * Z * N \quad (I.29)$$

V: la vitesse

P : pas de roue = pas de la crémaillère

N : nombre de dent de roue

En résumé, le système roue et crémaillère est un mécanisme efficace et polyvalent qui convertit le mouvement rotatif en mouvement linéaire, offrant précision et contrôle dans une variété d'applications industrielles et commerciales.

I.4 Conclusion

Les systèmes d'entraînement électriques, associés aux réducteurs de vitesse, jouent un rôle crucial dans l'industrie en permettant le mouvement précis des composants de travail. La conception de ces systèmes est complexe, nécessitant une compréhension approfondie des machines électriques, de l'électronique, de l'informatique et de la mécanique. Cette tâche requiert une analyse globale pour garantir un fonctionnement fiable et efficace. La collaboration entre spécialistes de ces divers domaines est essentielle pour répondre aux exigences variées des procédés industriels et optimiser les performances des systèmes électriques.

CHAPITRE II :
VÉRIFICATION DU CHOIX DE
LA MOTORISATION

II .1. Introduction :

Les caractéristiques d'une machine électrique sont déterminées par sa conception afin de permettre une utilisation continue jusqu'à ce qu'un équilibre thermique soit atteint. Cela implique l'utilisation de matériaux appropriés résistants à la chaleur, des systèmes de refroidissement efficaces tels que des ventilateurs ou des dissipateurs thermiques, une conception d'enroulement optimisée pour minimiser les pertes par effet Joule et assurer une dissipation efficace de la chaleur, une isolation électrique adéquate pour éviter les court-circuit et les pannes, et parfois l'intégration de capteurs de température pour surveiller le fonctionnement thermique et prévenir la surchauffe. En combinant ces éléments, les fabricants s'efforcent de garantir que la machine puisse fonctionner de manière fiable et continue sans risque de surchauffe ou de défaillance.

II .2. Le choix du moteur adapté aux conditions d'utilisation

Corriger en fonction de la puissance équivalente S_1 ou du déclassement déterminé précédemment.

Ce choix est valable pour des conditions d'utilisation normales suivantes (norme CEI 34-1) :

- Température ambiante compris entre +5 et 40°C ,
- Altitude inférieure à 1000 m
- Mode de refroidissement IC 411,
- Déséquilibre de tension < 2% ,
- Pression atmosphérique : 1050 mbar,
- Taux harmonique < 10% ,
- Tension d'alimentation de 230 V / 400 V 50 Hz +/- 10% ,
- Chute de tension maximale entre le point de livraison et le point d'utilisation < 4% ,
- Classe d'isolation F,
- Degrés de protection IP 55.

Pour des conditions d'emploi différentes, on appliquera le(s) coefficient(s)

De correction de la puissance avant de prédéterminer notre moteur [6].

II.2.1 Correction suivant la température

Le coefficient de correction de la puissance suivant la température avant de prédéterminer le moteur est donné par :

- Si la température dépasse 40°C la norme prévoit des coefficients de correction

$$K_t = \frac{100}{140 - t_{am}} \quad (II.1)$$

Tam : température ambiante

$$P_{\text{corrigé}} = P_{\text{exigée}} * K_t \quad (II.2)$$

II.2.2. Correction suivant l'altitude

at > 1000m

$$K_{at} = \frac{10000}{11000 - at} \quad (II.3)$$

$$P_{\text{Corrigé}} = K_{at} * P_{\text{exigée}} \quad (II.4)$$

II.3. Types de service des moteurs électriques

Si une charge doit être entraînée avec de nombreuses accélérations et freinage, le moteur aura tendance à chauffer, parfois jusqu'à se détériorer. Il faudra donc choisir un moteur de puissance supérieure permettant d'évacuer correctement l'énergie calorifique.

A l'opposé, si un moteur doit entraîner une charge sur une durée très courte, avec très peu de démarrages par heure, la machine aura suffisamment de temps de refroidir entre chaque cycle, on pourra donc sous dimensionner le moteur pour un moindre coût à l'achat [7].

II.3.1. Types de services principaux : S1...S10 ;

La plupart des moteurs fonctionnent souvent en service non continu. Certains moteurs ne fonctionnent que pendant une brève période, d'autres tournent toute la journée mais avec une faible charge, et de nombreux moteurs doivent accélérer de

Chapitre II : Vérification du choix de la motorisation

fortes inerties ou sont commandés en mode commuté et freinés électriquement. Le service des moteurs est indiqué sur la plaque signalétique. Il indique le cycle de fonctionnement d'un moteur, correspondant à sa puissance nominale.

Les types de service possibles sont théoriquement illimités. Pour permettre aux fabricants et aux opérateurs de parvenir à un accord, dix types de services principaux, de S1 à S10 ont été spécifiés dans la norme CEI 60034_1 [8].

La plupart des cas qui se présentent dans la pratique peuvent être ramenés à l'un de ces types de service [9] :

- S1: Service continu.
- S2: Service temporaire.
- S3: Service. périodique intermittent sans démarrage.
- S4: Service périodique intermittent à démarrage.
- S5: Service périodique intermittent à démarrage et freinage électrique.
- S6: Service ininterrompu périodique à charge intermittente.
- S7: Service ininterrompu périodique à freinage électrique.
- S8: Service ininterrompu périodique à changement liés de charge et vitesse.
- S9: Service à variation non périodique de charge et de vitesse.
- S10: Service à régimes constante distincts

➤ Service continu _Service type S1

Fonctionnement à charge constante nominale d'une durée suffisante pour que l'équilibre thermique soit atteint. F_{dm} (facteur de marche) = 1 ou 100% et n (nombre de démarrages équivalent par heure) ≤ 6 . Facteur de marche: est lié de service, et donc de type l'échauffement des enroulements du moteur qui risquent de surchauffer (Fig. II-1)[6].

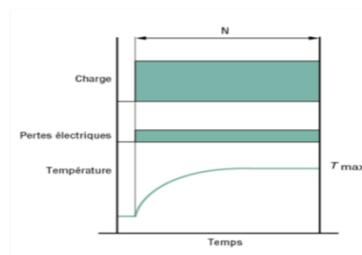


Figure II-1 : Service

➤ Service temporaire_ service de 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. Fdm selon cahier des charges est $n=1$. Par rapport au service continu. Le moteur doit fournir plus de puissance au cours de la période de charge (Fig. II-2)[6].

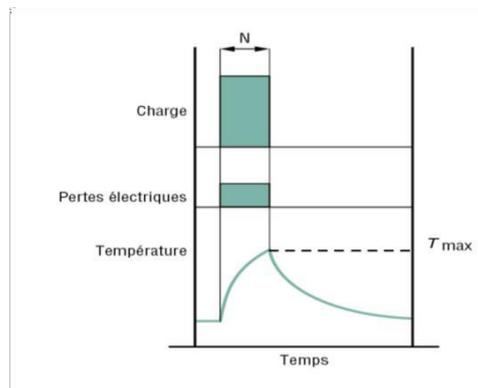


Figure II-2: Service de type 2.

➤ Service intermittent périodique sans démarrage _ Service type S3

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante nominale et une période de repos R .

Dans ce service, le cycle est tel que le courant de démarrage n'affecte pas l'échauffement de façon significative. Le temps de fonctionnement dans ce cas est insuffisant pour que la température du moteur atteigne la température permanente, par ailleurs le temps de repos est insuffisant pour que la température descende jusqu'à la température ambiante [8],

$$F_{dm} = \left[\frac{N}{N+R} \cdot 100 \right] \text{ et } n=0. \quad (\text{II.5})$$

$F_{dm} = (\text{temps de travail} / \text{temps de cycle}) \cdot 100$ qui peut prendre les valeurs suivantes 15%, 25%, 40% et 60%. Pendant ce temps, la puissance doit être plus élevée que le rendement du moteur en service continu (Fig. II-3).

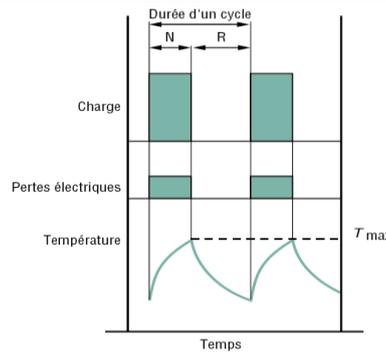


Figure II-3 : Service de type S3.

➤ **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 N et une période de repos R.

$F_{dm} = \frac{N+D}{N+D+R}$ et n selon cahier des charges, remplacer n par 4n dans la formule (Fig. II-4)[9].

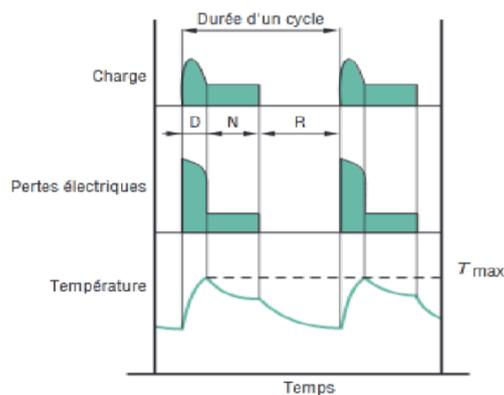


Figure II-4: Service de type S4.

➤ **Service intermittent périodique à démarrage et 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 N , une période de freinage électrique rapide F et une période de repos R [8]. $F_{dm} = \frac{N+D+F}{N+D+F+R}$ et n selon cahier des charges, remplacer n par $4n$ dans la formule (Fig. II-5).

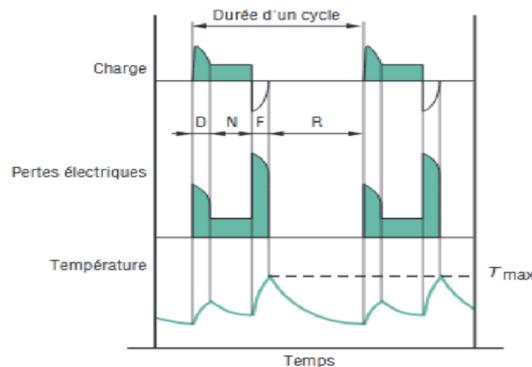


Figure II-5 : Service de type S5

➤ **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 N et une période de fonctionnement à vide V . Il n'existe pas de période de repos. $F_{dm} = \frac{N}{N+V}$ et $n=0$ Calcul de P pour régime intermittent. Une fois le temps de fonctionnement T_b écoulé, le moteur continue de tourner à vide. Du fait des courants à vide, le moteur ne parvient pas à se refroidir jusqu'à la température d'équilibre mais il est ventilé pendant le temps de

Fonctionnement à vide T_1 (Fig. II – 6).

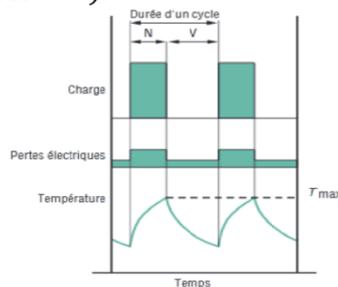


Figure II-6 : Service de type S6.

➤ Service ininterrompu périodique à freinage électrique – Service type S7

Suite de cycles de service identique 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 $F_{dm} = 1$ et n selon cahier des charges remplacer n par $4n$ dans la formule (Fig. II-7).

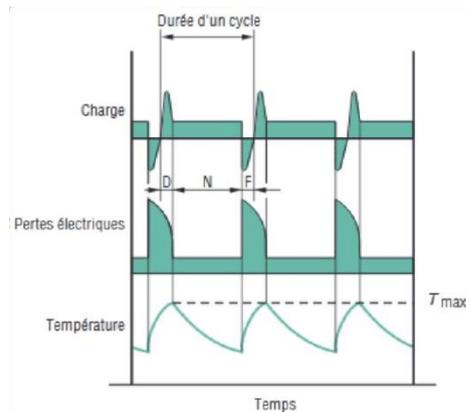


Figure II-7: service de type S7.

➤ Service ininterrompu périodique à changement liés de charge et vitesse – Service type S8

Suite de cycles de service identiques comprenant chacun une période de fonctionnement à charge constante L_1 correspondant à une vitesse de rotation prédéterminée, suivie d'une ou plusieurs périodes de fonctionnement à d'autres charges constantes L_2 L_3 correspondant à différentes vitesses de rotation. Il n'existe pas de période de repos. $F_{dm}=1$ et n selon cahier des charges, remplacer n par $4n$ dans la formule. Calcul de P pour régime intermittent (Fig. II-8)[10].

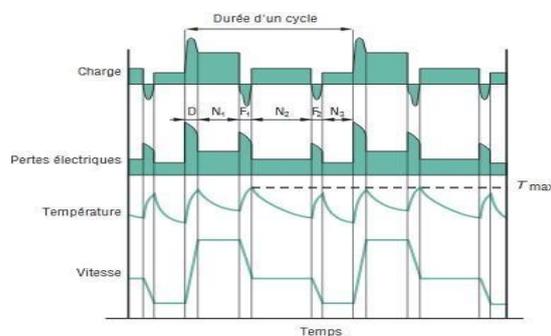


Figure II-8 : service de type S8.

➤ Service à variation non périodique de charge et de vitesse – Service type S9

Service 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 service type, des valeurs appropriées pleine charge devront être considérées comme bases du concept de surcharge. $F_{dm} = 1$ et n selon cahier des charges, remplacer n par $4n$ dans la formule. Calcul de P pour régime intermittent (Fig. II-9) [10].

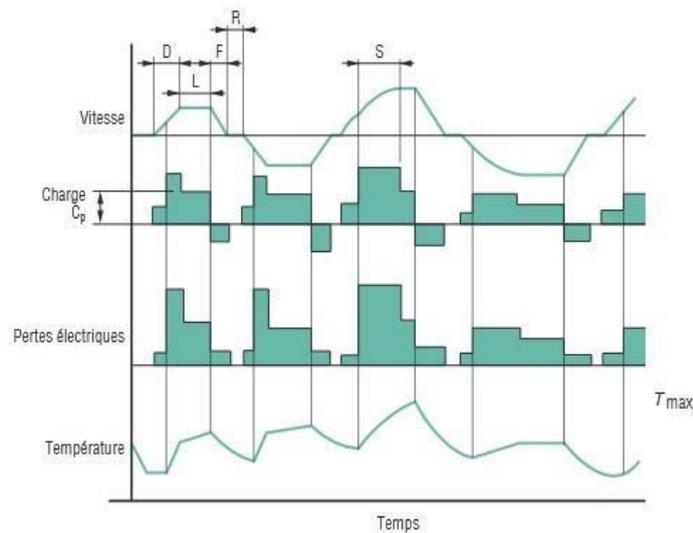


Figure II-9 : service de type S9.

➤ Service à régimes constants distincts-Service type S10

Service comprenant aux plus quatre valeurs distinctes de charges (ou charges équivalentes), chaque valeur étant appliquée pendant une durée suffisante pour que la 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). $F_{dm} = 1$ et $n = 0$. Calcul de P pour régime intermittent (Fig. II-10).

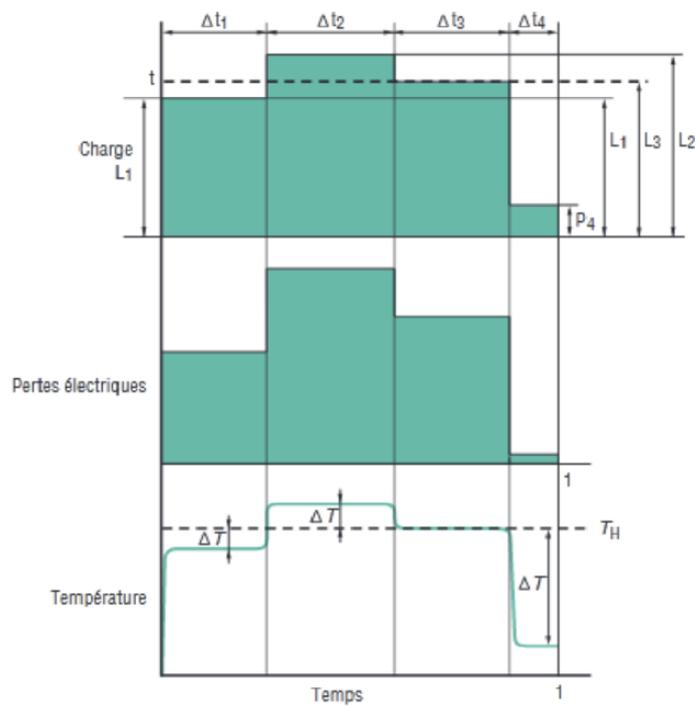


Figure II-10 : service de type S10.

II.4 Vérification du moteur

II.4.1 Vérification du moteur au démarrage

Pour la vérification, on doit satisfaire deux conditions :

- 1) Il faut que le couple moyen durant la phase de démarrage soit supérieur ou égale au couple fourni par le moteur (Fig. II-11).

$$C_{em-démarrage} \geq C_{moteur} \quad (II.6)$$

$$C_{amot} = \frac{C_d + C_{max} + 2C_{min} + C_n}{6} - C_r \quad (II.7)$$

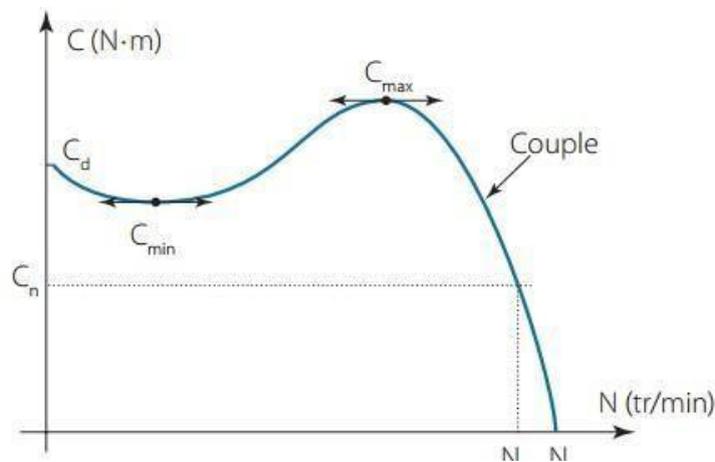


Figure II-11 : Caractéristique mécanique de la machine asynchrone.

II.4.1.1 Calcule du couple d'accélérateurs nécessaire :

- Pour les démarrages

$$C_e - C_d = C_{acc} = J_{tot} \times \frac{dw_1}{dt} \quad (II.8)$$

- Pour les freinages

$$C_e \pm C_f = C_{dec} = J_{tot} \times \frac{dw_1}{dt} \quad (II.9)$$

- 2) Il faut que le temps de démarrage soit inférieur ou égale au temps de démarrage fixé par le cahier des charges.

$$T_d \leq T_d \text{ (exigé)}$$

Chapitre II : Vérification du choix de la motorisation

La mise en vitesse de l'ensemble moteur + charge se fera en un temps que l'on peut calculer par la formule simplifiée suivante :

$$T_d(s) = \frac{\pi \cdot N(\text{tr/min}) \cdot J_{tot}}{30 \cdot C_{acc}} \quad (\text{II.10})$$

Où :

T_d : temps de démarrage (s) ;

N : vitesse finale du moteur (tr/min) ;

J_{tot} : Inertie totale ramenée sur l'arbre moteur ;

C_{acc} : Couple d'accélération de l'ensemble moteur + charge.

II.4.1.2 Organigramme de vérification du temps de démarrage du moteur

L'organigramme de vérification du temps de démarrage du moteur est représenté sur (Fig. II-12).

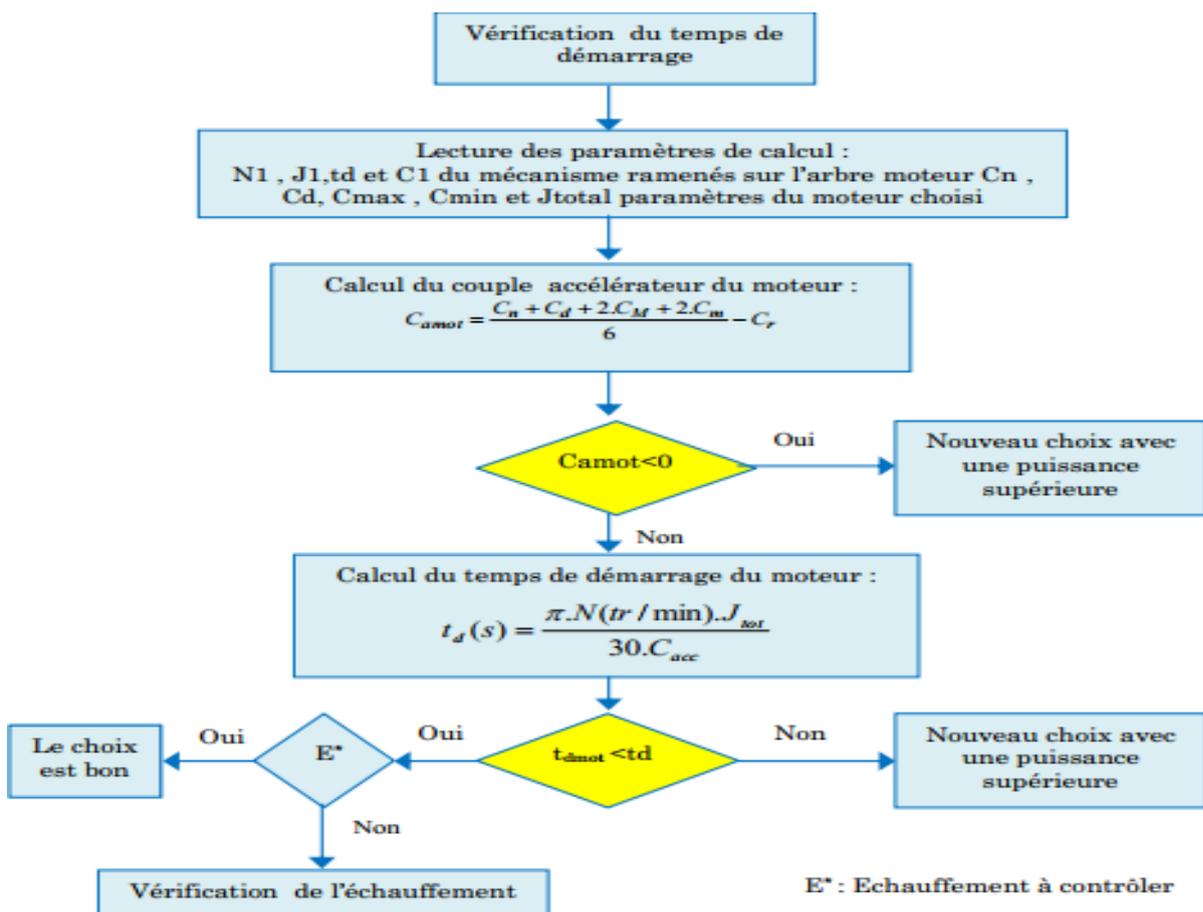


Figure II-12 : L'organigramme de vérification du temps de démarrage.

II.4.2 Vérification du moteur à l'échauffement :

Détermination de la puissance équivalente P_{eq} (crédible) en fonction des services S2 a S10 :

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{(n \times T_d \times (\frac{I_d}{I_n} \times P_n)^2) + (3600 - n \times T_d) \times P_u^2 \times Fdm}{3600}} \quad (II.11)$$

Dans laquelle :

T_d : temps de démarrage.

N : nombre de démarrages équivalent par heure.

$$n = n_d + 3n_f + 0.5n_i \quad (II.12)$$

n_d : nombre de démarrages dans l'heure.

n_f : nombre de freinages électriques dans l'heure.

n_i : nombre d'impulsion (démarrage incomplet jusqu'à 1/3 de la vitesse finale) dans l'heure.

Fdm : facteur de marche (%) = durée de fonctionnement a P_u / durée totale du cycle.

I_d/I_n : appel de courant avec un moteur de puissance P_n .

P_u : puissance utile du moteur pendant le cycle d'utilisation hors démarrage.

P_n : puissance nominale du moteur pressenti (prédit).

Il faut que la puissance nominale du moteur P_n soit supérieure à la puissance équivalente P_{eq}

Exigée par le système.

$$P_n \geq P_{eq} \quad (II.13)$$

II.4.2.1 Organigramme de vérification de l'échauffement de moteur

Organigramme de vérification de l'échauffement de moteur est présenté sur (Fig. II-13).

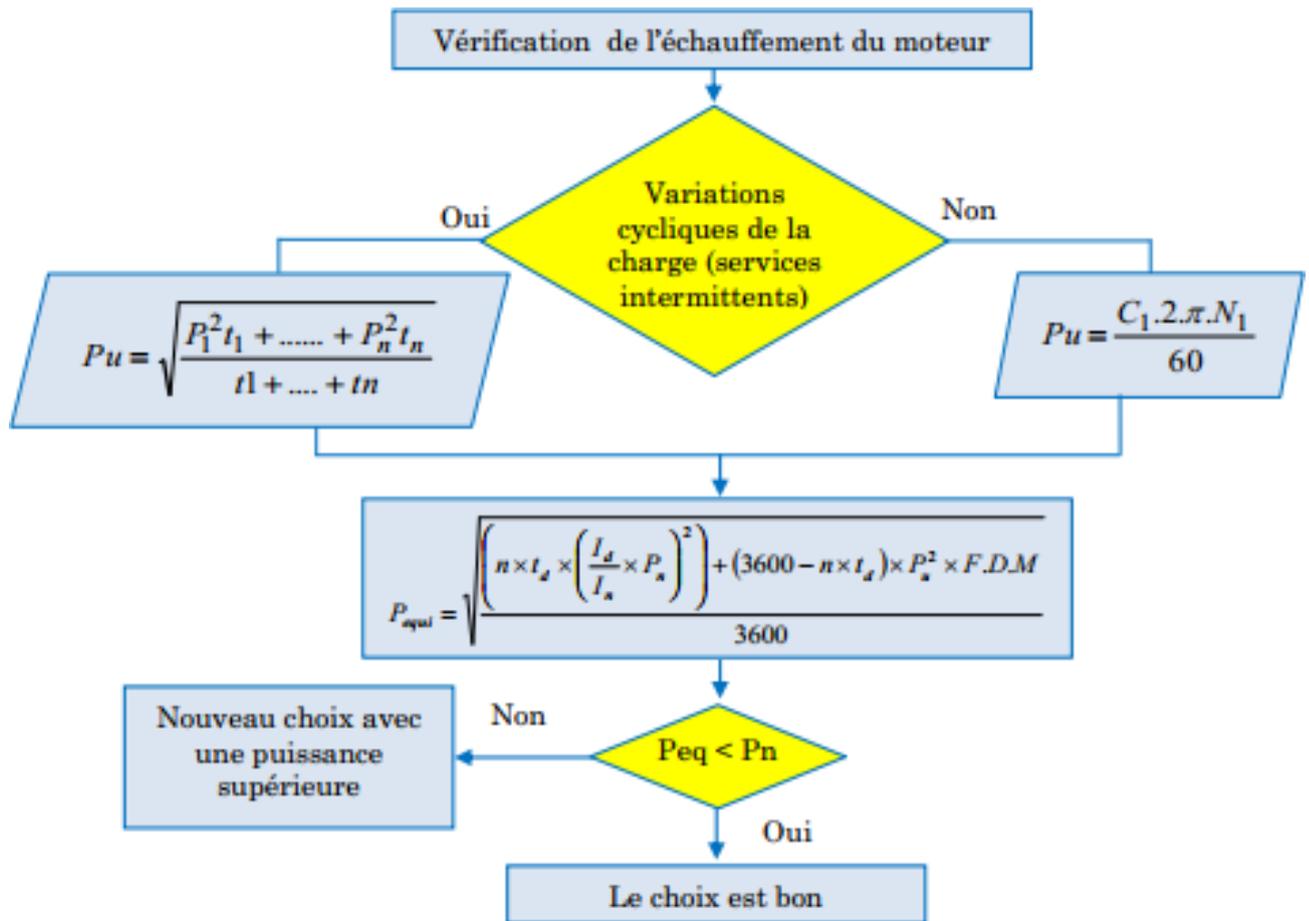


Figure II-13 : Organigramme de vérification de l'échauffement de moteur.

II.4.2.2 Classe d'isolement

Classe de l'isolant	Echauffement limite Δt °C	Température limite $ta + \Delta t$
Classe A	60	100
Classe E	75	115
Classe B	80	120
Classe F	100	140
Classe H	125	165

Tableau II-1 : classe d'isolement.

II.5 Coût de cycle de vie d'un moteur électrique

Le coût de cycle de vie d'un moteur électrique comprend plusieurs aspects

- **Coût initial** : Le prix d'achat de moteur électrique.
- **Coûts d'exploitation** : Les coûts liés à l'utilisation quotidienne de moteur comme l'électricité consommée.
- **Coûts de maintenance** : Les dépenses pour entretien régulier et les réparations éventuelles.
- **Coûts de remplacement** : Les dépenses nécessaires pour remplacer le moteur à la fin de sa vie utile.
- **Durabilité et fiabilité** : la longévité du moteur électrique et sa capacité à fonctionner de manière fiable sur longue période.
- **Impact environnemental** : L'empreinte écologique associée à la fabrication, à l'utilisation et à l'élimination du moteur électrique.

En prenant en compte tous ces facteurs, on peut estimer plus précisément le coût de cycle de vie d'un moteur pour notre application spécifique.

II.6 Conclusion :

Le choix d'une motorisation adaptée est crucial pour garantir des performances optimales et une longue durée de vie des moteurs électriques. Il est essentiel de prendre en compte l'environnement, notamment la température et l'altitude, pour corriger le choix initial du moteur. Les types de service (S1 à S10) doivent également être considérés pour correspondre aux conditions d'utilisation spécifiques. Une vérification rigoureuse au démarrage et après l'échauffement est nécessaire pour assurer la fiabilité et l'efficacité du moteur. Enfin, une évaluation du coût du cycle de vie permet d'optimiser les coûts opérationnels et d'entretien.

***CHAPITRE III : LA
COMMANDE VECTORIELLE
APPLIQUÉE AUX TYPES
DES SERVICES.***

III.1 Introduction

La robotisation croissante impose une transformation majeure de l'industrie mondiale, nécessitant l'utilisation de variateurs de vitesse avec des machines à courant alternatif.

Actuellement, le moteur asynchrone, grâce à sa simplicité de construction, sa robustesse et son faible coût, prend progressivement la place de la machine à courant continu et rivalise avec son équivalent synchrone, couvrant une gamme de puissances allant de quelques watts à plusieurs mégawatts.

Ces dernières décennies, la recherche universitaire et industrielle s'est orientée vers un contrôle des variateurs asynchrones comparable à celui des moteurs à courant continu. Dans ce cadre, le flux et le couple, deux variables de réglage essentielles, sont découplés et commandés indépendamment. Cette approche, appelée "commande vectorielle", a été introduite par BLASCHKE en 1971 et a bénéficié du développement spectaculaire de la micro-informatique et de l'électronique de puissance [11].

L'objectif de ce chapitre est de présenter les orientations du flux dans une machine asynchrone triphasée commandée en tension. La simulation a été réalisée pour l'orientation du flux rotorique uniquement, pour une machine alimentée en tension [12].

III.2 Commende à flux orienté

La commande vectorielle consiste à séparer la commande du flux de celle du couple en orientant le flux selon l'axe direct du repère choisi. Cette méthode fait deux choix, le premier concerne les variables d'états, le second le choix du repère. Cela permet d'avoir une structure de commande découplée [13].

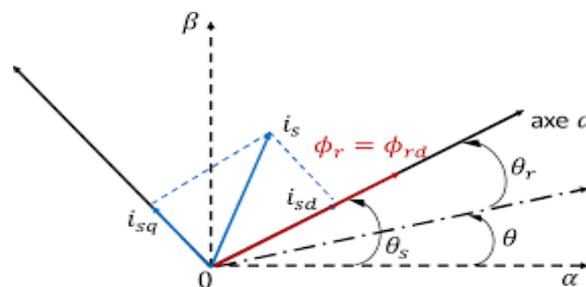


Fig.III-1 : Orientation de flux (rotorique, statorique, d'entrefer)

Cette dernière est l'une des méthodes de commande appliquée aux machines électriques. Elle nous permet d'obtenir le mode de fonctionnement recherché en positionnant d'une manière optimale les vecteurs courants et les vecteurs flux résultants (Fig.III-1).

III.3 Choix d'orientation de flux

Choix d'orientation de flux : Le choix des axes d'orientation peut être fait selon l'une des directions des flux de la machine à savoir le flux rotorique, statorique ou d'entrefer [13].

* $\theta_{sd} = 0$ et $\theta_s = \theta_{sq}$: c'est le flux rotorique qui orienté ;

* $\theta_{rq} = 0$ et $\theta_r = \theta_{rq}$: c'est le flux statorique qui orienté ;

* $\theta_{mq} = 0$ et $\theta_m = \theta_{mq}$: c'est le flux d'entrefer qui orienté.

Dans les trois cas le couple est proportionnel au produit du flux par la composante du courant statorique en quadrature avec le flux.

III.4 Types de la commande vectorielle

Il existe de types de la commande vectorielle qui sont plus utilisés, la première c'est la méthode directe développée par F.Blaschke, la deuxième c'est la méthode indirecte développée par Hasse [14].

III.4.1 Commande vectorielle directe :

Cette méthode exige une bonne maîtrise du module de flux et de sa phase, qui doit être validée pour tous les régimes transitoires de fonctionnement. Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser une série de mesures aux bornes du système. Une première approche consiste à placer des capteurs de flux dans l'entrefer afin de mesurer directement les composantes Φ_d et Φ_q , ce qui permet de déterminer l'amplitude et la phase. Cependant, ces capteurs, étant mécaniquement fragiles, sont exposés à des conditions difficiles dues aux vibrations et aux échauffements.

De plus, les signaux captés sont perturbés par des harmoniques d'encoche dont la fréquence varie avec la vitesse, nécessitant l'utilisation de filtres ajustables.

La précision de la mesure des flux dépend également des paramètres inductifs, qui sont affectés par la saturation du circuit magnétique [16].

La mesure directe permet de connaître précisément la position des flux et assure un découplage adéquat entre le flux et le couple, indépendamment du point de fonctionnement.

Toutefois, dans la majorité des cas, on n'utilise pas de capteurs de flux et l'on recourt plutôt à des estimateurs et des observateurs basés sur les mesures prises sur le montage.

Cette méthode présente plusieurs inconvénients :

- Fiabilité limitée de la mesure du flux ;
- Problèmes de filtrage des signaux mesurés ;
- Précision variable en fonction de la température (échauffement de la machine) et de la saturation ;
- Coût de production élevé (capteurs et filtres).

III.4.2 Commande vectorielle indirecte

Contrairement à la commande vectorielle directe, consiste à ne pas utiliser l'amplitude du flux rotorique mais seulement sa position. Elle élimine le besoin d'un capteur ou d'un estimateur ou d'un observateur de flux, mais nécessite l'utilisation d'un capteur de vitesse. La phase du flux est alors déterminée en utilisant un modèle mathématique qui peut être intégré dans la structure de la commande. L'angle de PARK θ_s est calculé à partir de la pulsation statorique, elle-même reconstituée à l'aide de la vitesse de la machine de la pulsation rotorique ω_r . Dans tout ce qui va suivre l'orientation du flux rotorique indirect est la méthode qui sera retenue [16].

III.5 Structure de la commande indirecte à flux rotorique orienté

A partir d'une référence de flux et d'une référence de vitesse, la régulatrice à orientation du flux calcule les deux consignes de tension V_{ds}^* et V_{qs}^* à imposer à la machine. Ces consigne sont exprimés dans le repère (d, q) et doivent, avant d'être appliquées à l'onduleur MLI a imposition de tension, être converties en grandeur de phase (a, b et c). Pour ce faire, nous avons besoin d'opérer la transformation de PARK permettant de retrouver les trois consignes de tension dernière qui conduiront l'onduleur à MLI [18].

III.5.1 Mise en équation de la commande IRFOC

Rappelons que dans un repère lié au champ tournant, les équations des tensions statoriques et rotorique de la MAS sont les suivantes :

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d\varphi_{ds}}{dt} - \omega_s \varphi_{qs} \\ V_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d\varphi_{qs}}{dt} + \omega_s \varphi_{ds} \end{cases} \quad (\text{III.1})$$

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \varphi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\varphi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \varphi_{dr} \end{cases}$$

La mise en œuvre de la commande vectorielle a flux rotorique orienté est basée sur l'orientation du repère tournant d'axes (d, q), tel que l'axe d soit confondu avec la direction de φ_r .

Les équations des tensions rotoriques deviennent :

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{qr} + (\omega_s - \omega) \varphi_{dr} \\ 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\varphi_{dr}}{dt} \end{cases} \quad (\text{III.2})$$

Celles des flux :

$$\begin{cases} \varphi_{ds} = \sigma L_s i_{ds} + \frac{L_m}{L_r} \varphi_r \\ \varphi_{qs} = \sigma L_s i_{qs} \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

III.6 Commande vectorielle à flux rotorique orienté

Le flux φ_r étant orienté sur l'axe d, le système d'équation d'état nous permet d'exprimer $V_{ds}, V_{qs}, \varphi_r, \omega_r$ et C_e avec $\varphi_{qr} = 0$ et $\varphi_{dr} = \varphi_r$.

$$\begin{cases} V_{ds} = \left(\sigma L_s s + R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{ds} - R_r \frac{L_m}{L_r^2} \varphi_r - \sigma L_s \omega_s i_{qs} \\ V_{qs} = \left(\sigma L_s s + R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{qs} \end{cases} \quad (\text{III.4})$$

$$\begin{cases} T_r \frac{d\varphi_r}{dt} + \varphi_r = L_m i_{ds} \\ \omega_s = \omega + \frac{L_m}{T_r} \frac{i_{qs}}{\varphi_r} \\ C_e = P \frac{L_m}{L_r} \varphi_r i_{qs} \end{cases}$$

III.6.1 Découplage entré-sortie

L'objectif est, dans la mesure du possible, de limiter l'effet d'une entrée à une seule sortie. Nous pouvons alors modéliser le processus sous la forme d'un ensemble de systèmes mono-variables évoluant en parallèle. Les commandes sont alors non interactives. Différentes techniques existent découplage utilisant un régulateur, parmi de ces techniques le découplage par compensation [16].

III.6.1.1 Découplage par compensation :

Définissons deux nouvelles variables de commande et telles que :

$$\begin{cases} V_{sd} = V_{sd}^* - e_{sd} \\ V_{sq} = V_{sq}^* - e_{sq} \end{cases} \quad (\text{III.5})$$

$$\begin{cases} e_{sd} = \omega_s \sigma L_s i_{sq} + \frac{M}{L_r^2} R_r \varphi_r \\ e_{sq} = -\omega_s \sigma L_s i_{sd} - \frac{M}{L_r^2} p \Omega \varphi_r \end{cases}$$

Les tensions V_{sd} et V_{sq} sont alors reconstitué à partir des tensions V_{sd}^* et V_{sq}^* (Figure III.2).

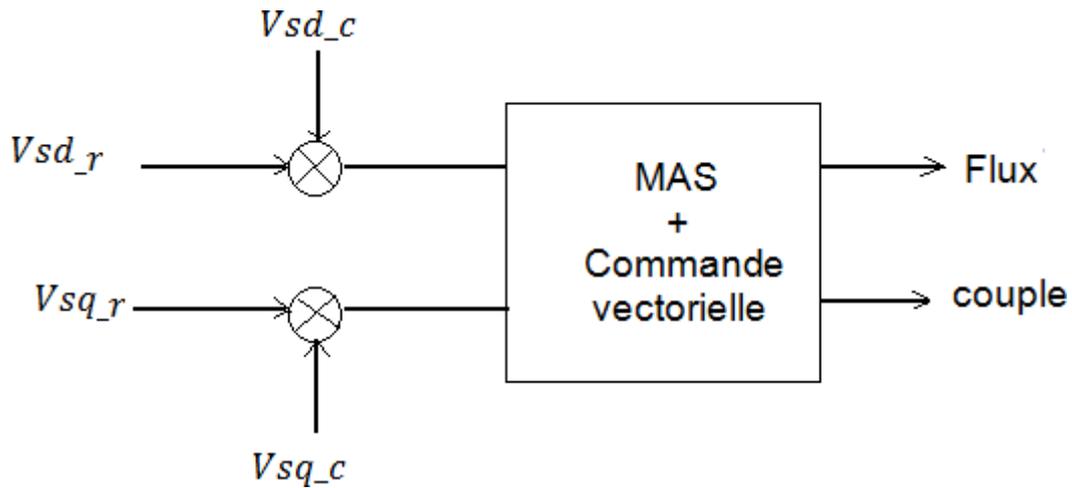


Figure.III-2 : Découplage par compensation.

III.6.2. Estimation ω_s et θ_s :

Les grandeurs des sorties utilisées pour l'élaboration de la commande sont souvent difficilement accessibles pour des raisons techniques (c'est le cas de flux) ou pour des problèmes de coût.

- **Calcul de θ_s**

La pulsation statorique s'écrit d'après (III.6) :

$$\omega_s = p\Omega + \frac{L_m}{T_r} \frac{I_{qs}}{\varphi_{rref}} \quad (III.6)$$

Cette équation n'est pas exploitable telle quelle puisque φ_r est nul au démarrage du moteur. Nous ajoutons donc un terme ξ au dénominateur. L'équation (III.7) devient :

$$\omega_s = p\Omega + \frac{L_m}{T_r} \frac{I_{qs}}{\varphi_{rref} + \xi} \quad (III.7)$$

Nous avons alors :

$$\omega_s = \frac{1}{s} \omega_s \quad (III.8)$$

III.7 Régulation

Dans le cas de notre étude on se limite à la technique du contrôle PI. Le régulateur proportionnel - intégral PI est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie où ses qualités de correction s'appliquent à de multiples grandeurs physiques.

Le régulateur ou le correcteur PI améliore la stabilité de la réponse et l'élimination de l'erreur statique en régime permanent. L'objectif de la régulation, en général, est d'avoir un système de hautes performances (fig.III-3).

III.7.1. La conception des régulateurs

$Y(t)$: le signal de sortie du système à contrôler.

$Y^*(t)$: le signal à suivre

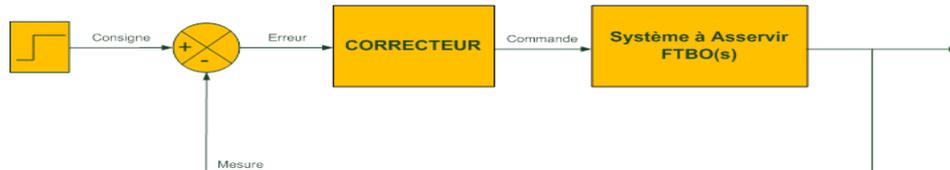


Figure.III-3 : Représentation de la commande par PI.

La loi de commande est défini par :

$$F(t) = (t) + K_i \int (t) \quad (\text{III.9})$$

- Action proportionnelle (p)

Il y a deux types de correction (p)

- la correction est rapide : K_p grand ; le risque de dépassement et d'oscillation dans la sortie s'accroît.
- la correction est lente : K_p est faible ; moins de risque d'oscillation.

- Action Intégrale (I) :

Cette action, elle assure un rattrapage progressif de la consigne. Tant qu'il y aura encore une erreur la grandeur $U(t)$ diminue ou augmente jusqu'à l'annulation de l'erreur.

III.7.2 Caractéristiques des régulateurs

- **La stabilité** : On dit que le système est stable si pour une entrée bornée, la sortie reste bornée quelles que soient les perturbations. Ou aussi la stabilité traduit la propriété d'un système de tendre ou de revenir vers un état d'équilibre.
- **La rapidité** : La rapidité caractérise le temps de réaction d'un système à une variation de la consigne. Elle est caractérisée par le temps de réponse à 5%.
- **La précision** : La précision d'un système est caractérisée par l'écart en régime permanent.

III.7.3 Calcule des régulateurs

- **Régulateur de vitesse**

La chaîne de régulation de vitesse peut être représenté par le schéma fonctionnel suivant (Fig.III-4)

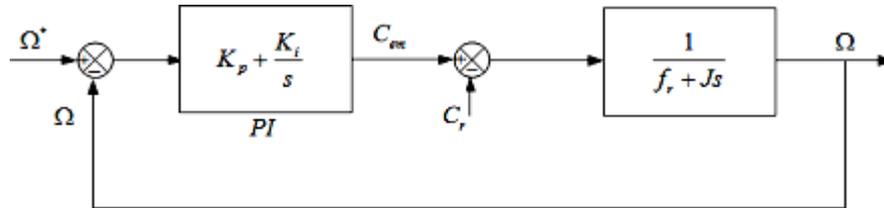


Figure. (III-4) : Schéma fonctionnel de la régulation de vitesse

A partir de schéma fonctionnel :

$$\Omega = \frac{1}{js+1} (C_e - C_r) \quad (III.10)$$

Avec l'utilisation du régulateur PI classique, Ω s'écrit :

$$\Omega = \frac{1}{js+1} \left(\frac{K_{p1}s + K_{i1}}{s} \right) (\Omega_{ref} - \Omega) - \frac{1}{js+f} C_r \quad (III.11)$$

La fonction de transfert en boucle fermée du schéma

$$\frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \frac{\frac{K_{p1}}{K_{i1}}s + 1}{\frac{J}{K_{i1}}s^2 + \left(\frac{K_{p1}}{K_{i1}} + \frac{f}{K_{i1}} \right) s} \quad (III.12)$$

L'identification du dénominateur à la forme canonique, donne :

$$\begin{cases} \frac{J}{K_{i1}} = \frac{1}{\omega_n^2} \\ \frac{K_{p1}}{K_{i1}} + \frac{f}{K_{i1}} = \tau_1 + \frac{f}{K_{i1}} = \frac{2\xi}{\omega_n} \end{cases} \quad (III.13)$$

- **Régulation de flux**

A partir du découplage défini par la fig.III-5, on peut écrire :

$$\phi_r = \frac{K_3}{(s+\gamma)(s+\frac{1}{T_r})} V_{sd1}$$

(III .14)

Le système est représenté par le schéma fonctionnel suivant

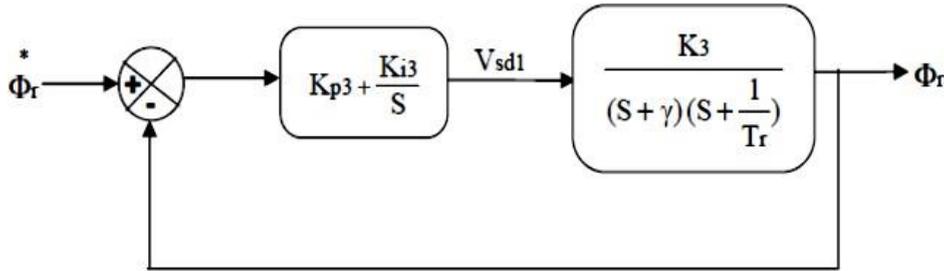


Figure.III-5 : Schéma fonctionnel de la régulation de flux.

Avec : $K_3 = \frac{L_m}{\sigma L_s T_r}$

La fonction du transfert du système en boucle fermé est donnée par :

$$\frac{1}{K_{p3}K_3} s^2 + \frac{\gamma}{K_{p3}K_3} s + 1 = 0 \quad (III.15)$$

Avec la comparaison par rapport à la forme canonique du 2 eme ordre nous obtenant alors :

$$\begin{cases} \frac{1}{K_{p3}K_3} = \frac{1}{\omega_n^2} \\ \frac{\gamma}{K_{p3}K_3} = \frac{2\xi}{\omega_n} \end{cases} \quad (III.16)$$

On obtient les équations suivantes :

$$\begin{cases} K_{p3} = \frac{\gamma^2}{K_3(2\xi)^2} \\ K_{i3} = \frac{K_{p3}}{T_r} \end{cases} \quad (III.17)$$

III.8 Simulation :

III.8.1 Simulations de la commande vectorielle

A partir de l'étude théorique de la structure de la commande vectorielle à flux orienté, nous pouvons élaborer les différents blocs nécessaires à une simulation du procédé. Le schéma d'ensemble est donné par la fig.III-6 :

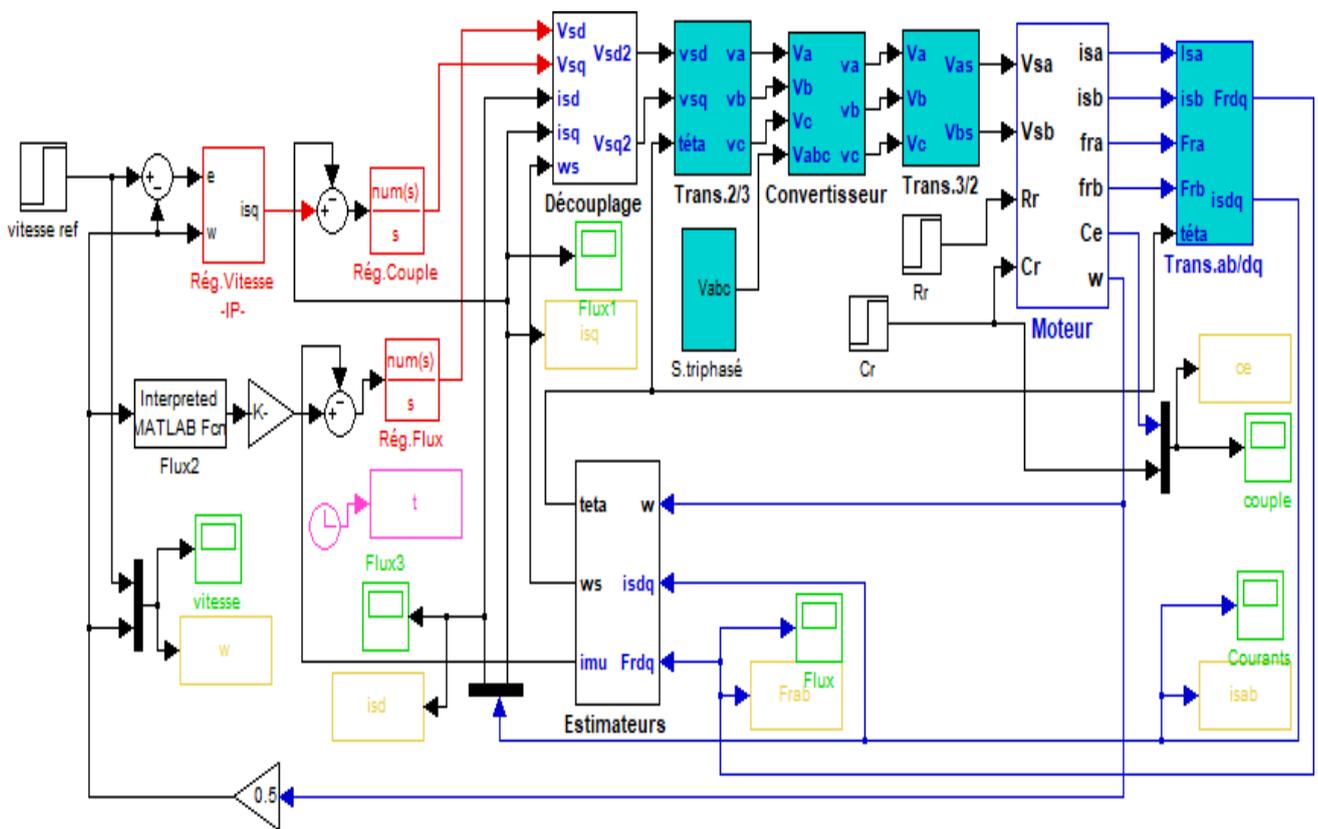


Figure.III-6 : Schéma blocs de simulation de la commande vectorielle

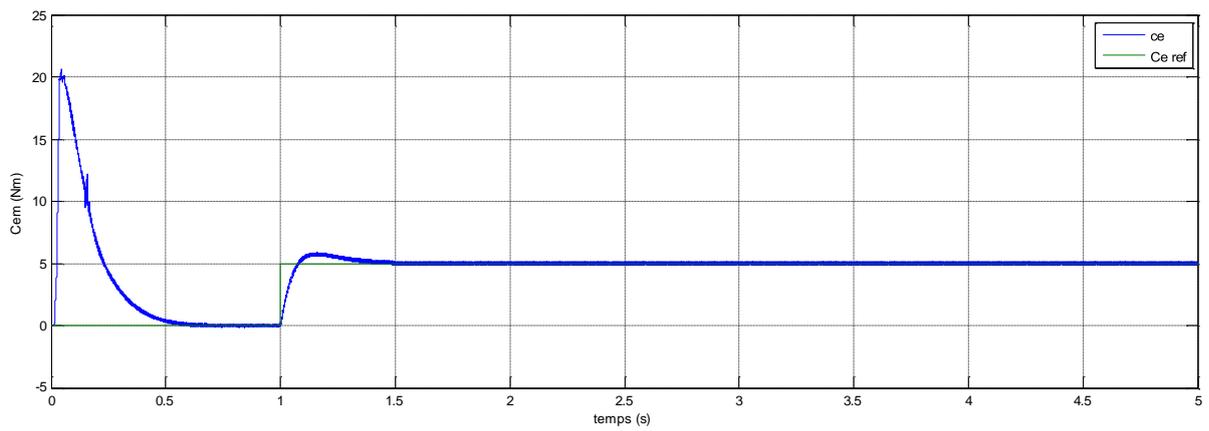


Figure.III-7 : couple électromagnétique.

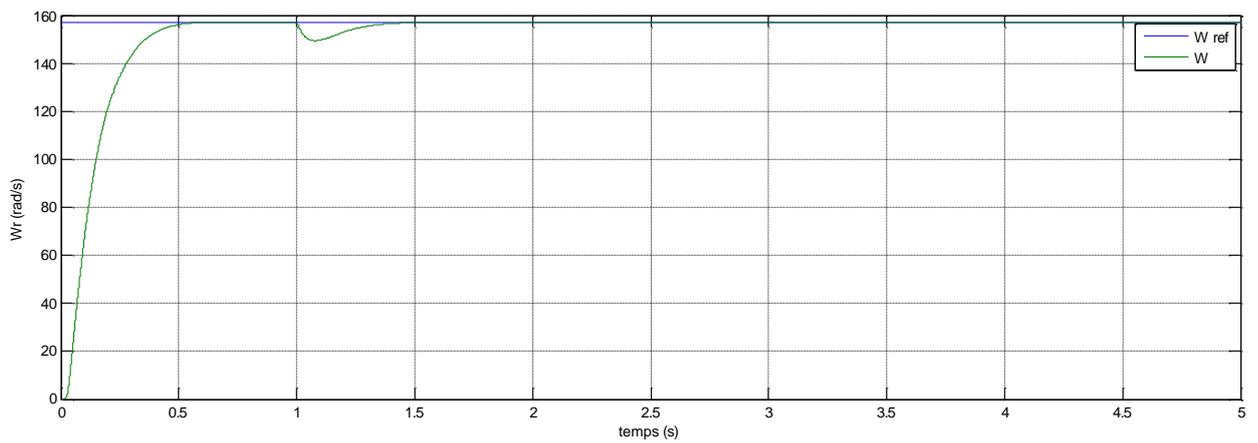


Figure.III-8 : vitesse rotorique.

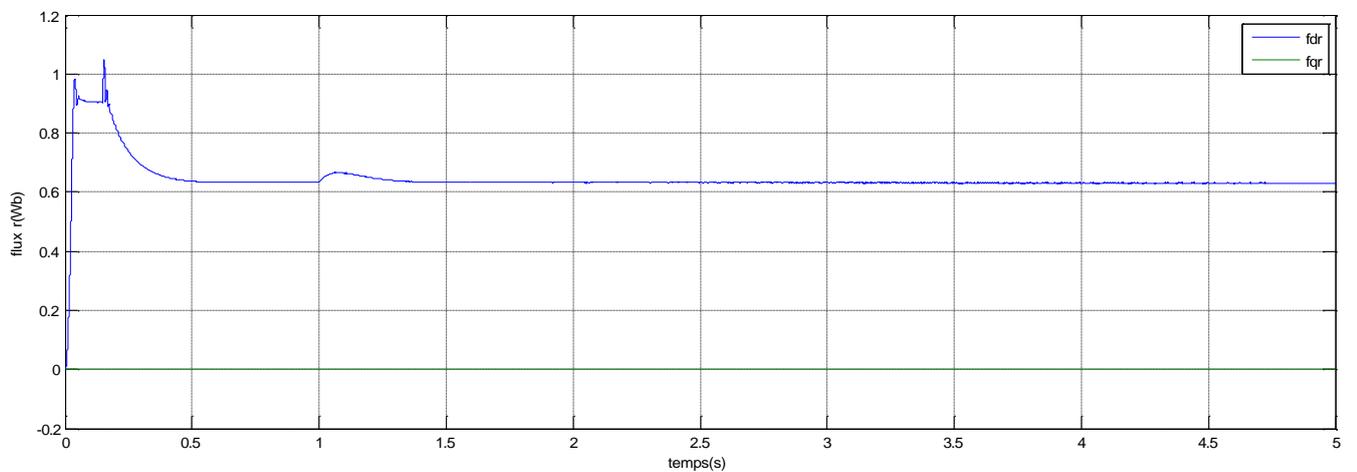


Figure.III-9 : flux rotorique

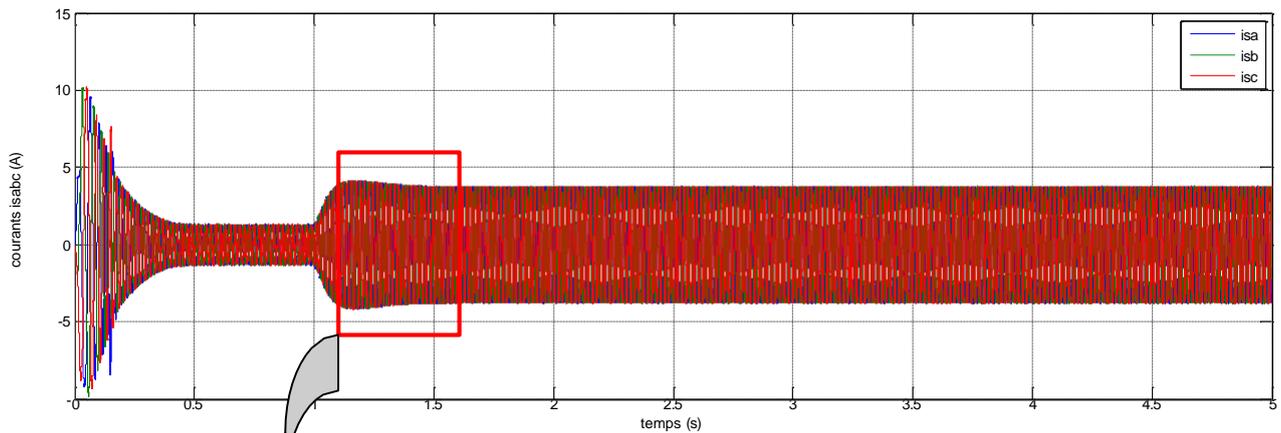


Figure.III-10 : Courants statorique.

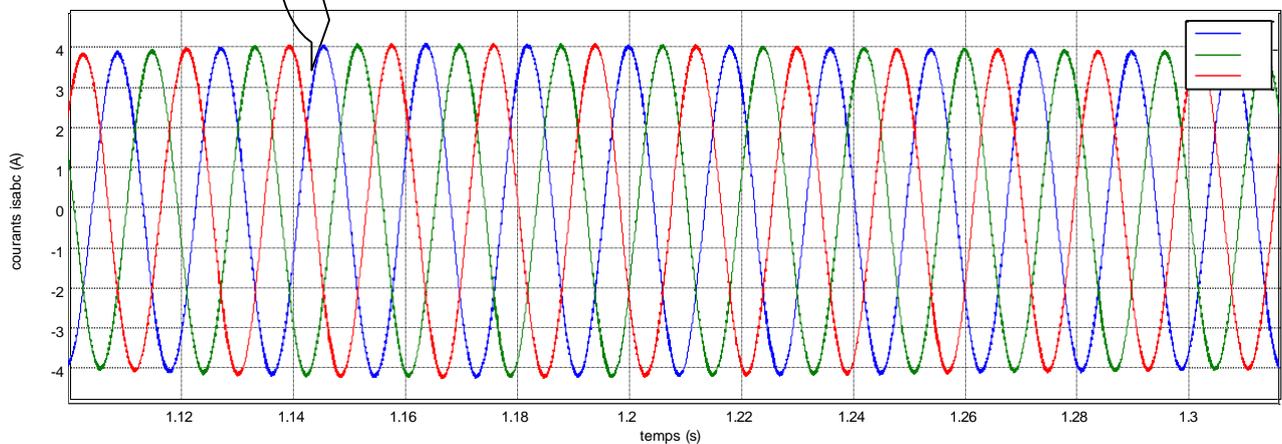


Figure.III-11 : Zoome d'une partie des courants statorique

• Interprétation de résultats

Pour la courbe de couple (Fig.III-7), on constate un pic de couple à l'instant $t=0.044$ (s) avec une amplitude de 21 N, (régime transitoire) le couple tend vers zéro de l'instant $t=0.5$ (s) (régime permanent) jusqu'à $t=1$ (s) nous avons appliqué à l'arbre de la machine asynchrone un couple résistant ($C_r = 5$ Nm). Le couple électromagnétique tend vers la valeur du couple résistant avec une réponse quasiment instantanée.

se stabilise jusqu'à l'application de couple de charge à $t= 1$ (s) la vitesse diminue légèrement jusqu'à 1.4 (s) puis elle retrouve son régime permanent et se stabilise à nouveau jusqu'à la fin de simulation.

La figure III-9, représente les flux rotoriques φ_{dr} et φ_{qr} , on constate un pic de flux φ_{dr} à l'instant $t=0.2$ (s) puis il diminue à $t=0.5$ (s) pour atteindre son régime permanent avec une valeur de 0.65 (Wb), puis il augmente légèrement quand on applique le couple résistant, puis il retrouve son régime permanent à l'instant $t=1.4$ (s). La valeur de φ_{qr} est nul pendant toute la simulation.

Lors du démarrage, on constate des pics de courant (Fig.III-10 et Fig.III-11) qui diminuent progressivement (régime transitoire), le courant se stabilise à $t=0.4$ (s) avec une amplitude de 1.3 A, indiquant une valeur constante à partir de ce moment-là. Après l'application d'un couple résistant à $T=1$ (s), il est observé une augmentation significative des courants. Cela est dû à la résistance exercée par le couple appliqué à l'arbre de moteur. Le courant atteint alors son niveau maximal, atteignant 4 A. finalement, les courants se stabilisent et se maintiennent dans un état stable pour le reste de la simulation.

- **Simulation des services de démarrage**

Cette partie décrit une application MATLAB conçue pour simuler et visualiser les dix principaux services de démarrage (S1....S10). L'application utilise un switch pour sélectionner dynamiquement les services à simuler, modéliser à l'aide de blocs step et repeating séquence et signal builder. Ces dix services sont connectés à l'entrée de Merge, dont la sortie est reliée à un scope pour visualiser le service qu'on a sélectionné (Fig.III-12).

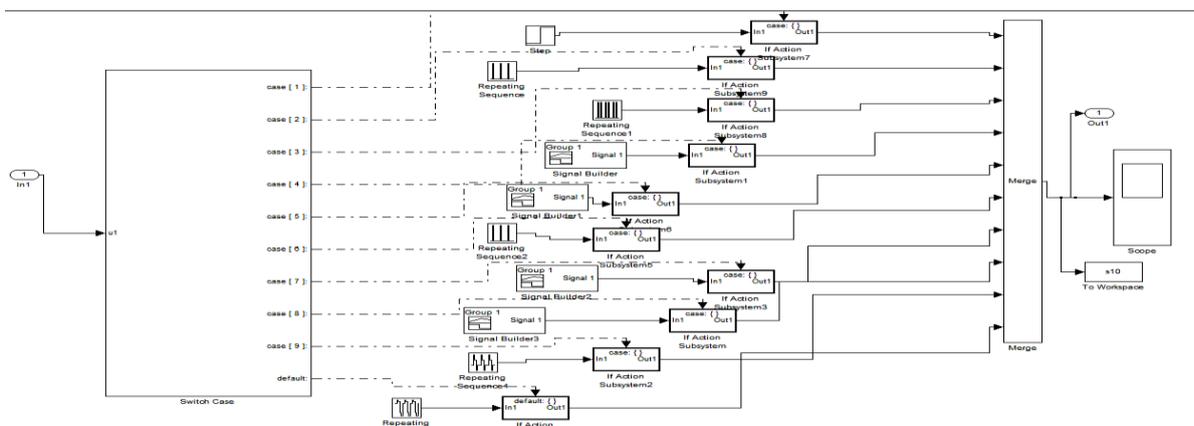


Figure.III-12 : présentation des services de fonctionnement.

- **La simulation de la commande vectorielle avec les services de démarrage**

Dans cette partie on intègre les services de démarrage à la commande vectorielle. On remplace le couple résistant par le service ininterrompu périodique à changement liés de charge et vitesse (Fig.III-13). Cette approche permet de simuler les paramètres du moteur, tels que le courant, le couple, la vitesse et le flux.

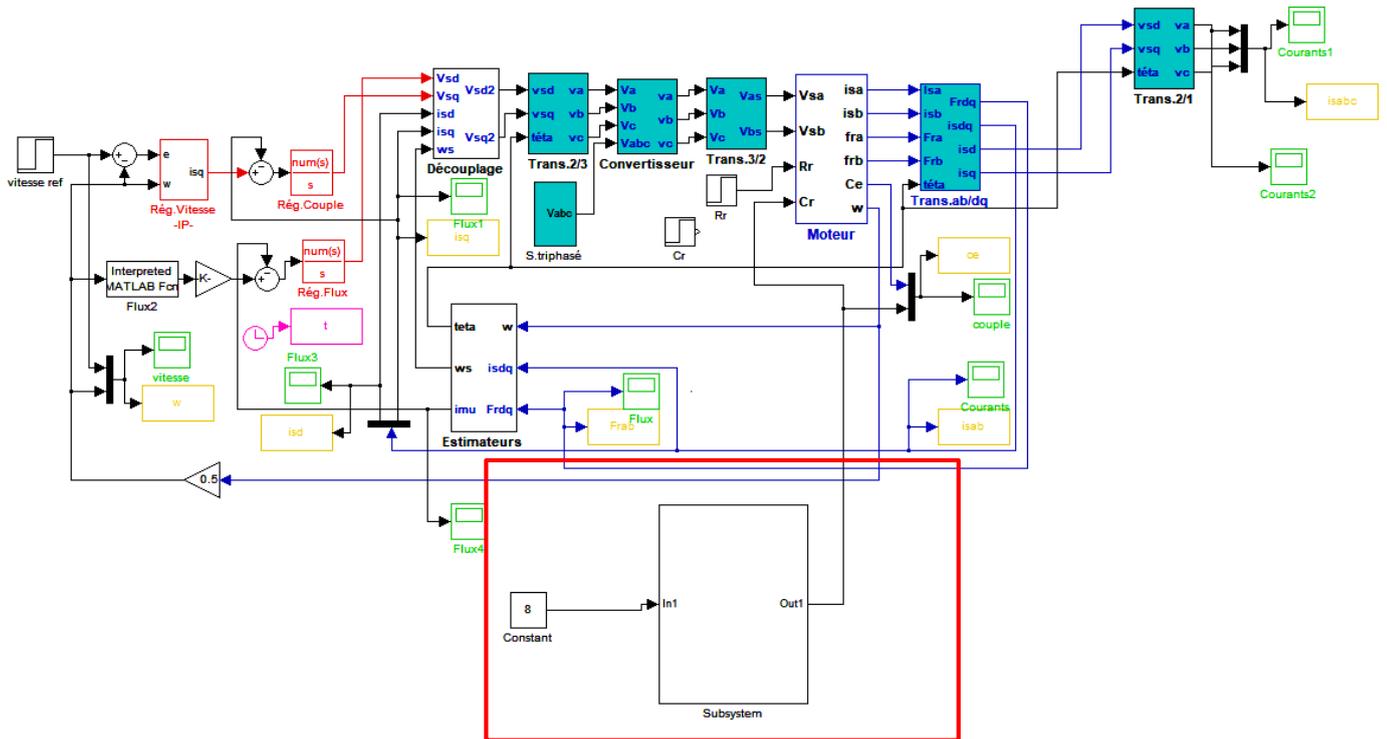


Figure.III-13 : Commande vectorielle avec les services de démarrage S1—S10

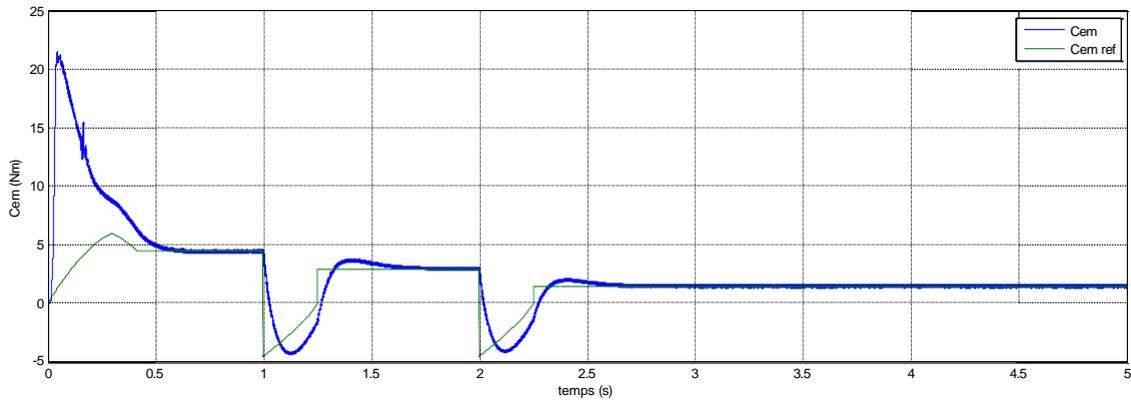


Figure.III-14: Couple électromagnétique correspondant au service S8

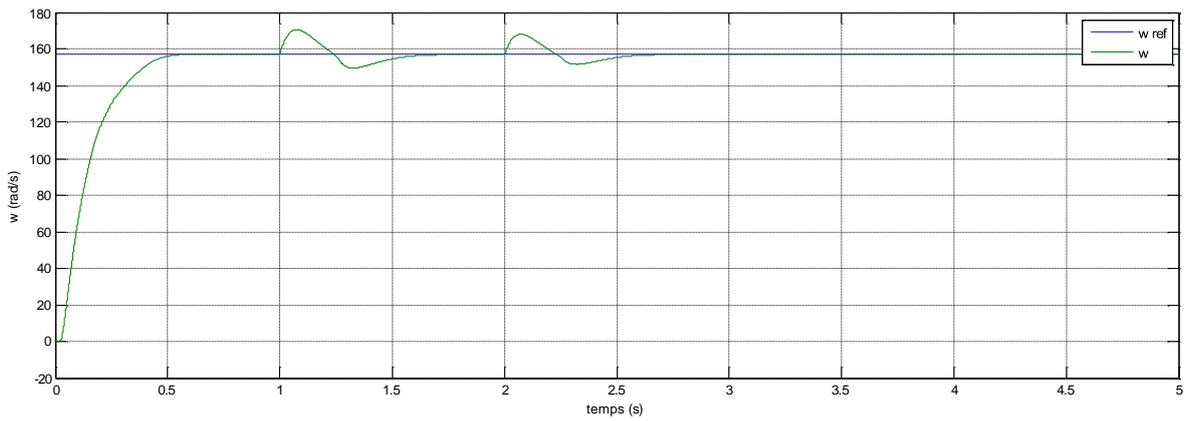


Figure.III-15: Vitesse rotorique

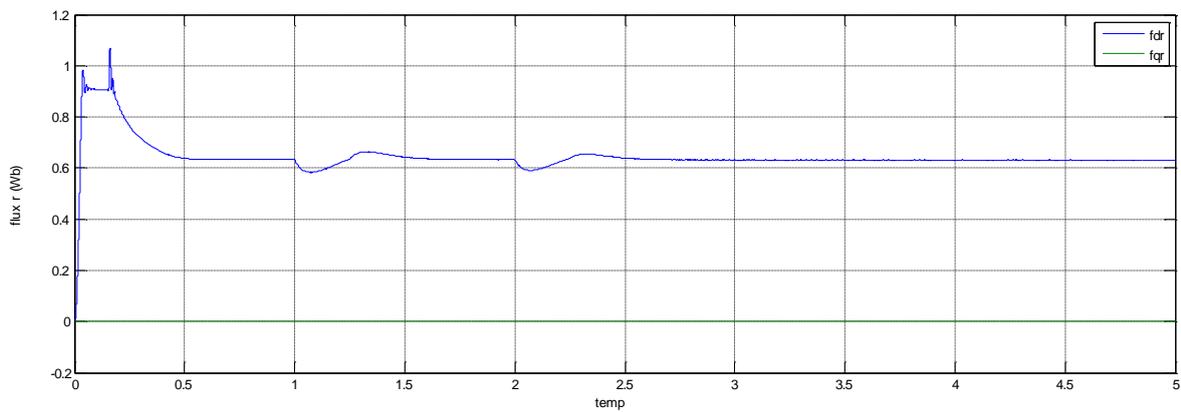


figure.III-16 : flux rotorique

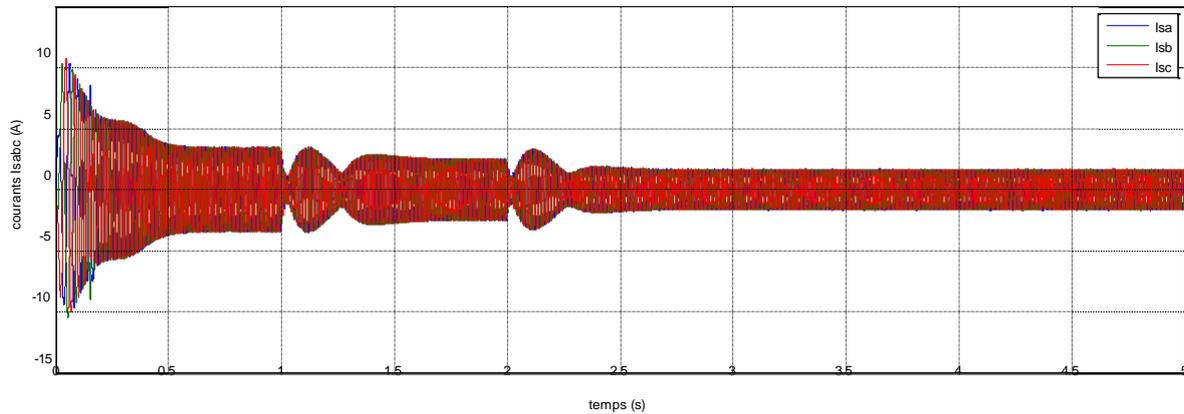


Figure.III-17: courants statorique

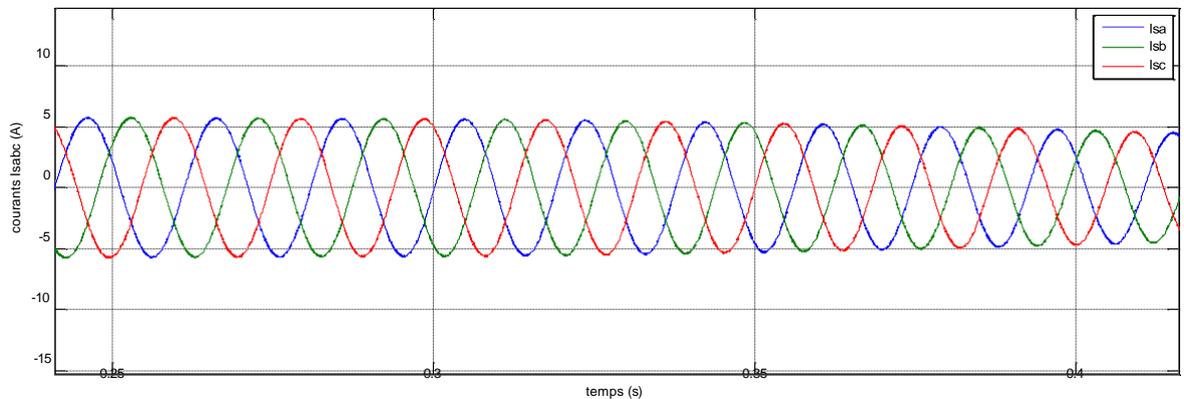


Figure.III-18: zoom d'une partie des courants statorique.

Interprétation de résultats

Pour la courbe de couple (Fig.III-14), on constate un pic de couple à l'instant $t=0.044$ (s) avec une amplitude de 21 N (régime transitoire), qui diminue jusqu'à $t=0.5$ (s) avec une amplitude de 4.5 Nm, Le couple électromagnétique tend vers la valeur du service type S8 avec une réponse quasiment instantanée.

Pour la courbe de vitesse (Fig.III-15), la machine asynchrone tourne à la vitesse de $w_s = 160$ rad/s. On remarque que la vitesse atteint le régime permanent à $t=0.5$ (s) puis se stabilise jusqu'à $t= 1$ (s), à ce moment le comportement de service type S8 influence sur la vitesse, elle augmente jusqu'à 1.25 (s), puis elle diminue jusqu'à $t= 1.33$ (s), ensuite elle retrouve son régime permanent et se stabilise à nouveau $t=2$ (s), puis elle augmente à nouveau jusqu'à 2.08 (s), puis elle diminue jusqu'à $t=2.32$ (s), ensuite elle augmente jusqu'à $t=2.7$ (s). Enfin, la vitesse se stabilise jusqu'à la fin de la simulation.

La figure.III-16 représente les flux rotoriques φ_{dr} et φ_{qr} , on constate un pic de flux

φ_{dr} à l'instant $t=0.2$ (s) puis il diminue à $t=0.5$ (s) pour atteindre son régime permanent avec une valeur de 0.65 (Wb), à l'instant $t=1$ (s) le flux suit le comportement de service type S8 il diminue jusqu'à $t=1.1$ (s), ensuite il augmente jusqu'à $t=1.3$ (s), après il se stabilise jusqu'à $t=2$ (s), puis il diminue à nouveau jusqu'à $t=2.1$ (s), ensuite il augmente pour atteindre son régime permanent à l'instant $t=1.4$ (s). La valeur de φ_{qr} est nul pendant toute la simulation.

Lors du démarrage, on constate des pics de courant (Fig.III-17 et Fig.III-18), qui diminuant progressivement (régime transitoire), après l'application de service type S8 à $t=0.25$ (s) les courants augmentent jusqu'à $t=0.3$ (s) avec une amplitude de 5.6 A, ensuite diminuent jusqu'à $t=0.45$ (s) avec une amplitude de 3.5 A (période de démarrage), pour se stabiliser à $t = 0,45$ (s) avec une amplitude de 4 A, indiquant une valeur constante à partir de ce moment (période de fonctionnement à charge constante nominale N1), à $T = 1$ (s), une diminution des courants est observée jusqu'à $t = 1,03$ s avec une amplitude de 1 A, ensuite une augmentation est observée jusqu'à $t = 1,13$ s avec une amplitude de 3 A, puis diminuent à nouveau jusqu'à $t = 1,3$ s avec une amplitude de $1,5$ A (période de freinage électrique F1). Ils augmentent ensuite jusqu'à $t = 1,4$ s avec une amplitude de 3 A et se stabilisent jusqu'à $t = 2$ s (période de fonctionnement à charge constante nominale N2). Par la suite, les courants diminuent jusqu'à $t = 2,025$ s avec une amplitude de 1 A, avant d'augmenter jusqu'à $t = 2,15$ s avec une amplitude de $3,3$ A, ils diminuent encore jusqu'à $t = 2,27$ s avec une amplitude de $1,3$ A (période de freinage électrique F2), puis augmentent légèrement pour atteindre $1,8$ A. Enfin, les courants se stabilisent jusqu'à la fin de la simulation (période de fonctionnement à charge constante nominale N3).

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le principe de la commande vectorielle ainsi que ses variantes, incluant la commande directe et indirecte. Nous avons ensuite approfondi la technique de la commande vectorielle directe avec orientation du flux rotorique. Cette méthode repose sur un découplage crucial permettant de dissocier le contrôle du flux et celui du couple. Nous avons utilisé une approche traditionnelle basée sur un régulateur proportionnel-intégral (PI) pour faire des simulations effectuées avec MATLAB /SIMULINK ont démontré l'efficacité du découplage et la robustesse de cette commande.

CHAPITRE IV :
APPLICATION POUR LE
CHOIX DES MOTEURS
ÉLECTRIQUES.

IV.1 Introduction

Notre travail est réalisé à base de **Netbeans**, qui est un environnement de développement intégré (IDE) destiné principalement au développement d'application Java. Il prend également en charge d'autres langages de programmation comme PHP, JavaScript, HTML5, et C/C++. Netbeans est utilisé par les développeurs pour créer des applications de bureau et web.

Il utilise ces éléments principaux :

1. **Editeur de code** : un éditeur puissant avec des fonctionnalités comme la coloration syntaxique, l'auto-complétion de code, et des outils de refactoring.
2. **Débugueur** : un outil intégré pour déboguer les applications, avec des points d'arrêt, la surveillance des variables et le pas à pas.
3. **Gestionnaire de projets** : pour organiser et gérer les fichiers et dépendances d'un projet.
4. **Constructeurs de projets** : intégration avec des outils de construction comme Maven, Ant et Gradle pour automatiser la compilation et le déploiement.
5. **Outils de collaboration** : support pour Git, Subversion, Mercurial et d'autres Systèmes de contrôle de version
6. **Plugins** : une architecture modulaire permettant l'ajout de plugins pour étendre les fonctionnalités de l'IDE.

Le choix de ce logiciel a été choisi en fonction de ces éléments :

1. **Facilité d'utilisation** : interface utilisateur intuitive et bien conçue qui facilite le développement.
2. **Extensibilité** : large gamme de plugins disponible pour étendre les fonctionnalités de base.
3. **Communauté et support** : grande communauté d'utilisateurs et développeurs, avec documentation complétée et de nombreux tutoriels en ligne.
4. **Compatibilité Multiplateforme** : fonctionne sur différents systèmes d'exploitation comme Windows, MacOS et linux.
5. **Intégration des outils de développement** : outils intègre pour le développement web et mobile, ainsi que pour les tests et le déploiement continu

Un projet Netbeans est généralement constitué de deux éléments essentiels :

- 1. Une interface utilisateur (UI) :** la partie visible de l'application avec laquelle les utilisateurs interagissent .Elle peut être développée en utilisant des Framework comme Java FX ou Swing pour Java (fig.IV.1).
- 2. Le programme :** le code source qui implémente la logique de l'application .IL comprend les calasses, méthodes et scripts nécessaires pour que l'application fonctionne selon les spécifications.

Netbeans est un environnement de développement intégré (IDE) qui permet de développer des applications en divers langage de programmation tels que Java, PHP, et C++. Bien qu'il ne soit pas conçu spécifiquement pour lire , écrire et modifier des fichier comme ,Excel , Access , paradoxe ou DBase , il permet aux développeurs d'intégrer des bibliothèques et des API pour manipuler ces formats de fichier dans leur applications .Ces fichier sont souvent appelés de stables en langage informatique .l'ensemble de plusieurs tables reliées entre elles forme une base de données . Dans l'application, une base de données comprenant plusieurs tables est créée. Ces dernières faisant références aux types de moteurs utilisés. Après la présentation du logiciel utilisé pour développer notre application, nous passons maintenant à la description des étapes suivies pour sa réalisation.

IV.2 LES PROCEDURES SUIVIES POUR LA REALISATION DU PROJET

La réalisation de l'application "Le choix rationnel d'un moteur" a suivi une série d'étapes structurées. Voici les étapes détaillées de cette réalisation.

IV.2.1 Élaboration des Modèles du Système d'Information

La première étape consiste à élaborer les modèles conceptuels et logiques du système d'information.

IV.2.1.1 Modèle Conceptuel de Données (MCD)

Le Modèle Conceptuel de Données (MCD) représente la structure du système d'information, en termes de dépendances ou relations entre les différentes données.

Les principales composantes du MCD sont :

1. **L'entité ou objet** : Représente un objet de gestion pertinent, tel qu'un moteur, avec des propriétés simples et un identifiant unique.
2. **L'association ou relation** : Un lien entre entités, qui peut être réflexif, binaire, ou plus complexe, enrichi par des notions de cardinalité.

IV.2.1.2 Modèle Logique de Données (MLD)

Le MLD dérive du MCD et s'adapte à une implémentation physique en base de données relationnelle. Les règles de transcription consistent à :

1. Transformer chaque entité en table avec l'identifiant comme clé primaire.
2. Représenter les associations par des clés étrangères ou de nouvelles tables selon les cardinalités.

IV.2.2 Implémentation de la Base de Données

Après la conception des modèles, la base de données a été implantée sous MySQL.

Cette étape inclut :

1. **Utilisation de phpMyAdmin** : Choisi pour sa simplicité et sa rapidité, phpMyAdmin a été utilisé pour créer la base de données en transformant le MCD en MLD.
2. **Création des tables et des relations** : Les entités et les associations identifiées dans le MCD ont été traduites en tables et relations dans MySQL.

IV.2.3 OUTILS UTILISÉS POUR LA RÉALISATION DU PROJET

MySQL :

est un système de gestion de base de données (SGBD) très répandu, utilisé pour sa transparence et sa fiabilité.

Langage Java : est un langage de programmation orienté objet, connu pour sa portabilité sur divers systèmes d'exploitation, tels que Windows.

WampServer : est une plateforme de développement web qui permet d'exécuter localement des scripts PHP, comprenant les serveurs Apache et MySQL, et l'outil phpMyAdmin.

phpMyAdmin : est une interface web pour la gestion des bases de données MySQL. Elle permet d'exécuter facilement des requêtes SQL, de gérer la structure des bases de données, et de sauvegarder les données sous forme de fichiers « .sql ».

Workbench : est un outil de conception de bases de données sous forme graphique, permettant de créer, modifier et maintenir la structure des bases de données.

Netbeans

IV.2.4 Développement de l'Application avec Java et NetBeans

Le développement de l'application a été réalisé en utilisant le langage de programmation Java et l'IDE NetBeans.

IV.2.4.1 Conception de l'Interface Graphique

L'interface graphique a été conçue pour permettre une interaction conviviale avec l'utilisateur, facilitant la sélection rationnelle d'un moteur.

IV.2.4.2 Connexion de NetBeans à la Base de Données

Une connexion a été établie entre la base de données MySQL et l'application via NetBeans :

1. **Driver MySQL intégré** : Le driver MySQL intégré à NetBeans a facilité la connexion en configurant simplement le port et le nom de la base de données.
2. **Écriture des requêtes SQL** : Les requêtes nécessaires à l'application ont été écrites sous NetBeans en SQL.

IV.2.4.3 Compilation et Déploiement

L'application a été compilée sous forme de fichier « .jar » pour sa portabilité et sa petite taille, adéquate pour les PC des bureaux de la direction technique. Le fichier « .jar » permet une utilisation simple, similaire à un fichier « .exe », nécessitant uniquement l'installation de Java Platform SE Binary pour l'exécution.

IV.2.5 Conception de la Base de Données et de l'Application

- **Conception de la Base de Données**

La conception de la base de données repose sur le Modèle Conceptuel de Données (MCD) et le Modèle Logique de Données (MLD).

- **Conception de l'Application sous NetBeans**

L'application a été développée en Java en utilisant l'IDE NetBeans pour la conception de l'interface graphique et l'établissement de la connexion avec la base de données MySQL.

Cette structuration détaillée offre une vue d'ensemble claire et cohérente du processus de réalisation de l'application "Le choix rationnel d'un moteur".

IV.3 L'interface principale

L'interface de notre application est représentée dans la fig.IV-1, elle comporte deux (02) menus principaux :

1. Le choix du mécanisme ;
2. La consultation.

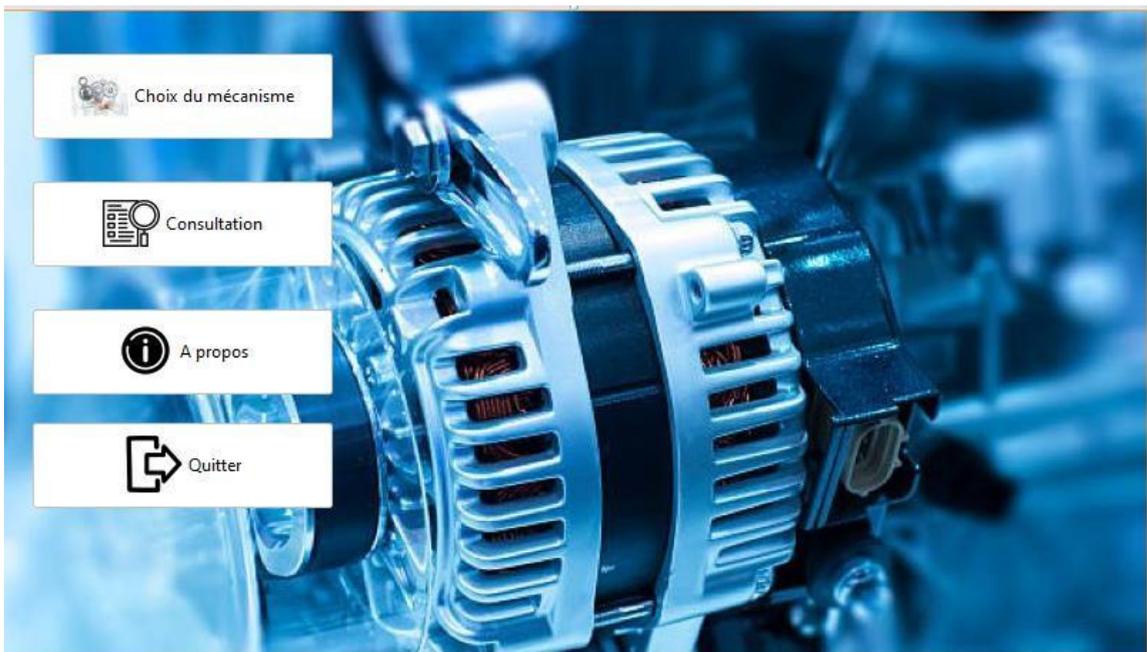


Figure IV-1 : L'interface principale

IV.3.1 Menu du choix du mécanisme

Une fois ce menu est sélectionné, trois (03) autres sous menus sont proposé à l'utilisateur (fig. IV-2) :

1. Le premier pour le convoyeur à bande.
2. Le deuxième pour l'ascenseur.

Chapitre IV : Application pour le choix des moteurs électriques

3. Et enfin, le dernier pour d'autres mécanismes qui ne font pas l'objet d'une étude mécanique détaillée dans notre application.

Après le choix du mécanisme à entraîner, une boîte de dialogue s'affiche pour l'introduction des données du cahier des charges correspondant.



Figure IV-2 : Menu du choix des mécanismes.

IV.3.1.1 Boîte de dialogue

Les de boîtes dialogues différents d'un mécanisme à un autre. Nous présenterons dans la fig. IV-3 le cas d'un ascenseur.

Choix du circuit de cablage:	Caractéristiques de la poulie de mouflage:
<input type="radio"/> Pas de poulies mobiles	Masse [KG]: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Une seule poulie coté cabine	Diametre [m]: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Une coté cabie l'autre coté contre-poids	Rendement: <input type="text"/>
<input type="radio"/> Deux poulies coté cabine	
<input type="radio"/> Trois poulies mobiles	
Caractéristique du mécanisme:	Masse de la cabine [KG]: <input type="text"/>
Masse de la poulie d'entrainement[... <input type="text"/>	Masse de la charge [KG]: <input type="text"/>
Diametre de la poulie d'entrainmen... <input type="text"/>	Masse de contre poids [KG]: <input type="text"/>
Rendement du coulisseau: <input type="text"/>	Masse des cables [KG]: <input type="text"/>
Rendement du treuil: <input type="text"/>	Masse du pendentif [KG]: <input type="text"/>
Vitesse de la cabine [m/s]: <input type="text"/>	
Temps de démarrage en [s]: <input type="text"/>	
<input type="button" value="Précédent"/>	<input type="button" value="Executer"/>

Figure IV-3 : boîte de dialogue du sous-menu ascenseur.

IV.3.2 Menu de la consultation

Dans ce menu l'utilisateur pourra effectuer une consultation des données figurant dans la base de données :

Les tables correspondantes représentent les types de moteurs LS (deux pôles, quatre pôles, six pôles et huit pôles). Figure. IV-4

type	puissance nominale	vitesse nominale	couple nominale	intensité nominale	facteur de puissance	rendement	ID/IN	CD/CN	CM/CN	puissance apparente	moment d'inertie	masse
LS56 L	0.09	2860	0.3	0.44	0.55	54	4.9	5.5	5.6	0.3	0.00015	3.8
LS56 L	0.12	2820	0.4	0.5	0.6	58	4.6	4.1	4.2	0.34	0.00015	3.8
LS63 M	0.18	2790	0.6	0.52	0.75	67	5	3.4	3	0.36	0.00019	4.8
LS63 M	0.25	2800	0.8	0.71	0.75	68	5.4	3.4	3.1	0.49	0.00025	6
LS71L	0.37	2800	1.3	0.98	0.8	68	5.2	3.2	3.8	0.68	0.00035	6.4
LS71 L	0.55	2800	1.9	1.32	0.8	75	6	3.2	3.1	0.92	0.00045	7.3
LS71 L	0.75	2780	2.5	1.7	0.85	75	6	3.4	3	1.18	0.0006	8.3
LS80 L	0.75	2840	2.5	1.64	0.87	76	5.9	2.4	2.2	1.13	0.0007	8.2
LS80 L	1.1	2837	3.7	2.4	0.84	78	5.8	2.7	2.4	1.7	0.0009	9.7
LS80 L	1.5	2859	5	3.2	0.83	80.3	7	3.2	2.8	2.2	0.0011	11.3
LS90 S	1.5	2870	5	3.4	0.81	79.6	8	3.9	4	2.3	0.0014	12
LS90 L	1.8	2865	6	3.6	0.86	83.1	8	3.6	3.6	2.5	0.0017	14
LS90 L	2.2	2882	7.4	4.3	0.88	83.3	7.7	3.7	3.3	3	0.0021	16
LS100 L	3	2868	10	6.3	0.81	83.9	7.5	3.8	3.9	4.3	0.0022	20
LS112 M	4	2877	13.5	7.9	0.85	86	7.8	2.9	2.9	5.5	0.0029	24.4
LS112 MG	5.5	2916	18.1	10.5	0.88	86.6	9	3.1	3.5	7.2	0.0076	33
LS132 S	5.5	2916	18.1	10.5	0.88	86.6	9	3.1	3.5	7.2	0.0076	34.4
LS132 S	7.5	2905	24.5	14.7	0.85	86.5	8.7	3.4	3.6	10.2	0.0088	39

Figure IV-4 : table des moteurs à deux pôles

IV.4 Exemple d'application

Dans cette partie, on se limitera à la présentation d'un seul exemple d'application. Il s'agit du choix de la motorisation d'un convoyeur à bande.

Une fois ce mécanisme est choisi dans le menu principal, on procède à l'introduction des données correspondantes comme le montre la fig.IV-5 ci-dessous

Caractéristique du mécanisme:		Caractéristique du réducteur:	
Masse -totale charge et mécanis...	<input type="text" value="200"/>	Rendement	<input type="text" value="0.95"/>
longueur entre-axe de la bande [m]:	<input type="text" value="6"/>	rapport de réduction	<input type="text" value="12.12"/>
Largeur entre-axe de la bande [m...]	<input type="text" value="600"/>		
Vitesse de la bande [m/s]:	<input type="text" value="1.2"/>	Hauteur d'élévation (m)	<input type="text" value="2.5"/>
Diametre du tambour [m]:	<input type="text" value="0.2"/>		
Défillement de la charge:			
<input checked="" type="checkbox"/> Convoyer incliné		<input checked="" type="radio"/> Charge ascendante	
		<input type="radio"/> Charge descendante	
<input type="button" value="Précédent"/>		<input type="button" value="Executer"/>	

Figure IV-5 : introduction des données du convoyeur à bande.

Chapitre IV : Application pour le choix des moteurs électriques

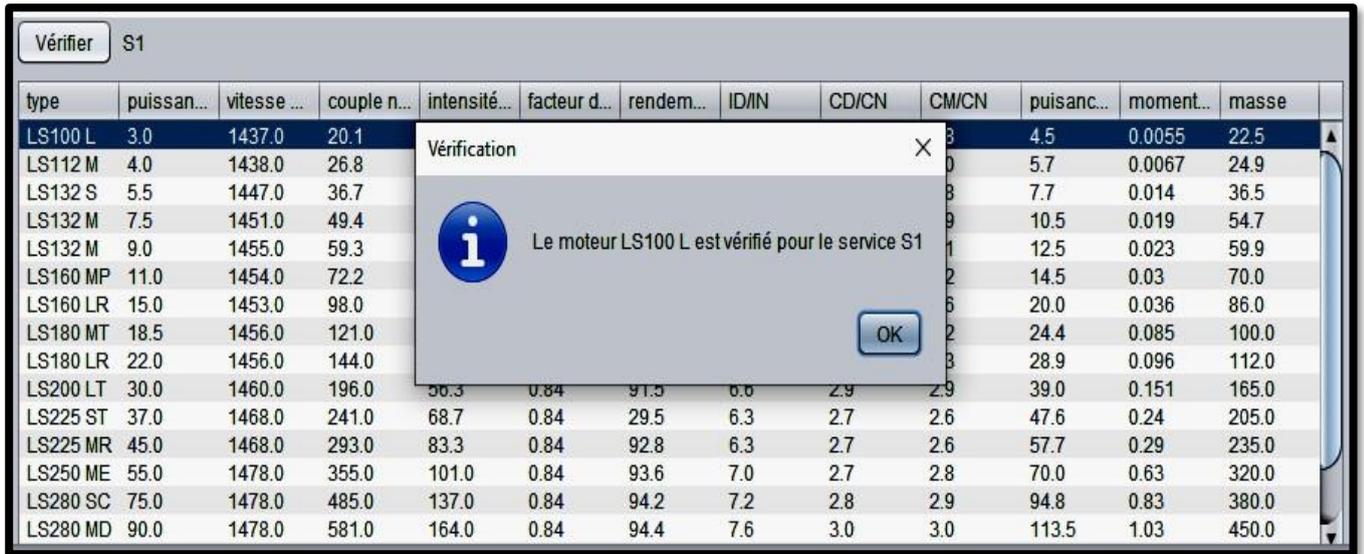
Après l'exécution, plusieurs lignes apparaissent le choix préliminaire correspond à la première ligne affichée, comme illustré sur la fig. IV-6. Ce choix est accompagné d'une boîte de dialogue pour la vérification du moteur au critère de démarrage et d'échauffement selon le type de service de fonctionnement prévu.

type	puissanc...	vitesse n...	couple no...	intensité ...	facteur de...	rendement	ID/IN	CD/CN	CM/CN	puissance...	moment...	masse
LS100 L	3.0	1437.0	20.1	6.5	0.81	82.6	6.0	2.5	2.8	4.5	0.0055	22.5
LS112 M	4.0	1438.0	26.8	8.3	0.83	84.2	7.2	2.5	3.0	5.7	0.0067	24.9
LS132 S	5.5	1447.0	36.7	11.1	0.83	85.7	6.3	2.4	2.8	7.7	0.014	36.5
LS132 M	7.5	1451.0	49.4	15.2	0.82	87.0	7.0	2.4	2.9	10.5	0.019	54.7
LS132 M	9.0	1455.0	59.3	18.1	0.82	87.7	6.9	2.2	3.1	12.5	0.023	59.9
LS160 MP	11.0	1454.0	72.2	21.0	0.86	88.4	7.7	2.3	3.2	14.5	0.03	70.0
LS160 LR	15.0	1453.0	98.0	28.8	0.84	89.4	7.5	2.9	3.6	20.0	0.036	86.0
LS180 MT	18.5	1456.0	121.0	35.2	0.84	90.3	7.6	2.7	3.2	24.4	0.085	100.0
LS180 LR	22.0	1456.0	144.0	41.7	0.84	90.7	7.9	3.0	3.3	28.9	0.096	112.0
LS200 LT	30.0	1460.0	196.0	56.3	0.84	91.5	6.6	2.9	2.9	39.0	0.151	165.0
LS225 ST	37.0	1468.0	241.0	68.7	0.84	92.5	6.3	2.7	2.6	47.6	0.24	205.0
LS225 MR	45.0	1468.0	293.0	83.3	0.84	92.8	6.3	2.7	2.6	57.7	0.29	235.0
LS250 ME	55.0	1478.0	355.0	101.0	0.84	93.6	7.0	2.7	2.8	70.0	0.63	320.0
LS280 SC	75.0	1478.0	485.0	137.0	0.84	94.2	7.2	2.8	2.9	94.8	0.83	380.0
LS280 MD	90.0	1478.0	581.0	164.0	0.84	94.4	7.6	3.0	3.0	113.5	1.03	450.0
LS315 SP	110.0	1484.0	700.0	197.0	0.85	94.9	7.9	3.0	3.0	136.5	1.33	530.0

Figure IV-6 : résultat du choix préliminaire

Chapitre IV : Application pour le choix des moteurs électriques

Le moteur sélectionné en préliminaire vérifiera le service prévu, si ce n'est pas le cas, un autre moteur sera choisi avec une puissance supérieure jusqu'à la vérification de ce dernier ; un message le confirmera. fig. IV-7 Dans le cas contraire, un autre message s'affichera pour informer l'utilisateur du non disponibilité du moteur sollicité dans la base de données.

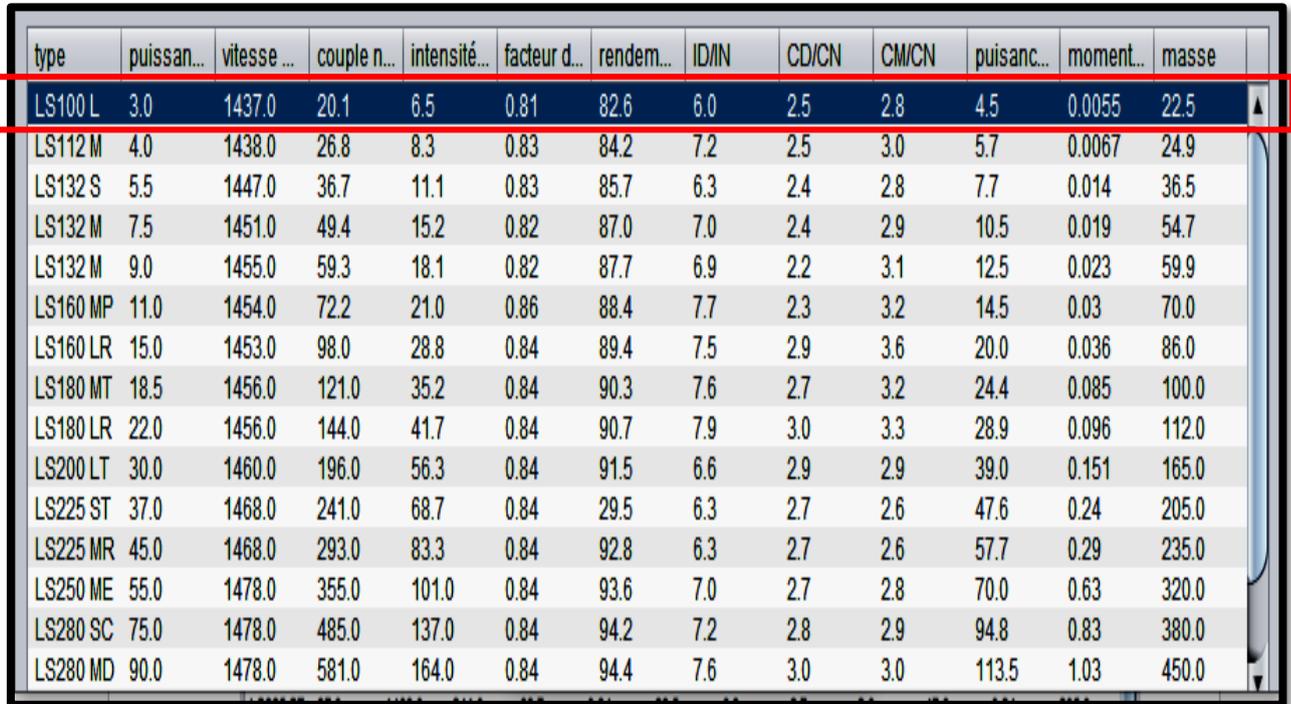


The screenshot shows a software interface with a table of motor specifications and a confirmation dialog box. The table has columns for type, power, speed, torque, intensity, efficiency, ID/N, CD/CN, CM/CN, power, moment, and mass. The dialog box, titled 'Vérification', contains an information icon and the text 'Le moteur LS100 L est vérifié pour le service S1' with an 'OK' button.

type	puissan...	vitesse ...	couple n...	intensité...	facteur d...	rendem...	ID/N	CD/CN	CM/CN	puisanc...	moment...	masse
LS100 L	3.0	1437.0	20.1							4.5	0.0055	22.5
LS112 M	4.0	1438.0	26.8							5.7	0.0067	24.9
LS132 S	5.5	1447.0	36.7							7.7	0.014	36.5
LS132 M	7.5	1451.0	49.4							10.5	0.019	54.7
LS132 M	9.0	1455.0	59.3							12.5	0.023	59.9
LS160 MP	11.0	1454.0	72.2							14.5	0.03	70.0
LS160 LR	15.0	1453.0	98.0							20.0	0.036	86.0
LS180 MT	18.5	1456.0	121.0							24.4	0.085	100.0
LS180 LR	22.0	1456.0	144.0							28.9	0.096	112.0
LS200 LT	30.0	1460.0	196.0	56.3	0.84	91.5	6.6	2.9	2.9	39.0	0.151	165.0
LS225 ST	37.0	1468.0	241.0	68.7	0.84	29.5	6.3	2.7	2.6	47.6	0.24	205.0
LS225 MR	45.0	1468.0	293.0	83.3	0.84	92.8	6.3	2.7	2.6	57.7	0.29	235.0
LS250 ME	55.0	1478.0	355.0	101.0	0.84	93.6	7.0	2.7	2.8	70.0	0.63	320.0
LS280 SC	75.0	1478.0	485.0	137.0	0.84	94.2	7.2	2.8	2.9	94.8	0.83	380.0
LS280 MD	90.0	1478.0	581.0	164.0	0.84	94.4	7.6	3.0	3.0	113.5	1.03	450.0

Figure IV-7 : Fin de la vérification.

Le résultat final s'affichera comme suit (fig.IV-8)



type	puissan...	vitesse ...	couple n...	intensité...	facteur d...	rendem...	ID/IN	CD/CN	CM/CN	puisanc...	moment...	masse
LS100 L	3.0	1437.0	20.1	6.5	0.81	82.6	6.0	2.5	2.8	4.5	0.0055	22.5
LS112 M	4.0	1438.0	26.8	8.3	0.83	84.2	7.2	2.5	3.0	5.7	0.0067	24.9
LS132 S	5.5	1447.0	36.7	11.1	0.83	85.7	6.3	2.4	2.8	7.7	0.014	36.5
LS132 M	7.5	1451.0	49.4	15.2	0.82	87.0	7.0	2.4	2.9	10.5	0.019	54.7
LS132 M	9.0	1455.0	59.3	18.1	0.82	87.7	6.9	2.2	3.1	12.5	0.023	59.9
LS160 MP	11.0	1454.0	72.2	21.0	0.86	88.4	7.7	2.3	3.2	14.5	0.03	70.0
LS160 LR	15.0	1453.0	98.0	28.8	0.84	89.4	7.5	2.9	3.6	20.0	0.036	86.0
LS180 MT	18.5	1456.0	121.0	35.2	0.84	90.3	7.6	2.7	3.2	24.4	0.085	100.0
LS180 LR	22.0	1456.0	144.0	41.7	0.84	90.7	7.9	3.0	3.3	28.9	0.096	112.0
LS200 LT	30.0	1460.0	196.0	56.3	0.84	91.5	6.6	2.9	2.9	39.0	0.151	165.0
LS225 ST	37.0	1468.0	241.0	68.7	0.84	29.5	6.3	2.7	2.6	47.6	0.24	205.0
LS225 MR	45.0	1468.0	293.0	83.3	0.84	92.8	6.3	2.7	2.6	57.7	0.29	235.0
LS250 ME	55.0	1478.0	355.0	101.0	0.84	93.6	7.0	2.7	2.8	70.0	0.63	320.0
LS280 SC	75.0	1478.0	485.0	137.0	0.84	94.2	7.2	2.8	2.9	94.8	0.83	380.0
LS280 MD	90.0	1478.0	581.0	164.0	0.84	94.4	7.6	3.0	3.0	113.5	1.03	450.0

Figure IV-8 : Affichage du résultat final.

IV.5 Conclusion

Ce chapitre a détaillé la création d'une application avec NetBeans pour automatiser la sélection des moteurs. Choisir le moteur adéquat est crucial pour garantir l'efficacité et la fiabilité des systèmes mécaniques. Notre application rend ce processus plus simple, augmente la précision des choix et permet de gagner du temps en offrant une solution automatisée et fiable. En somme, cette application représente une avancée significative dans le domaine de l'automatisation de la sélection des moteurs, promettant des améliorations notables en termes de performance et de fiabilité pour diverses applications industrielles.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Il est essentiel de prendre en compte les critères de performance, d'efficacité énergétique et de durabilité dans les environnements industriels en choisissant une dimension optimale des systèmes de motorisation. Ce mémoire, intitulé "Dimensionnement optimale des systèmes de motorisation industriel ", a réalisé une analyse approfondie des divers éléments et des méthodes requises pour choisir les moteurs électriques les plus appropriés pour des applications particulières.

Nous avons commencé par une étude des entraînements électriques et des mécanismes de transmission, en soulignant l'importance de comprendre les caractéristiques mécaniques des moteurs et des machines entraînées. Le calcul précis des paramètres de la charge ramenée sur l'arbre moteur s'est avéré essentiel pour un choix préliminaire judicieux.

Nous avons examiné en détail la vérification et l'ajustement du moteur sélectionné, qui sont abordés dans le deuxième chapitre. En prenant en considération les conditions d'utilisation telles que la température, l'altitude et les divers services des moteurs électriques, cette étape essentielle a garanti que le moteur choisi répond aux exigences opérationnelles particulières et optimise sa performance tout au long de sa durée de vie.

La commande vectorielle, abordée dans le troisième chapitre, a mis en évidence comment les méthodes de contrôle avancées peuvent améliorer la régulation de la vitesse et du couple des moteurs électriques, offrant ainsi une précision et une adaptabilité accrues aux divers besoins industriels.

Dans le quatrième chapitre, une application informatique a été développée à l'aide de NetBeans, visant à automatiser et simplifier la sélection des moteurs. En intégrant des bases de données et des algorithmes décisionnels, cette application simplifie le dimensionnement en permettant un choix efficace et précis des moteurs asynchrones.

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire a proposé une approche méthodique pour le dimensionnement optimal des systèmes de motorisation, intégrant les aspects techniques, environnementaux et économiques.

Les résultats obtenus et les outils développés apportent une contribution significative à l'amélioration de l'électrotechnique industrielle. Ils offrent des solutions pratiques et efficaces pour relever les défis actuels et futurs des systèmes de motorisation.

Références bibliographiques

- [1] L.BENYAHIA et K.SAIT , « élaboration d'un programme informatique pour le choix rationnel des moteur asynchrones », projet fin d'étude, université Bejaia, 2006.
- [2] MADANI, cour de licence 3 module constricton mécanique 1 et 2, Université de Blida 1.
- [3] N. MELZI, M.TEMMAR « Etude et conception d'un réducteur de vitesse » Mémoire de fin d'étude, Université SAAD DAHLAB De Blida 1,2016.
- [4] AOUAKLI.N, SAHIRI.E, « contribution à l'optimisation des traine d'engrenages », Université KASI MARBAH Ouargla, 2017/2018.
- [5] GHEDAMSI, coure commande des systèmes électriques, université Bejaia.
- [6] <https://www.pompe-moteur.fr/blog/lire-et-comprendre-la-plaque-signaletique-de-son-moteur-n2>
critères de choix d'un moteur, Ressources naturelles-Canada. [En ligne].
- [7] F.TAZERART, coure mécanisme industriel de transmission mécanique de puissance, Université Bejaia.
- [8] Y. BOUREK, coure dimensionnement des systèmes industriel, Université KASI MARBAH Ouargla.
- [9] coure dimensionnement des moteur, lycée BERNARD PALING 1 rue de Gascagne.
- [10] D.AIT KAID, « commande d'une machine asynchrone sans capture mécanique, à l'aide De régulateur fractionnaires », projet fin d'étude, université MOULOU D MAMMERI de Tizi Ouazou, 2011.
- [11] Etude d'un moteur asynchrone triphasé, <http://elhaszli.com/Structure.MAS.php> .
- [12] A.OUTMANI, « commande vectorielle d'une machine asynchrone associée à un observateur adaptatif », projet fin d'étude, université BADJI MOKHTAR Annaba, 2014.
- [13] Y.DLANDAU, « adaptive central » The modèle Référence Approche, INC NEWYOEK, 1979.
- [14] CH.DJAMAL, « commande d'une machine asynchrone par logique floue », projet fin d'étude, EL OUED, 2014.

[15] S.ALIA, S.GUEDDA, « commande vectorielle d'une machine à induction, projet fin d'étude, université EL OUED, 2018.

[16] S.CHAOUCH, « commande vectorielle Robuste d'une machine à induction sans capteur de vitesse », Thèse de doctorat, université Batna 03, 2005.

[17] Z. KHENICHE, N.MEBARKI, « contribution d'un système multi_machines : alimentation et commande, projet fin d'étude, université Bejaia, 2023.

ANNEXES :

Tableau moteur asynchrone à 2 pôles :



IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K



RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_n kW	Vitesse nominale N_n min ⁻¹	Couple nominal C_n Nm	Intensité nominale $I_{type A}$ A	Facteur de puissance					Rendement			Courant démarrage / Courant nominal I_d/I_n	Couple démarrage / Couple nominal M_d/M_n	Couple maximal / Couple nominal M_m/M_n	Puissance apparente nominale kVA_n	Courbe de couple*	Moment d'inertie J kg.m ²	Masse M/B3 kg
					50%	Cos φ 75 %	100 %	50%	75 %	100 %									
LS 56 L	0,09	2860	0,3	0,44	0,40	0,45	0,55	37	45	54	4,9	5,5	5,8	0,30	1	0,00015	3,8		
LS 56 L	0,12	2820	0,4	0,50	0,45	0,55	0,60	45	54	58	4,6	4,1	4,2	0,34	1	0,00015	3,8		
LS 63 M	0,18	2790	0,6	0,52	0,55	0,65	0,75	59	66	67	5	3,4	3	0,38	1	0,00019	4,8		
LS 63 M	0,25	2800	0,8	0,71	0,55	0,65	0,75	59	67	68	5,4	3,4	3,1	0,49	1	0,00025	6		
LS 71 L	0,37	2800	1,3	0,98	0,60	0,70	0,80	63	67	68	5,2	3,2	3,8	0,68	1	0,00035	6,4		
LS 71 L	0,55	2800	1,9	1,32	0,55	0,70	0,80	71	75	75	6	3,2	3,1	0,92	1	0,00045	7,3		
LS 71 L	0,75	2780	2,5	1,70	0,65	0,75	0,85	73	75	75	6	3,4	3	1,18	1	0,00060	8,3		
LS 80 L	0,75	2840	2,5	1,84	0,68	0,80	0,87	74	76,5	76	5,9	2,4	2,2	1,13	1	0,00070	8,2		
LS 80 L	1,1	2837	3,7	2,4	0,65	0,77	0,84	76,6	78,5	78	5,8	2,7	2,4	1,7	6	0,00090	9,7		
LS 80 L	1,5	2859	5	3,2	0,62	0,76	0,83	78	80,4	80,3	7	3,2	2,8	2,2	5	0,0011	11,3		
LS 90 S	1,5	2870	5	3,4	0,58	0,72	0,81	75,1	78,9	79,8	8	3,9	4	2,3	5	0,0014	12		
LS 90 L	1,8	2865	6	3,6	0,69	0,80	0,86	81,7	83,4	83,1	8	3,6	3,6	2,5	5	0,0017	14		
LS 90 L	2,2	2862	7,4	4,3	0,73	0,83	0,88	82,9	84	83,6	7,7	3,7	3,3	3	5	0,0021	16		
LS 100 L	3	2868	10	6,3	0,59	0,73	0,81	80,6	83,8	83,9	7,5	3,8	3,9	4,3	5	0,0022	20		
LS 112 M	4	2877	13,5	7,9	0,65	0,78	0,85	84,4	86,1	86	7,8	2,9	2,9	5,5	5	0,0029	24,4		
LS 112 MG	5,5	2916	18,1	10,5	0,71	0,81	0,88	85,6	87,2	86,6	9	3,1	3,5	7,2	5	0,0076	33		
LS 132 S	5,5	2916	18,1	10,5	0,71	0,81	0,88	85,6	87,2	86,6	9	3,1	3,5	7,2	5	0,0076	34,4		
LS 132 S	7,5	2905	24,5	14,7	0,63	0,78	0,85	84,5	86,4	86,5	8,7	3,4	3,6	10,2	5	0,0088	39		
LS 132 M	9	2910	29,6	17,3	0,71	0,80	0,85	87,5	88,4	88,1	8,6	2,5	3,5	12	5	0,016	49		
LS 132 M	11	2944	36	20,7	0,69	0,81	0,86	87,7	89,4	89,4	7,5	2,7	3,4	14,3	5	0,018	54		
LS 160 MP	11	2944	36	20,7	0,69	0,81	0,86	87,7	89,4	89,4	7,5	2,7	3,4	14,3	5	0,019	62		
LS 160 MP	15	2935	48,8	28,4	0,71	0,79	0,85	85,1	90,1	90	8,1	3	3,5	19,7	5	0,023	72		
LS 160 L	18,5	2934	60,2	33,7	0,75	0,83	0,87	90,4	91,2	91	8	3	3,3	23,4	4	0,044	88		
LS 180 MT	22	2938	71,5	39,9	0,76	0,84	0,87	91,2	91,8	91,5	8,1	3,1	3,1	27,6	4	0,052	99		
LS 200 LT	30	2946	97,2	52,1	0,82	0,87	0,9	92,1	92,7	92,4	8,6	2,7	3,4	36,1	4	0,089	154		
LS 200 L	37	2950	120	64,6	0,82	0,87	0,89	92,2	93	92,9	7,4	2,6	3	44,8	4	0,120	180		
LS 225 MT	45	2950	146	77,4	0,82	0,87	0,9	93,1	93,4	93,3	7,5	2,8	3,1	53,6	4	0,140	200		
LS 250 MZ	55	2956	178	95,2	0,8	0,86	0,89	93,1	93,7	93,7	8,3	3,1	3,4	66	4	0,173	235		
LS 280 SC	75	2968	241	127	0,82	0,87	0,9	93,8	94,4	94,4	8,5	2,6	3,4	88,3	4	0,39	330		
LS 280 MC	90	2968	290	152	0,83	0,88	0,9	94,1	94,7	94,7	8,4	2,6	3,3	105,6	4	0,47	375		
LS 315 SP	110	2976	353	190	0,8	0,86	0,88	93,2	94,3	94,8	7,8	2,8	2,9	131,9	4	1,43	645		
LS 315 MP	132	2976	424	225	0,82	0,87	0,89	93,4	94,6	95	7,6	2,8	2,9	156,1	4	1,67	715		
LS 315 MR	160	2976	513	270	0,84	0,88	0,9	93,6	94,8	95,1	7,6	2,9	3,1	186,9	4	1,97	820		
LS 315 MR *	200	2982	640	349	0,82	0,86	0,87	94,3	94,9	95	9,3	3,8	3,9	242	4	1,97	845		

Tableau-1-

4
pôles
1500 min⁻¹

IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K



RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance			Rendement			Courant démarrage / Courant nominal	Couple démarrage / Couple nominal	Couple maximal / Couple nominal	Puissance apparente nominale	Courbe de couple*	Moment d'inertie	Mass
	P _n kW	N _n min ⁻¹	C _n N.m	I _{app} A	50 %	Cosφ 75 %	100 %	50 %	η 75 %	100 %	I _d /I _n	M _d /M _n	M _g /M _n	kVA _n	M*	J kg.m ²	M/B3 kg
LS 56 L	0,09	1400	0,6	0,39	0,42	0,52	0,60	42,8	49,8	55	3,2	2,8	2,8	0,27	2	0,0025	4
LS 63 M	0,12	1380	0,8	0,44	0,47	0,58	0,70	46,8	54	56	3,2	2,5	2,4	0,31	2	0,0035	4,8
LS 63 M	0,18	1390	1,2	0,64	0,44	0,55	0,65	51	58	62	3,7	2,7	2,7	0,45	2	0,0048	5
LS 71 L	0,25	1425	1,7	0,60	0,45	0,56	0,65	60	67	69	4,6	2,7	2,9	0,56	2	0,0068	6,4
LS 71 L	0,37	1420	2,5	1,06	0,47	0,59	0,70	66	72	72	4,9	2,4	2,8	0,73	2	0,0085	7,3
LS 71 L	0,55	1400	3,8	1,62	0,49	0,62	0,70	65	70	70	4,8	2,3	2,5	1,12	2	0,011	8,3
LS 80 L	0,55	1410	3,8	1,42	0,55	0,68	0,76	62	69,3	73,4	4,5	2	2,3	1	7	0,013	8,2
LS 80 L	0,75	1400	5,1	2,01	0,59	0,71	0,77	68	70	70	4,5	2	2,2	1,4	7	0,018	9,3
LS 80 L	0,9	1425	6	2,44	0,54	0,67	0,73	70	73	73	5,8	3	3	1,6	6	0,024	10,9
LS 90 S	1,1	1429	7,4	2,5	0,64	0,77	0,84	77,1	78,4	78,8	4,8	1,6	2	1,7	7	0,026	11,5
LS 90 L	1,5	1428	10	3,4	0,60	0,74	0,82	77,5	79,4	78,5	5,3	1,8	2,3	2,3	7	0,032	13,5
LS 90 L	1,8	1438	12	4	0,61	0,75	0,82	79	80,8	80,1	6	2,1	3,2	2,7	4	0,037	15,2
LS 100 L	2,2	1436	14,7	4,8	0,59	0,73	0,81	79,8	81,5	81	5,9	2,1	2,5	3,4	7	0,043	20
LS 100 L	3	1437	20,1	6,5	0,59	0,72	0,81	80,8	82,6	82,8	6	2,5	2,8	4,5	6	0,055	22,5
LS 112 M	4	1438	26,8	8,3	0,57	0,76	0,83	83,4	84,2	84,2	7,1	2,5	3	5,7	6	0,067	24,9
LS 132 S	5,5	1447	36,7	11,1	0,67	0,79	0,83	85,8	86,4	85,7	6,3	2,4	2,8	7,7	6	0,14	36,5
LS 132 M	7,5	1451	49,4	15,2	0,61	0,74	0,82	84,9	86,4	87	7	2,4	2,9	10,5	6	0,19	54,7
LS 132 M	9	1455	59,3	18,1	0,62	0,74	0,82	86,2	87,6	87,7	6,9	2,2	3,1	12,5	4	0,23	59,9
LS 160 MP	11	1454	72,2	21	0,67	0,79	0,86	87,4	88,6	88,4	7,7	2,3	3,2	14,5	1	0,30	70
LS 160 LR	15	1453	98	28,8	0,69	0,78	0,84	88,4	89,8	89,4	7,5	2,9	3,6	20	1	0,36	86
LS 180 MT	18,5	1456	121	35,2	0,67	0,79	0,84	90,3	90,8	90,3	7,6	2,7	3,2	24,4	1	0,65	100
LS 180 LR	22	1456	144	41,7	0,68	0,79	0,84	90,9	91,2	90,7	7,9	3	3,3	28,9	1	0,96	112
LS 200 LT	30	1460	196	56,3	0,69	0,8	0,84	91,5	92	91,5	6,6	2,9	2,9	39	2	0,151	165
LS 225 ST	37	1468	241	68,7	0,7	0,8	0,84	92,9	93,1	92,5	6,3	2,7	2,8	47,6	2	0,24	205
LS 225 MR	45	1468	293	83,3	0,7	0,8	0,84	93	93,3	92,8	6,3	2,7	2,8	57,7	2	0,29	235
LS 250 ME	55	1478	355	101	0,71	0,8	0,84	93,2	93,8	93,6	7	2,7	2,8	70	3	0,63	320
LS 280 SC	75	1478	485	137	0,71	0,8	0,84	93,8	94,4	94,2	7,2	2,8	2,9	94,8	3	0,83	380
LS 280 MD	90	1478	581	164	0,71	0,8	0,84	93,8	94,5	94,4	7,6	3	3	113,5	3	1,03	450
LS 315 SP	110	1484	708	197	0,74	0,82	0,85	93,9	94,7	94,8	7	2,7	2,7	136,5	3	2,32	670
LS 315 MP	132	1484	849	236	0,74	0,82	0,85	94,1	95	95	7,6	2,9	3	163,5	3	2,79	750
LS 315 MR	160	1484	1030	288	0,74	0,82	0,85	94,1	95	95	7,7	2,9	3	198,1	3	3,27	845
LS 315 MR *	200	1486	1285	359	0,69	0,79	0,84	95,1	95,8	95,8	8,1	3,1	3,4	248,5	3	3,27	860

Tableau-2-

6
pôles
1000 min⁻¹

IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K

RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Interdité nominale	Facteur de puissance			Rendement			Courant démarrage / Courant nominal	Couple démarrage / Couple nominal	Couple maximal / Couple nominal	Puissance apparente nominale	Coube de couple*	Moment d'inertie	Masse
	P _n kW	N _n min ⁻¹	C _n N.m	I _{synch} A	50 %	cosφ 75 %	100 %	50 %	η 75 %	100 %	I _d /I _n	M _d /M _n	M _m /M _n	kVA _n	N°	J kg.m ²	M/B3 kg
L8 88 M	0,09	860	0,9	0,46	0,63	0,70	0,80	26	32	35	2,1	1,8	1,8	0,32	3	0,0006	5,5
L8 71 L	0,12	920	1,3	0,64	0,40	0,48	0,55	36	45	49	2,9	2,5	2,6	0,45	3	0,0007	6,5
L8 71 L	0,18	895	1,8	0,81	0,43	0,53	0,62	43	50	52	2,7	1,9	2	0,56	3	0,0011	7,6
L8 71 L	0,25	840	2,6	1	0,48	0,59	0,70	47	52	50	2,5	1,7	1,7	0,71	3	0,0013	7,9
L8 80 L	0,25	955	2,5	0,85	0,48	0,64	0,67	56	63	63,1	3,9	1,6	1,8	0,59	8	0,0024	8,4
L8 80 L	0,37	950	3,7	1,1	0,57	0,67	0,72	59	61	66	4,3	1,7	2,2	0,76	8	0,0032	9,7
L8 80 L	0,55	950	5,5	1,8	0,47	0,60	0,64	55	63	68	4,9	2,1	2,6	1,2	7	0,0042	11
L8 90 B	0,75	930	7,7	2,1	0,54	0,66	0,77	60	65	68,5	4,2	2,4	2,6	1,4	7	0,0039	13,5
L8 90 L	1,1	915	11,5	3	0,56	0,67	0,76	66	70	70	4,7	2,4	2,5	2,1	6	0,0048	15,2
L8 100 L	1,5	905	15,8	4,2	0,52	0,62	0,74	65	69	69	4,5	2,5	2,7	2,9	6	0,0058	20
L8 112 M	2,2	905	23,2	5,8	0,53	0,66	0,76	68	72	72	5,6	2,8	2,7	4	6	0,0087	24,2
L8 132 B	3	957	30,3	6,8	0,59	0,71	0,78	75	78	81,1	6	2	2,6	4,7	7	0,018	38,3
L8 132 M	4	961	39,6	9,3	0,56	0,66	0,75	78	83	83,6	5,9	2,5	2,9	6,4	7	0,034	53,3
L8 132 M	5,5	960	54,2	13,3	0,52	0,65	0,71	80	83,5	84,1	5,5	2,5	2,8	9,2	6	0,039	59,4
L8 160 M	7,5	967	74,1	16,1	0,63	0,74	0,79	82,6	84,8	85,2	4,7	1,5	2,1	11,1	7	0,086	81
L8 160 L	11	967	109	23,3	0,64	0,75	0,79	85	86,5	86,3	4,6	1,6	2,1	16,1	7	0,116	105
L8 180 LR	15	968	148	31,9	0,61	0,71	0,78	86,1	87,3	87,1	5,4	1,8	2,6	22,1	7	0,139	110
L8 200 LT	18,5	970	182	37	0,65	0,76	0,81	88,1	89,3	89	6,4	2,4	2,8	25,7	7	0,236	160
L8 200 L	22	972	216	43,6	0,65	0,76	0,81	89	90,1	89,9	6	2	2,7	30,2	7	0,295	190
L8 225 MR	30	968	296	59,5	0,72	0,79	0,81	89,2	90,3	89,9	6	2,2	2,5	41,2	7	0,39	235
L8 260 ME	37	978	361	71,1	0,69	0,79	0,81	92,9	93,2	92,7	6,2	2,3	2,5	49,3	7	0,85	305
L8 280 BC	45	978	439	86,5	0,69	0,79	0,81	92,9	93,2	92,7	6,2	2,3	2,5	59,9	7	0,99	340
L8 280 MC	55	978	537	106	0,72	0,79	0,81	93,1	93,3	92,6	6	2,4	2,5	73,3	7	1,19	385
L8 315 BP	75	980	731	140	0,69	0,78	0,83	92,5	93,3	93,3	7,2	2,4	3	96,9	7	3,09	690
L8 315 MP	90	980	877	164	0,76	0,83	0,85	92,4	93,1	93,1	7,2	2,4	2,9	113,7	7	3,74	760
L8 315 MR	110	980	1072	200	0,76	0,83	0,85	93	93,5	93,5	7,2	2,4	2,9	138,4	7	4,36	850

Tableau-3-

8
pôles
750 min⁻¹

IP 55 - S1
Cl. F - ΔT 80 K

RÉSEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Couple nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance			Rendement			Courant démarrage / Courant nominal	Couple démarrage / Couple nominal	Couple maximal / Couple nominal	Puissance apparente nominale	Courbe de couple*	Moment d'inertie	Masse
	P _n kW	N _n min ⁻¹	C _n N.m	I _N A	50 %	cos φ 75 %	100 %	50 %	75 %	100 %	I _d /I _n	M _d /M _n	M ₂ /M _n	kVA _n	N*	J kg.m ²	III B3 kg
L8 71 L	0,12	650	1,7	0,72	0,40	0,45	0,55	36	42	44	2,1	1,3	1,5	0,50	3	0,0013	8
L8 80 L	0,18	705	2,4	0,79	0,45	0,54	0,63	43	48	52	2,9	1,5	1,9	0,55	8	0,0031	9,7
L8 80 L	0,25	700	3,4	0,98	0,51	0,60	0,68	45	52	54	2,8	1,7	1,9	0,68	8	0,0041	11,3
L8 90 S	0,37	685	5,2	1,20	0,52	0,63	0,72	56	62	62	3,8	1,7	1,8	0,83	8	0,0038	13,5
L8 90 L	0,55	670	7,8	1,7	0,52	0,61	0,72	59	62	63,5	3,5	1,7	1,7	1,2	8	0,0047	15,2
L8 100 L	0,75	670	10,7	2,4	0,47	0,58	0,71	55	61,5	63,5	3,5	1,8	2,2	1,7	7	0,0047	18
L8 100 L	1,1	670	15,7	3,7	0,49	0,60	0,68	58	62,5	63	3,7	2	2,2	2,6	7	0,0068	21,8
L8 112 MG	1,5	710	20,2	4,7	0,43	0,55	0,64	62,5	69	72	3,8	2	2,1	3,3	7	0,015	24
L8 132 OM	2,2	713	30,2	6,1	0,45	0,56	0,68	71	77,5	77,1	4	1,7	2	4,2	8	0,025	45,6
L8 132 M	3	712	40,7	8	0,45	0,56	0,65	79	82,9	79,8	4,3	1,9	2,2	5,5	8	0,033	53,9
L8 160 M	4	718	53,2	11	0,43	0,55	0,63	81,3	83,4	83,3	3,9	1,7	2,3	7,6	8	0,068	84
L8 160 M	5,5	716	73,4	15,1	0,43	0,55	0,63	81,8	83,5	83,3	3,9	1,7	2,3	10,5	8	0,071	89
L8 160 L	7,5	714	100	20,6	0,43	0,55	0,63	82,6	84	83,4	3,9	1,9	2,3	14,3	8	0,09	101
L8 180 L	11	720	146	25,6	0,57	0,68	0,72	84,2	86,3	86	3,8	1,4	1,9	17,8	8	0,205	140
L8 200 L	15	725	198	32,9	0,57	0,7	0,75	86,3	87,9	87,7	4,4	1,6	2,1	22,8	8	0,27	185
L8 225 ST	18,5	725	244	42,4	0,54	0,66	0,72	86,2	87,7	87,5	4,2	1,6	2,1	29,4	8	0,33	210
L8 225 MR	22	725	290	51,9	0,51	0,63	0,7	85,1	87,2	87,4	4,4	1,9	2,3	36	8	0,4	240
L8 260 ME	30	730	392	60,3	0,63	0,73	0,79	90,1	91,2	90,9	5,8	1,9	2,7	41,8	8	0,99	330
L8 280 OC	37	730	484	74,3	0,63	0,73	0,79	90,7	91,4	91	5,6	1,8	2,6	51,5	8	1,19	370
L8 280 MD	45	728	590	91,4	0,63	0,73	0,78	91,1	91,7	91,1	5,4	1,8	2,6	63,3	8	1,39	430
L8 315 OP	55	738	712	105	0,71	0,78	0,81	92,2	93,2	93,2	5,4	1,8	2,4	72,9	8	3,1	660
L8 315 MR	75	738	970	143	0,71	0,78	0,81	93,1	93,8	93,6	5,4	1,8	2,4	98,9	8	4,38	815

Tableau-4-

Paramètres de la machine

$$\omega = 157 \text{ rad/S}$$

$$P_n = 1.5 \text{ kw}$$

$$C_n = 10 \text{ Nm}$$

$$R_r = 6.3\Omega$$

$$R_s = 10\Omega$$

$$L_s = 0.4642$$

$$L_r = 0.4612$$

$$M = 0$$

$$J = 0.02 \text{ (kg}^2/\text{s)}$$

$$P = 2$$