

---

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

التعليم  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

البلدية  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

الإلكترونيك  
Département d'Électronique



## ***Mémoire de Master***

Pour l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique spécialité

Machine électrique

présenté par

***BELLACHE OMAR***

&

***ISMAIL ZOHEIR***

---

# ***Etude d'un variateur de vitesse électronique pour moteur asynchrone***

---

Proposé par :KHELIFI OTMANE

Année Universitaire 2016-2017



# *Dédicaces*



*Je dédie ce modeste travail à :*

✚ *Mes chers Parents.*

✚ *Mon Frère.*

✚ *Mes Sœurs.*

✚ *Ma Famille et tous mes Proches.*

✚ *Tous mes Amis:*

*redah ,billal ,kamal et houcine*

*omar*



## *Remerciements*

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU "Allah",  
notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir  
ce travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur  
consultant **Khelifi-Otman**. Pour nous avoir diligenté tout au  
long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa  
compétence, et ces remarques qui nous ont été précieuses.*

*Nous présentons nos chaleureux remerciements aux  
enseignants du département électrotechnique*

*Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont  
contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*OMAR et ZOUHIR*



:

يتضمن اختيار هذين خيرين :  
المحيط خذها البياني بها (التغذية), تيار يتم تصحيحه ) بعين  
تياره . قيم تيارات جميع هذا التركيبي (مغير) ,  
الترشيح (شبيعة).  
الكلمات المفتاحية : مغير ;

### Résumé :

Dans ce travail on a modélisé la machine asynchrone, la modélisation est important pour les commandes des machines .On a choisi le variateur VACON 100 flow et on a fait une étude générale sur les différentes parties (redresseur, filtrage, onduleur). Le moteur que doit être installé dans l'entreprise, il est soumis sur une étude générale où on a calculé la puissance de mécanisme, courant de démarrage, couple de démarrage et les résultats ont été validés à partir d'une simulation.

**Mots clés :** Modélisation ; Variateur VACON 100 flow ; Le moteur

### Abstract:

In this paper the asynchronous machine was modeled, modeling is important for machine controls. The VACON 100 flow variator was chosen and a general study was made on the various parts (rectifier, filtering, and inverter). The engine that must be installed in the company, is submitted to a general study where we calculated the power of mechanism, starting current, starting torque and the results were validated from a simulation.

Key words: Modeling; Variator VACON 100 flow; Engine

# Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Table des matières

Liste de l'abréviation et acronymes

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....1

## Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

1.1 Introduction.....3

1.2. Le groupe Labelle comprend en tout.....3

1.3. La structure organisationnelle de l'entreprise.....3

1.3.1. Diagnostic de la fonction de production.....3

1.3.2. Les produits du groupe Labelle.....3

1.3.3. Diagnostic de la fonction approvisionnement.....4

1.3.4. Diagnostic de la fonction maintenance.....5

1.3.5. Diagnostic de la fonction ressources humaines.....5

1.3.6. Diagnostic de la fonction commerciale et marketing .....5

1.3.7. Organigramme de l'entreprise Labelle.....6

1.4. Fonctionnement du système.....7

1.4.1. La réparation.....7

1.4.2. Aspiration et refoulement .....7

1.4.3. La refroidissement .....7

1.4.4. Etape finale.....8

1.5 Conclusion.....8

## Chapitre 2 : Modélisation

2.1 Introduction .....9

2.2 Généralité sur les machines asynchrones.....	9
2.2.1 Les hypothèses simplificatrices .....	10
2.2.2 Représentation des enroulements de la machine .....	10
2.3. Equations général de la machine .....	11
2.4 Transformation de Park.....	13
2.4.1 Choix de repère.....	14
2.4.2Modèle d'état de la machine asynchrone dans un repère $d$ liée au champ tournant.....	14
2.5 Equations électriques.....	14
2.6 Equations Mécaniques.....	16
2.7 Couples électromagnétiques.....	16
2.8 Le modèle d'état.....	17
2.9 Conclusion.....	19

### **Chapitre 3 : Variateur de vitesse**

3.1 Introduction.....	20
3.2Variateur de vitesse.....	20
3.3 Choix des variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones.....	20
3.3.1 Facteurs techniques.....	20
3.3.2 Facteur économique .....	21
3.4 Les principales fonctions des variateurs de vitesse électroniques.....	21
3.5 Convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone.....	21
3.5.1 Principe.....	21
3.5.2 Les principaux types de convertisseurs de fréquence.....	21
a. Convertisseurs directs de fréquence.....	21
b. Convertisseurs indirects de fréquence.....	22
3.5.3 Constitution du convertisseur de fréquence .....	23
3.5.3. a Redresseur.....	24
3.5.3. b Filtre.....	25
3.5.3. c L'onduleur de tension triphasé a MLI.....	25
a. Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux.....	26
b. Stratégie de commande de l'onduleur à deux niveaux.....	28

c. Commande triangulo-sinusoidale à une porteuse .....	28
3.6 Protections intégrées aux variateurs.....	29
3.6.1 Protection de surcharge moteur.....	29
3.6.2 Protection contre le court-circuit moteur ou ligne en aval du variateur.....	29
3.6.3 Autres protections intégrées aux variateurs.....	29
3.7 Choix industriel du variateur de vitesse.....	30
3.7.1 Qu'est qu'un VACON100 FLOW.....	30
3.7.2 Les caractéristiques du VACON100 FLOW.....	31
3.7.3 Le panneau opérateur du VACON100 FLOW.....	31
3.7.4 L'installation du VACON100 FLOW .....	32
3.7.5 Type du VACON100 FLOW utilisé pour notre MAS .....	33
3.8 Conclusion.....	33

#### **Chapitre4 : Partie Calculs**

4.1 Introduction .....	34
4.2 Calcul du choix industriel du moteur.....	35
4.2.1 Service de fonctionnement.....	35
4.2.2 Calcul de la puissance du moteur.....	35
a. Correction suivant la température ambiante.....	35
b. Correction suivant la fréquence.....	35
c. Correction suivant l'altitude.....	36
4.2.3 Calcul du couple nominal.....	37
4.2.4 Calcul du couple de démarrage.....	38
4.2.5 Calcul de la capacité de surcharge.....	38
4.3 Description du moteur asynchrone utilisé.....	38
4.3.1 Définition des symboles de la plaque signalétique.....	39
4.3.2 Recommandation de montage.....	39
4.3.3 Détermination du mode et position de fixation.....	40
4.3.4 Indice de protection IP.....	40
4.3.5 Protection contre les chocs mécaniques IK.....	41
4.3.6 Planchettes à borne et sens de rotation.....	41
a. Couple de serrage sur les écrous des planchettes à bornes.....	41
4.3.7 Ventilation des moteurs.....	42

a. Ventilation des moteurs à vitesse variable.....	42
b. Mode de refroidissement IC 418.....	43
4.3.8 Protection thermique.....	43
4.3.9 Paliers à roulements avec graisseur.....	44
4.4 Dimensionnement du convertisseur de fréquence.....	44
4.5 Application pour notre moteur .....	44
4.5.1 Calcul du montage Onduleur.....	45
a. Tension d'entrée.....	45
b. Courant d'entrée.....	45
c. Le courant dans le semi-conducteur commandé.....	46
4.5.2 Calcul du montage redresseur.....	46
a. Le courant dans les diodes.....	46
b. La tension inverse.....	46
4.5.3 Calcul des paramètres de filtre.....	47
a. Calcul de la capacité de filtrage.....	47
b. Calcul de l'inductance de lissage .....	47
4.6 Calcul de section .....	47
4.6.1 Calcul du courant d'emploi IB selon la norme NFC-15100.....	50
4.6.2 Calcul du courant assigné In du dispositif de protection.....	50
4.6.3 Calcul du courant admissible non corrigé.....	50
4.6.4 Calcul du courant admissible corrigé.....	50
4.6.5 Détermination de la section minimale.....	52
4.6.6 Section du conducteur PE (terre).....	53
4.7 Chute de tension.....	54
4.7.1 Valeur de la chute de tension.....	54
4.7.2 Calcul de la chute de tension.....	54
4.8 Conclusion.....	55

## **Chapitre 5 : Simulation**

5.1 Introduction.....	56
5.2 Fonctionnement interne du logiciel .....	56
5.3 Principe général d'utilisation.....	56
5.4 Simulation du redresseur.....	56



5.4.1 Commande d'un onduleur triphasé à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale à une seule porteuse avec ( $m=12, r=0.8$ ).....	57
5.5 Simulation du filtre.....	57
5.6 Simulation de l'onduleur a deux niveaux.....	57
5.6.1 Commande de l'onduleur deux niveaux .....	58
5.6.2 Commande d'un onduleur triphasé à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale à une seule porteuse avec ( $m=12, r=0.8$ ).....	58
5.7 Simulation du moteur.....	59
5.7.1 Simulation de a machine asynchrone alimenté par réseaux à vide.....	59
5.7.2 Simulation de la machine asynchrone alimentée par le réseau en charge.....	60
5.8 Interprétation.....	61
5.8.1 La vitesse.....	61
5.8.2 Le courant statorique .....	61
5.8.3 Le couple électromagnétique.....	61
5.9 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux à vide .....	61
5.10 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux en charge.....	62
5.11 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux .....	63
5.12 Interprétation .....	64
5.12.1 La vitesse.....	64
5.12.2 Le courant .....	64
5.12.3 Le couple électromagnétique .....	65
5.13 Conclusion.....	65
Conclusion générale.....	66
Référence bibliographique	
Annexe	

# Liste des abréviations et acronymes

---

## Notation :

Ar : l'axe a de la phase rotorique de référence.

Br : l'axe b de la phase rotorique de référence.

Cr : l'axe c de la phase rotorique de référence.

As : l'axe fixe a de la phase statorique de référence.

Bs : l'axe fixe b de la phase statorique de référence.

Cs : l'axe fixe c de la phase statorique de référence.

L'angle ( $\theta$ ) : définit la position du rotor/stator.

a, b, c : Axes liés aux enroulements triphasés.

d, q : F, h Fonctions d'état

Axes de référentiel de Park.

## Grandeurs électriques au stator :

$i_{abcs}$  : Courant statorique phase a, b, ou c.

$i_{as}, i_{bs}, i_{cs}$  : Les courants statoriques sur les axes a, b et c successivement.

$i_{ds}$  : Courant statorique sur l'axe d.

$i_{qs}$  : Courant statorique sur l'axe q.

$i_{os}$  : Courant statorique sur l'axe o.

$i_{qs}^*$  : Dérivée du courant statorique sur l'axe q.

$i_{ds}^*$  : Dérivée du courant statorique sur l'axe d.

$v_{as}, v_{bs}, v_{cs}$  : Les tensions statoriques sur les axes a, b et c successivement.

$v_{abcs}$  : Tension statorique phase a, b, ou c.

$v_{ds}$  : Tension statorique sur l'axe d.

$v_{qs}$  : Tension statorique sur l'axe q.

$v_{os}$  : Tension statorique sur l'axe o.

$v_{qs}^*$  : Dérivée de la tension statorique sur l'axe q.

$v_{ds}^*$  : Dérivée de la tension statorique sur l'axe d.

$\Phi_{as}, \Phi_{bs}, \Phi_{cs}$  : Les flux magnétiques statoriques sur les axes a, b et c successivement.

$\Phi_{abcs}$  : Flux statorique phase a, b, ou c.

$\Phi_{ds}$  : Flux statorique sur l'axe d.

## Liste des abréviations et acronymes

---

$\Phi_{qs}$  : Flux statorique sur l'axe q.

$\Phi_{os}$  : Flux statorique sur l'axe o.

$R_s$  : Résistance statorique par phase.

$K_s$  : Transformation de park.

$\theta_s$  : L'angle électrique entre l'axe d et le stator

### Grandeurs électriques au rotor :

$i_{abcr}$  : Courant rotorique phase a, b, ou c.

$i_{ar}, i_{br}, i_{cr}$  : les courants rotoriques sur les axes a,b et c successivement.

$i_{dr}$  : Courant rotorique sur l'axe d.

$i_{qr}$  : Courant rotorique sur l'axe q.

$i_{or}$  : Courant rotorique sur l'axe o.

$i_{qr}^*$  : Dérivée du courant rotorique sur l'axe q.

$i_{dr}^*$  : Dérivée du courant rotorique sur l'axe d.

$v_{ar}, v_{br}, v_{cr}$  : les tensions rotoriques sur les axes a,b et c successivement.

$v_{abcr}$  : Tension rotorique phase a, b, ou c.

$v_{dr}$  : Tension rotorique sur l'axe d.

$v_{qr}$  : Tension rotorique sur l'axe q.

$v_{or}$  : Tension rotorique sur l'axe o.

$v_{qr}^*$  : Dérivée de la tension rotorique sur l'axe q.

$v_{dr}^*$  : Dérivée de la tension rotorique sur l'axe d.

$\Phi_{ar}, \Phi_{br}, \Phi_{cr}$  : les flux magnétiques rotoriques sur les axes a, b et c successivement.

$\Phi_{abcr}$  : Flux rotorique phase a, b, ou c.

$\Phi_{dr}$  : Flux rotorique sur l'axe d.

$\Phi_{qr}$  : Flux rotorique sur l'axe q.

$\Phi_{or}$  : Flux rotorique sur l'axe o.

$\Phi_r$  : Flux rotorique

$\Phi_{dr}^*$  : Dérivée du flux rotorique sur l'axe d

$R_r$  : Résistance rotorique par phase.

$K_r$  : Transformation de park rotorique.

$\theta_r$  : L'angle électrique entre l'axe d et le rotor

## Liste des abréviations et acronymes

---

### Paramètres du Modèle :

$n_s$ : vitesse de rotation en tr. min

f: fréquence du réseau.

$\Omega_s$ : La vitesse angulaire synchrone

$\Phi_{dqor}$  : Flux de park rotorique.

$\Phi_r$ : Le flux de référence.  $\Phi_r^*$

$C_e^*$  : Le couple de référence.

$p_{em}$  : La puissance électrique consommée par la machine

$C_e$ : Couple électromagnétique

# Liste des figures

---

<b>Figure 1.1</b> Unité de production.....	4
<b>Figure 1.2</b> Organigramme de l'entreprise labelle.....	6
<b>Figure 2.1</b> les deux types de rotor (à cage –bobiné) .....	10
<b>Figure 2.2</b> : Modèle de la machine asynchrone dans le repère triphasé. ....	11
<b>Figure 2.3</b> : La représentation des repères statorique, rotorique et Park.....	13
<b>Figure 3.1</b> Structure d'un variateur de fréquence.....	23
<b>Figure 3.2</b> les composants de puissance.....	23
<b>Figure 3.3</b> Redresseur triphasé a pont de diode PD3.....	24
<b>Figure 3.4</b> allure de la tension de sortie redressée.....	24
<b>Figure 3.5</b> Structure de filtre.....	25
<b>Figure 3.6</b> Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux .....	26
<b>Figure 3.7</b> un bras de l'onduleur à deux niveaux.....	26
<b>Figure3.8</b> Schéma principale de l'onduleur.....	26
<b>Figure 3.9</b> Représentation des interrupteurs.....	27
<b>Figure 3.10</b> Schéma Principe de MLI.....	28
<b>Figure3.11</b> La modulation de largeur d'impulsions.....	29
<b>Figure 3.12</b> Image réel du variateur VACON 100 FLOW.....	31
<b>Figure 3.13</b> Panneau opérateur du VACON 100 FLOW.....	32
<b>Figure 4.1</b> Aspect du moteur PLSES 280 MD.....	37
<b>Figure4.2</b> plaque signalétique du moteur .....	38
<b>Figure 4.3</b> vérification de l'isolement.....	40
<b>Figure 4.4</b> mode de fixation.....	40
<b>Figure 4.5</b> caractéristique du refroidissement.....	42
<b>Figure 4.6</b> Sonde de protection thermique du moteur.....	43
<b>Figure5.1</b> Schéma de redresseur non commandés .....	56
<b>Figure 5.2</b> la forme d'onde à la sortie de redresseur.....	57
<b>Figure 5.3</b> Schéma du filtre.....	57
<b>Figure 5.4</b> La tension ala sortie du filtre.....	57
<b>Figure 5.5</b> schéma de l'onduleur à deux niveaux.....	57
<b>Figure 5.6</b> : Schéma de commande MLI sinusoïdale avec 1 porteuse.....	58

# Liste des figures

---

<b>Figure 5.7</b> : Evaluation des signaux de commande pour un onduleur triphasé à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale une seule porteuses avec ( $m=12, r=0.8$ ).....	58
<b>Figure 5.8</b> : Forme de tension de l'onduleur à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoïdale à une seule porteuse avec ( $m=12, r=0.8$ ).....	59
<b>Figure 5.9</b> : Evolution du courant $i_s$ .....	59
<b>Figure 5.10</b> : Evolution de la vitesse de la machine .....	59
<b>Figure 5.11</b> : Evolution du couple et de la vitesse de la machine.....	60
<b>Figure 5.12</b> : Evolution du courant $i_s$ .....	60
<b>Figure 5.13</b> : Evolution de la vitesse de la machine.....	60
<b>Figure 5.14</b> : Evolution du couple de la machine.....	60
<b>Figure 5.15</b> : Evolution du courant $i_s$ .....	61
<b>Figure 5.16</b> : Evolution de la vitesse de rotation de la machine asynchrone .....	62
<b>Figure 5.17</b> : Evolution du couple développé par la machine asynchrone.....	62
<b>Figure 5.18</b> : Evolution du courant $i_s$ .....	62
<b>Figure 5.19</b> : Evolution de la vitesse de rotation.....	63
<b>Figure 5.20</b> : Evolution du couple.....	63
<b>Figure 5.21</b> Evolution du courant $i_s$ .....	63
<b>Figure 5.22</b> Evolution de la vitesse de rotation.....	64
<b>Figure 5.23</b> Evolution du couple.....	64

# Liste des tableaux

---

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> Températures d'ébullition de quelques fluides à la pression atmosphérique.....	7
<b>Tableau 3.1</b> comparatif des caractéristiques de fonctionnement normale et avec un variateur de vitesse d'un moteur asynchrone.....	22
<b>Tableau 3.2</b> Caractéristiques nominales et dimensions du VACON 100 FLOW.....	33
<b>Tableau 4.1</b> Catalogue leroy semer du moteur asynchrone triphasé ferme LS.....	36
<b>Tableau 4.2 caractéristique</b> de couplage de la planchette a borne.....	41
<b>Tableau 4.3</b> couple de serrage.....	41
<b>Tableau 4.4</b> Refroidissement du moteur non ventilée.....	43
<b>Tableau 4.5</b> les intervalles de lubrification à respecter pour le graissage.....	44
<b>Tableau4.6</b> Les étapes à suivre pour déterminer la section.....	48
<b>Tableau 4.7</b> Facteur d'utilisation du récepteur.....	49
<b>Tableau4.8</b> Facteur de simultanéité.....	49
<b>Tableau 4.9</b> Courant admissible non corrigé.....	50
<b>Tableau 4.10</b> Facteur de correction selon le mode de pose.....	51
<b>Tableau 4.11</b> Facteur de l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.....	51
<b>Tableau 4.12</b> Facteur de correction de la température ambiante et la nature de l'isolant.....	52
<b>Tableau 4.13</b> La section à retenir.....	53

# Introduction générale

---

Depuis plusieurs années, l'étude des performances des moteurs asynchrones alimentés par des onduleurs fait l'objet d'innombrables publications scientifiques. Les possibilités de variations de la vitesse par machine à courant alternatif intéressent tous les domaines industriels et techniques. Le moteur asynchrone attire partiellement l'intention à cause de sa robustesse et son faible coût de fabrication.

L'avènement de l'électronique de puissance à semi-conducteurs et le grand nombre des convertisseurs développés récemment permettent le choix d'une association optimal d'un moteur à courant alternatif et d'un onduleur de tension ou du courant. Parmi les moteurs à courants alternatifs, la machine asynchrone présente une grande dynamique de réglage et autorise des vitesses élevées. Le moteur à cage offre en plus une grande puissance massique et constitue une machine fiable grâce à l'absence de collecteur.

Aujourd'hui, de nombreux systèmes utilisent des machines électriques pour assurer une conversion électromécanique (vitesse, position, couple variable via la modulation des sources électriques) les gammes de puissance sont très variées (mW au MW) et les applications sont très diverses (électroménager, robotique, traction, système de démarrage de turbines). Afin de répondre à des critères de performances toujours croissants, les algorithmes de commande de plus en plus ont été développés. Les progrès des calculateurs numériques ont permis d'appliquer ces nouvelles stratégies dans l'industrie, de ce fait la commande des machines électriques est devenue un élément important dans les différents cycles de formations.

Il est nettement plus efficace de réduire la vitesse des moteurs pour l'adapter aux besoins.

Ceci est possible grâce aux variateurs de vitesse et aux énormes progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance et de l'informatique industrielle.

Ainsi, dans toute application utilisant des moteurs (distribution de chauffage, ventilation, pompage, traction, ...), l'intérêt du contrôle de la vitesse mérite d'être étudié : des dizaines de pourcents d'économie peuvent être faits sur la consommation électrique des moteurs.

Le but de ce travail est la proposition d'une solution moderne et efficace qui consiste à mettre en place un variateur de vitesse électronique constitué par une cascade redresseur – onduleur à MLI à deux niveaux permettant d'éliminer complètement le système classique marche/arrêt pour régler le débit.



# Introduction générale

---

Le refroidissement se fait par le compresseur qui a comme fonction d'aspire le fluide frigorigène gazeux (à bas niveau de température et de pression) issu de l'évaporateur, le comprime à un niveau plus haut de température et de pression.

Dans l'ancien système ce dernier est entraîné par un moteur asynchrone qui fonctionne à une vitesse approximativement constante, déterminée par la fréquence d'alimentation et par le nombre de pôles du moteur, ce dernier est couplé en étoile triangle.

A l'absence de possibilité de varier la vitesse du moteur, la régulation du compresseur par marche/arrêt est le plus souvent utilisée. Cette méthode entraîne d'importantes fluctuations et une consommation énergétique élevée sans oublier l'effet du démarrage direct sur les systèmes mécaniques ce qui va affecter sa durée de vie et performance.

Pour effectuer ce travail, on l'a divisé en cinq chapitres.

Le 1<sup>er</sup> chapitre constitue une description et un historique de groupe LABELLE

Le 2<sup>ème</sup> chapitre traite la modélisation mathématique de la machine asynchrone définie dans le repère de PARK

Le 3<sup>ème</sup> chapitre traite les variateurs de vitesse : l'étude des différents montages les constituant (redresseurs et onduleurs) et les critères de leur choix.

Le 4<sup>ème</sup> chapitre est réservé aux calculs nécessaires permettant un choix optimal du moteur et de son variateur de vitesse.

Le 5<sup>ème</sup> chapitre présente la simulation avec PSIM de la différente partie du variateur vitesse : redresseur, filtre, onduleur à deux niveaux. Quant au dernier, on montre les résultats de simulation de l'association entre l'onduleur et la machine asynchrone.

## 1.1 Introduction

Le groupe LaBelle est un groupe de production agro- alimentaire à caractère familial. L'entreprise a débuté il y a une quinzaine d'années dans le négoce international de denrées alimentaires (margarine, sucre, légumes secs,...).

Après des études d'opportunités menées durant les années 1998 et 1999, différentes unités ont été bâties sur le site d'Oued Moussa, et en 2003 et 2004, l'acquisition d'une unité de production de margarine à Dar El Beida Alger et les deux unités de corps gras à Bejaïa et Annaba. En matière de développement à court terme, de nouvelles activités viendront enrichir la gamme de produits du groupe telle que la fabrication de pâtes alimentaires, la trituration des graines oléagineuses et la production de boisson fruitée. En plus de la satisfaction de 35% de la demande nationale, le groupe pénètre le marché extérieur par le biais de l'exportation conformément à la politique du pays.

## 1.2 Le groupe Labelle comprend en tout

6 unités de production (répertoire SPA AGRO).

Une unité de conditionnement (SPA CONDI) pour les légumes secs, le riz et le lait en poudre.

Une unité de stockage (SPA SOFCO).

Une unité de transport (SPA TMND).

Une unité de l'immobilier (SPA SCI).

## 1.3 La structure organisationnelle de l'entreprise

La structure organisationnelle de l'entreprise LaBelle se compose de sept directions qui se répartissent les tâches afin de mener au mieux leur missions et d'assurer un meilleur contrôle des activités

### 1.3.1 Diagnostic de la fonction de production

La production est présentée comme la transformation par combinaison productive des inputs ou facteurs de production (matières premières, travail, équipements, énergie, informations...etc.) en outputs (produits finis ou services). La fonction de production est la relation entre la quantité d'outputs et celle des facteurs mis en œuvre pour l'obtenir

### 1.3.2 Les produits du groupe LaBelle

Farine LaBelle, Farine HOLLANDIA, Couscous El Hara, Riz, Café

**Légumes secs LaBelle** : lentilles, haricots, petits pois, pois chiche

**Pâtes LaBelle** : vermicelle, langue d'oiseau, Spaghettis, Racheta

Margarine LaBelle, Huile LaBelle.

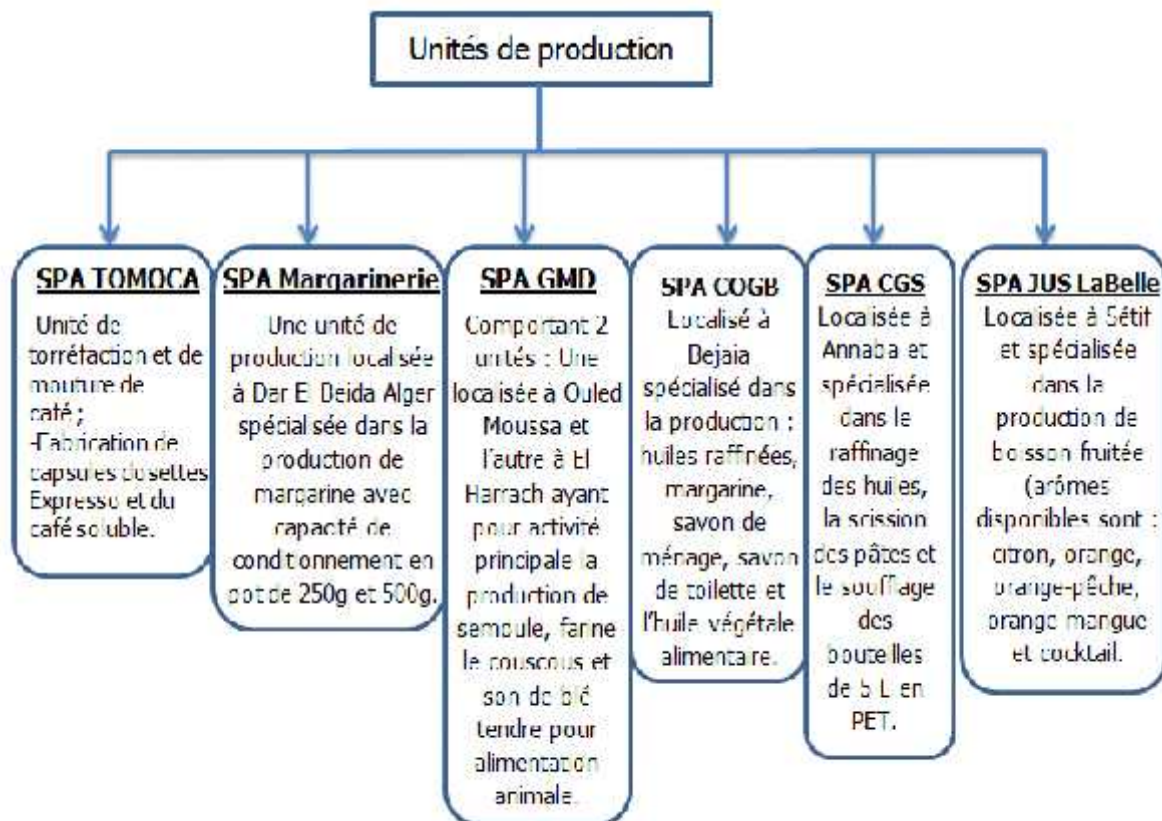


Figure1.1 Unité de production.

### 1.3.3 Diagnostic de la fonction approvisionnement

La fonction approvisionnement se focalise essentiellement sur la passation des commandes auprès des fournisseurs disposant d'un contrat avec la collectivité. Elle implique de définir des rythmes d'allocation des moyens conformes aux besoins et à l'activité des services. Elle prend en compte la dimension logistique et de gestion des stocks.

- **Les principaux fournisseurs du groupe**

Fournisseurs d'emballage et Fournisseurs de matières premières.

Les fournisseurs nationaux (10%)

Les fournisseurs étrangers (90%)

## **1.3.4 Diagnostic de la fonction maintenance**

L'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

La maintenance de l'entreprise est assurée par le personnel interne mais en cas d'une panne majeure, elle fait appel à un service maintenance externe donc le type de maintenance pratiquée est curatif disposant d'un atelier de maintenance équipé.

## **1.3.5 Diagnostic de la fonction ressources humaines :**

La fonction Ressources humaines pour mission de faire en sorte que l'organisation dispose du personnel nécessaire à son fonctionnement et que ce personnel fasse de son mieux pour améliorer la performance de l'organisation, tout en s'épanouissant.

## **1.3.6 Diagnostic de la fonction commerciale et marketing**

La fonction commerciale regroupe toutes les activités liées directement ou indirectement à la vente de ses produits et services. Elle intègre donc l'acte de vente proprement dit, la distribution, les activités d'analyse des marchés, l'étude du comportement des consommateurs, de prévisions des ventes, de communication et de promotion. Avec la réaffirmation de la souveraineté du client et le développement des outils marketing, la fonction commerciale tend à avoir désormais un rôle d'intégration de l'ensemble des fonctions opérationnelles de l'entreprise.

Le marketing est une fonction de l'organisation et un ensemble de processus qui consistent à créer, communiquer et délivrer de la valeur aux clients ainsi qu'à gérer des relations avec eux afin de servir l'organisation et ses parties prenantes.

1.3.7 Organigramme de l'entreprise labelle

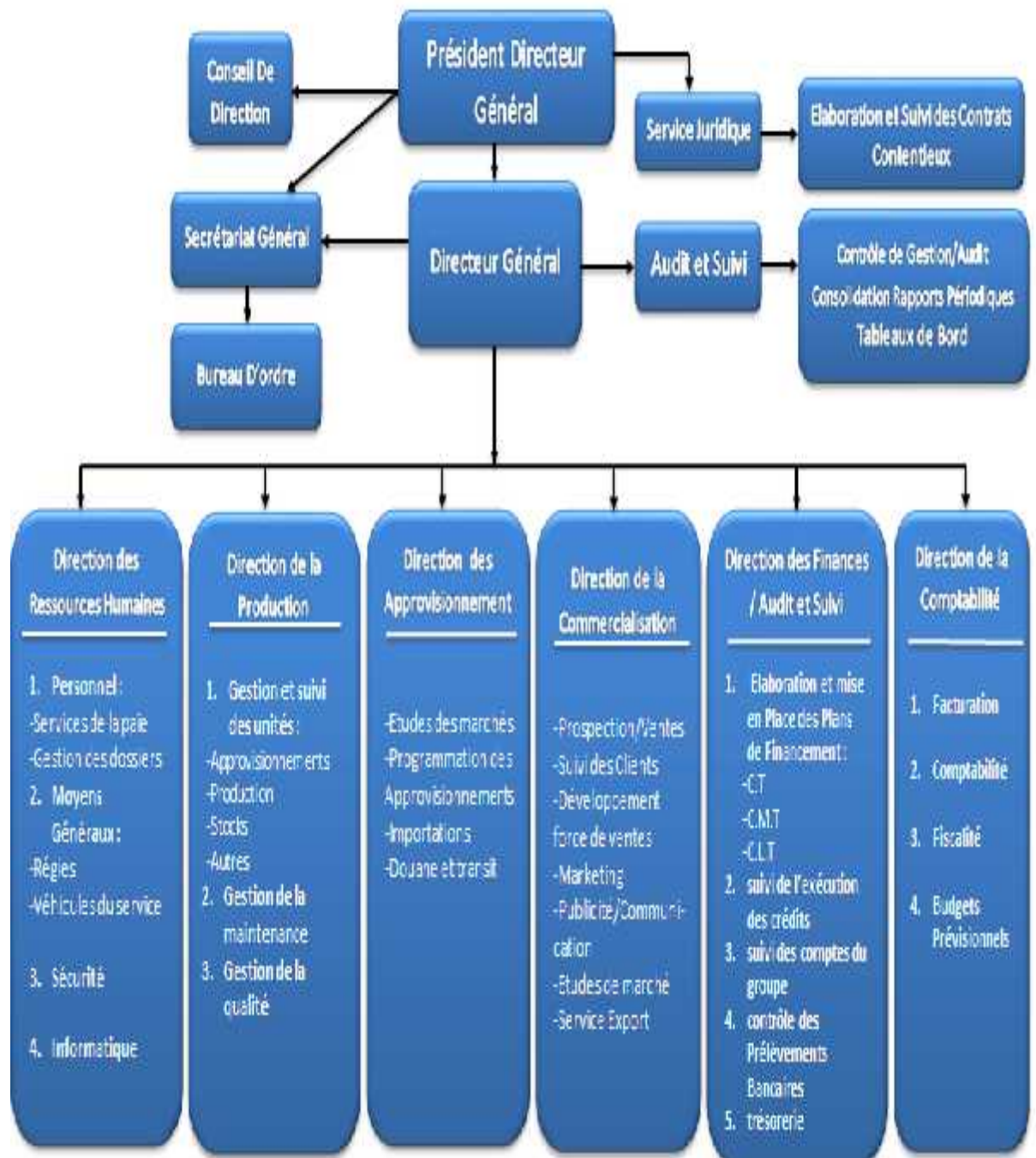


Figure 1.2 Organigramme de l'entreprise labelle.

## 1.4 Fonctionnement du système

La production de la Margarine passe par plusieurs étapes représentées comme suit :

### 1.4.1 La préparation

Cette phase consiste à mélanger les matières premières en deux étapes :

- Mélange des matières premières à une température modérée.
- Cette matière fait un passage à haute température pour stériliser « pasteurisation » sous le contrôle de laboratoire en vue d'obtenir un produit de qualité et de confiance.

### 1.4.2 Aspiration et refoulement

Qui assure le transfert de la Margarine liquide et chaude par les pompes au dispositif de refroidissement.

### 1.4.3 La refroidissement

On utilise le dispositif de refroidissement qui fonctionne sous l'énergie de refroidissement très basse par un gaz très froid (réaction inverse de l'Ammoniac).

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation.

Il peut se définir comme une substance chimique dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique est inférieure à la température ambiante, autrement dit le fluide frigorigène doit être liquide à cette ambiance.

Fluide (réfrigérant)	Température d'ébullition (°C)
Eau - H <sub>2</sub> O - R718	100
R11	23.3
R12	-29.8
R22	-40.7
R502	-45.6
Ammoniac - NH <sub>3</sub> - R717	-33.3

**Tableau 1.1** Températures d'ébullition de quelques fluides à la pression atmosphérique

## **Le compresseur**

Le compresseur aspire le fluide frigorigène gazeux (à bas niveau de température et de pression) issu de l'évaporateur, le comprime à un niveau plus haut de température et de pression puis le refoule vers le condenseur

### **1.4.4 Etape finale**

On termine par l'emballage de produit et le conservé dans les chambres de froid.

Les pannes répétées dans le compresseur et le non stabilité de la quantité produite provoquent beaucoup de pertes : de temps, d'argent et d'efforts...

## **1.5 Conclusion**

afin d'éliminé ces problèmes ,on propose d'adapter la puissance frigorifique exactement aux demandes de refroidissement de l'installation, en modifie l'alimentation direct du système d'entraînement par l'ajout d'un intermédiaire qui nous donne l'aptitude de faire varier la vitesse de ce dernier, donc cette solution est le variateur de vitesse qui présente les avantages suivants :

- Meilleur rendement de l'installation à charge partielle.
- Durée de vie prolongée des équipements.
- Grâce à l'augmentation progressive de la vitesse à partir de l'arrêt du compresseur, le risque de retour d'huile ou de liquide soudain vers le compresseur est réduit au démarrage.
- Démarrage progressif

## 2.1 Introduction :

Le modèle classique de la machine asynchrone, correspondant au schéma monophasé équivalent, n'est valable qu'en régime sinusoïdal à fréquence fixe au stator. Pour étudier son comportement à fréquence variable et avec des signaux fournis par des convertisseurs statiques, qui ne sont pas sinusoïdaux, il faut faire appel à un modèle plus compliqué lorsque nous voulons étudier une commande particulière.[4]

Le modèle de la machine asynchrone triphasée est un système de six équations différentielles dont les coefficients sont des fonctions périodiques du temps. La résolution d'un tel système est difficile même avec l'utilisation de l'outil numérique.

L'utilisation d'une transformation dite de Park qui est un changement convenable des variables permet une modélisation pour contourner cette difficulté.

## 2.2 Généralité sur les machines asynchrones

La machine asynchrone triphasée comporte un rotor mobil autour de l'axe de symétrie de la machine. Dans les en couches régulièrement réparties sur la face interne du stator sont logés trois enroulements identiques, à "p" paires des pôles ; leurs axes sont distants entre eux d'un angle électrique égale à  $\frac{2\pi}{3}$ . Les phases du stator sont alimentées par un réseau triphasé de tensions sinusoïdales à fréquence et amplitude constante ou par un onduleur de tension ou de courant à fréquence et à amplitude réglables. [1][2][3]

Quant au rotor, il peut être réalisé :

- soit par un système d'enroulement triphasés (rotor bobiné), raccordés en étoile trois bagues sur les quelles frottent trois balais fixes accessible par la plaque aux bornes et mis en court-circuit pendant les régimes de fonctionnements normaux.
- soit par une cage conductrice intégrée aux tôles ferromagnétique (rotor à cage). il est admis que la deuxième structure du rotor est électriquement équivalente à la première. [1]



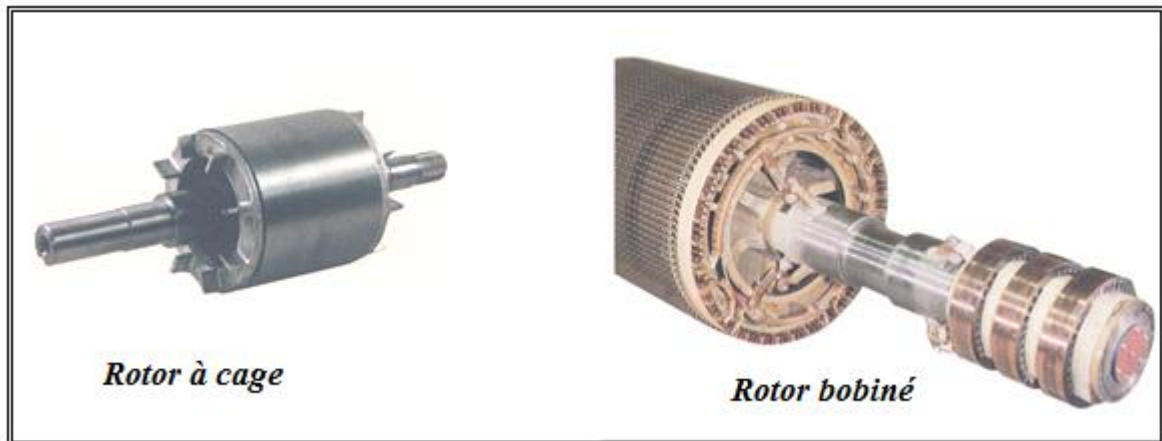


Figure 2.1 les deux types de rotor (à cage –bobiné)

### 2.2.1 Les hypothèses simplificatrices :

Les modèles présentés pour la machine tiennent compte d'hypothèses présentées

Ci-dessous. [1]

- La symétrie de la machine.
- Caractéristique magnétique de la machine linéaire
- La variation des résistances des enroulements en fonction de la température négligeable.
- pertes par hystérésis et courant de Foucault négligeable
- Distribution spatiale sinusoïdale des forces magnétomotrices d'entrefer. Cela revient à considérer la variation sinusoïdale des inductances mutuelle entre les enroulements statoriques et rototiques en fonction de l'angle de leurs axes magnétiques.

Parmi les conséquences importantes de ces hypothèses on peut citer :

- L'additivité de flux.
- La constance des inductances propres.
- La constance des résistances satiriques et robotiques.

### 2.2.2 Représentation des enroulements de la machine

La machine est représentée à la (fig. 2.2) par six enroulements dans l'espace électrique ; l'angle( $\theta$ ) définie la position du rotor/stator

Les grandeurs statoriques (tension, courant et flux) sont exprimées dans un repère stationnaire [2]

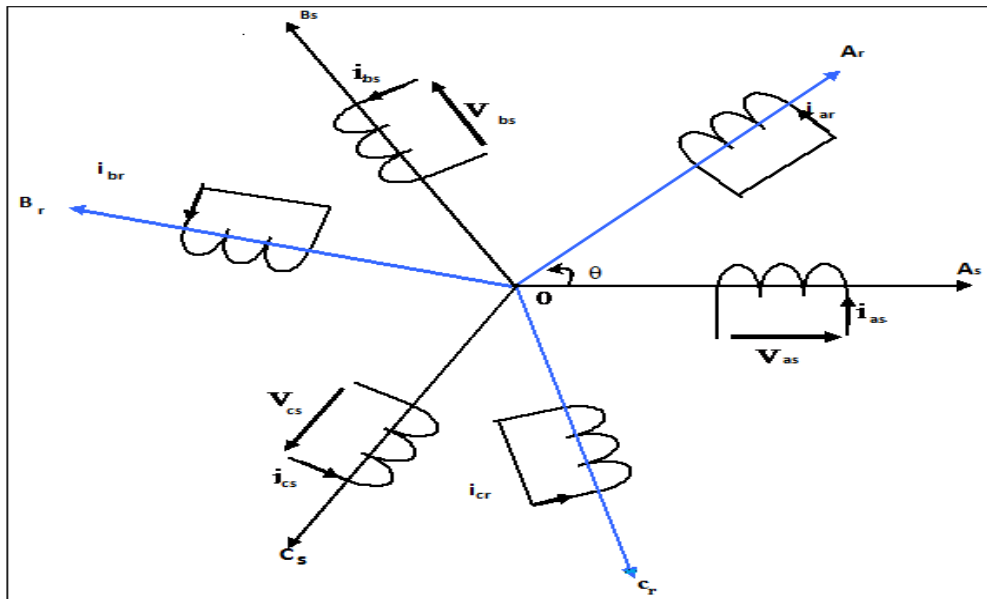


Figure 2.2 : Modèle de la machine asynchrone dans le repère triphasé.

Dans le cadre des hypothèses simplificatrices citées précédemment, les équations de la machine s'écrivent comme suit :

### 2.3. Equations générales de la machine

Le stator est constitué de 3 enroulements repartirent uniformément dans les encoches saturées et décalé d'un angle  $120^\circ \left(\frac{2\pi}{3}\right)$ . Les mêmes propriétés s'appliquent au rotor [4] qu'il soit cage d'écureuil ou bobiné les deux repères statoriques et rotoriques sont défini par :

**Stator:**

$$\begin{pmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{pmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \Phi_{as} \\ \Phi_{bs} \\ \Phi_{cs} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Ou :

$$[v_{abcs}] = [R_s][i_{abcs}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{abcs}] \quad (2.2)$$

**Rotor:**

$$\begin{pmatrix} v_{ar} \\ v_{br} \\ v_{cr} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{ar} \\ i_{br} \\ i_{cr} \end{pmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \Phi_{ar} \\ \Phi_{br} \\ \Phi_{cr} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$$[v_{abcr}] = [R_r][i_{abcr}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{abcr}] \quad (2.4)$$

## Les flux magnétiques :

Les expressions des flux totalisés à travers les enroulements statoriques et rotoriques s'écrivent sous forme matricielle comme suit :

$$[\Phi_{abcs}] = [L_{ss}][i_{abcs}] + [M_{sr}][i_{abcr}] \quad (2.5)$$

$$[\Phi_{abcr}] = [M_{rs}][i_{abcs}] + [L_{rr}][i_{abcr}] \quad (2.6)$$

Les quatre sous matrices d'inductances s'écrivent :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} l_s & M_s & M_s \\ M_s & l_s & M_s \\ M_s & M_s & l_s \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$[L_{rr}] = \begin{bmatrix} l_r & M_r & M_r \\ M_r & l_r & M_r \\ M_r & M_r & l_r \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$[M_{sr}] = [M_{rs}]^t = M_{sr} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$\theta$ : Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes rotoriques et les axes statoriques qui sont choisis comme axes de références.

$L_{ss}$  : Matrice des inductances statoriques

$L_{rr}$  : Matrice des inductances rotoriques

$l_s$  : Inductance propre d'une phase statorique

$l_r$  : Inductance propre d'une phase rotorique

$M_s$  : Inductance mutuelle entre phases statoriques

$M_r$  : Inductance mutuelle entre phases rotoriques

$M_{sr}$  : Inductance mutuelle entre stator et rotor

Les équations (2.2) et (2.4) s'écrivent de la manière suivante :

$$[v_{abcs}] = [R_s][i_{abcs}] + \frac{d}{dt} ([L_{ss}][i_{abcs}] + [M_{sr}][i_{abcr}]) \quad (2.10)$$

$$[v_{abcr}] = [R_r][i_{abcr}] + \frac{d}{dt} ([L_{rr}][i_{abcr}] + [M_{rs}][i_{abcs}]) \quad (2.11)$$

La résolution analytique dans ce repère est très difficile car le système d'équations est à coefficients variables en fonction d'angle de rotation, L'application d'une transformation dite de Park nous permet la réduction d'un tel système.

## 2.4 Transformation de Park :

Pour obtenir un système d'équations à coefficients constants, on transforme le système réel triphasé en système biphasé équivalent, ce dernier consiste à remplacer tout enroulement statoriques par deux enroulements, l'un sur l'axe(d) et l'autre sur l'axe(q). [5]

Les trois repères statoriques, rotoriques et Park sont définis par :

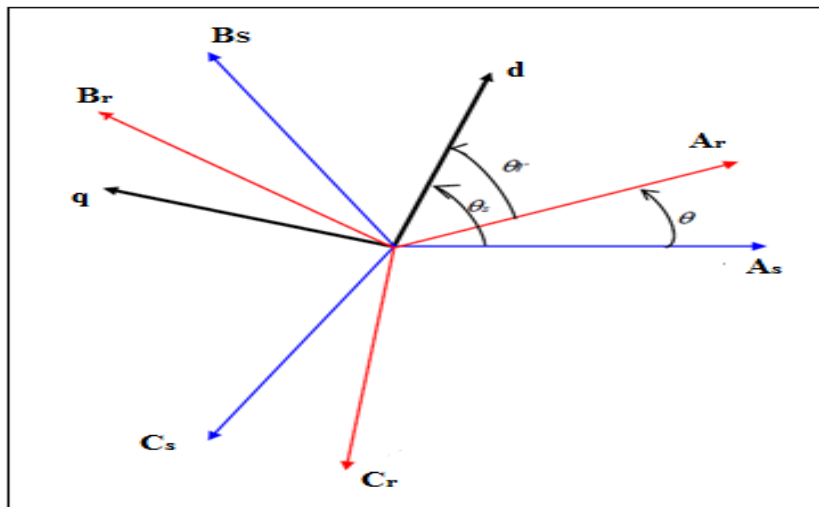


Figure 2.3 : La représentation des repères statorique, rotorique et Park.

Pour transformer un système triphasé [abc] en un système biphasé [d, q] avec une composante homopolaire comme indique dans l'équation suivante :

Pour les grandeurs statorique :

$$[X_{dqos}] = [K_s][X_{abcs}] \tag{2.12}$$

Pour les grandeurs rotoriques :

$$[X_{dqor}] = [K_r][X_{abcr}] \tag{2.13}$$

Le passage inverse est donner par :

$$[X_{abcs,r}] = [K_{s,r}]^{-1}[X_{dqos,r}] \tag{2.14}$$

Tel que :

X : peut-être la tension, le courant ou le flux.

$[K_{s,r}]$ : est la matrice de transformation directe de Park.

$[K_{s,r}]^{-1}$ : est la matrice de transformation inverse de Park.

Avec :

$$[K_s] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \cos(\theta_s - 2\pi/3) & \cos(\theta_s + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta_s) & -\sin(\theta_s - 2\pi/3) & -\sin(\theta_s + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$[K_r] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos(\theta_r - 2\pi/3) & \cos(\theta_r + 2\pi/3) \\ -\sin(\theta_r) & -\sin(\theta_r - 2\pi/3) & -\sin(\theta_r + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

La transformation inverse :

$$[K_s]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & -\sin(\theta_s) & 1 \\ \cos(\theta_s - 2\pi/3) & -\sin(\theta_s - 2\pi/3) & 1 \\ \cos(\theta_s + 2\pi/3) & -\sin(\theta_s + 2\pi/3) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$[K_r]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & -\sin(\theta_r) & 1 \\ \cos(\theta_r - 2\pi/3) & -\sin(\theta_r - 2\pi/3) & 1 \\ \cos(\theta_r + 2\pi/3) & -\sin(\theta_r + 2\pi/3) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

**Remarque :**

Le coefficient 2/3 permet de conserver les amplitudes des tensions, courants et flux

### 2.4.1 Choix de repère :

Il existe trois choix :

- Un repère d-q stationnaire (liée au stator, fixe)
- Un repère d-q liée au rotor
- Un repère d-q liée au champ tournant (de pulsation  $\omega$ )

### 2.4.2 Modèle d'état de la machine asynchrone dans un repère $dq$ liée au champ tournant :

Si on choisit un repère d-q liée au champ tournant  $\theta_s = \theta + \theta_r$

$$\frac{d\theta_s}{dt} = w_s \text{ La pulsation satatorique.}$$

$$\frac{d\theta_r}{dt} = w_r \text{ La pulsation rotorique.}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \text{ La pulsation mécanique.}$$

## 2.5 Equations électriques :

On peut écrire au stator :

$$[v_{dqos}] = [R_s][i_{dqos}] + [K_s] \frac{d}{dt} [[K_s]^{-1}[\Phi_s]] \quad (2.19)$$

$$[v_{dqor}] = [R_r][i_{dqor}] + [K_r] \frac{d}{dt} [[K_r]^{-1}[\Phi_r]] \quad (2.20)$$

$$[v_{dqos}] = [R_s][i_{dqos}] + [K_s][\Phi_{dqos}] \frac{d}{dt} [[K_s]^{-1}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{dqos}] \quad (2.21)$$

$$[v_{dqor}] = [R_r][i_{dqor}] + [K_r][\Phi_{dqor}] \frac{d}{dt} [[K_r]^{-1}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{dqor}] \quad (2.22)$$

On peut démontrer que :

$$[K_s] \frac{d}{dt} [[K_s]^{-1}] = \frac{d\theta_s}{dt} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \omega_s \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.23)$$

$$[K_r] \frac{d}{dt} [[K_r]^{-1}] = \frac{d\theta_r}{dt} \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \omega_r \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.24)$$

Sachant que :

$$\omega_s = \omega + \omega_r \quad \text{D'ou} \quad \omega_r = \omega_s - \omega$$

On obtient :

**Stator :**

$$\begin{cases} [v_{ds}] = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} [\Phi_{ds}] - \omega_s \Phi_{qs} \\ [v_{qs}] = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} [\Phi_{qs}] + \omega_s \Phi_{ds} \end{cases} \quad (2.25)$$

**Rotor:**

$$\begin{cases} 0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} [\Phi_{dr}] - (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} \\ 0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} [\Phi_{qr}] + (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} \end{cases} \quad (2.26)$$

**Flux:**

$$[\Phi_{dqos}] = [K_s][L_s][K_s]^{-1}[i_{dqos}] + [K_s][M_{sr}][K_r]^{-1}[i_{dqor}] \quad (2.27)$$

$$[\Phi_{dqor}] = [K_r][M_{sr}]^{-1}[K_s]^{-1}[i_{dqos}] + [K_r][L_r][K_r]^{-1}[i_{dqor}] \quad (2.28)$$

On peut vérifier que :

$$[K_s][L_s][K_s]^{-1} = \begin{pmatrix} L_s & 0 & 0 \\ 0 & L_s & 0 \\ 0 & 0 & L_s \end{pmatrix} \quad (2.29)$$

$$[K_r][L_r][K_r]^{-1} = \begin{pmatrix} L_r & 0 & 0 \\ 0 & L_r & 0 \\ 0 & 0 & L_r \end{pmatrix} \quad (2.30)$$

$$[K_s][M_{sr}][K_r]^{-1} = [K_r][L_s][K_s]^{-1} = \begin{pmatrix} L_m & 0 & 0 \\ 0 & L_m & 0 \\ 0 & 0 & L_m \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

Avec :

$L_s = l_s + M_s$  : Inductance cyclique propre d'une phase statorique.

$L_r = l_r + M_r$  : Inductance cyclique propre d'une phase rotorique.

$$L_m = \frac{2}{3} M_{sr} : \text{Inductance mutuelle cyclique entre stator et rotor.}$$

Résultats :

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_m i_{ds} + L_s i_{dr} \\ \Phi_{qr} = L_m i_{qs} + L_s i_{qr} \end{cases} \quad (2.32)$$

## 2.6 Equations mécaniques :

L'équation mécanique de la machine se déduit de loi fondamentale de la mécanique

$$J \frac{d\Omega}{dt} = C_e - C_r - f_v \Omega \quad (2.33)$$

$J$  : C'est l'inertie de la machine.

$C_r$  : C'est le couple résistant ou bien le couple de charge.

$f_v$  : Le coefficient dû au frottement visqueux.

$\Omega$  : Vitesse mécanique avec  $\Omega = \frac{\omega}{p}$

$\omega$  : Pulsation mécanique.

$p$  : Nombre paire de pole

## 2.7 Couples électromagnétiques :

La puissance électrique consommée par la machine : [5]

$$p_{em} = [v_{abc}]^t [i_{abc}] = ([K_s]^{-1} [v_{dqos}])^t ([K_s] [i_{dqos}]) \quad (2.34)$$

$$p_{em} = [v_{abc}]^t ([K_s]^{-1})^t [K_s] [i_{dqos}] \quad (2.35)$$

On peut vérifier :

$$([K_s]^{-1})^t [K_s] = \begin{pmatrix} 3/2 & 0 & 0 \\ 0 & 3/2 & 0 \\ 0 & 0 & 3/2 \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

$$p_{em} = 3/2 (v_{ds} i_{ds} + v_{qs} i_{qs}) + 3 v_{as} i_{as} \quad (2.37)$$

Système équilibré :

$$p_{em} = 3/2 (v_{ds} i_{ds} + v_{qs} i_{qs})$$

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} [\Phi_{ds}] - \omega_s \Phi_{qs}$$

$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} [\Phi_{qs}] + \omega_s \Phi_{ds}$$

Dans un repère d-q liée au champ tournant, les grandeurs de Park sont constantes

Donc :

$$p_{em} = 3/2((R_s i_{ds} - \omega_s \Phi_{qs}) i_{ds} + (R_s i_{qs} + \omega_s \Phi_{ds}) i_{qs})$$

$$p_{em} = 3/2 [R_s (i_{ds}^2 + i_{qs}^2) + \omega_s (\Phi_{ds} i_{qs} - \Phi_{qs} i_{ds})]$$

Remarque :

Le premier représente les pertes joules statoriques tant dit que le second terme représente la puissance électromagnétique dans :

$$p_{em} = 3/2 \omega_s (\Phi_{ds} i_{qs} - \Phi_{qs} i_{ds}) \dots \dots \dots (1)$$

La puissance électromagnétique s'exprime par au couple électromagnétique  $p_{em} = C_e \Omega_s$

$$p_{em} = C_e \frac{\omega_s}{p} \dots \dots \dots (2)$$

$$(1)=(2)$$

$$p_{em} = 3/2 \omega_s (\Phi_{ds} i_{qs} - \Phi_{qs} i_{ds}) = C_e \frac{\omega_s}{p}$$

D'ou :

$$C_e = 3/2 p (\Phi_{ds} i_{qs} - \Phi_{qs} i_{ds}) \tag{2.38}$$

**2.8 Le modèle d'état :**

On définit le vecteur d'état par :  $X = \begin{pmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \Phi_{dr} \\ \Phi_{qr} \\ \omega \end{pmatrix}$

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} [\Phi_{ds}] - \omega_s \Phi_{qs}$$

$$\Phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr}$$

$$\Phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr}$$

$$\Phi_{dr} = L_r i_{dr} + L_m i_{ds}$$

$$\Phi_{qr} = L_r i_{qr} + L_m i_{qs}$$

$$i_{dr} = \frac{1}{L_r} (\Phi_{dr} - L_m i_{ds})$$

$$i_{qr} = \frac{1}{L_r} (\Phi_{qr} - L_m i_{qs})$$

Après développement on obtient :

$$\frac{d}{dt} i_{ds} = \frac{1}{-\sigma L_s} \left( R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) i_{ds} + \omega_s i_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left( R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) \Phi_{dr} \frac{1}{\sigma} \left( \frac{L_m}{L_r} \right) \omega \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds}$$



$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} [\Phi_{qs}] + w_s \Phi_{ds}$$

On obtient :

$$\frac{d}{dt} i_{qs} = \frac{1}{-\sigma L_s} \left( R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r} \right) i_{qs} - w_s i_{ds} - \frac{1}{\sigma L_s} \left( \frac{L_m}{L_r} \right) w \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left( \frac{L_m}{L_r} \right)$$

$$\frac{d}{dt} \Phi_{dr} = R_r \left( \frac{L_m}{L_r} \right) i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} + (w_s - w) \Phi_{qr}$$

On a :

$$0 = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} [\Phi_{dr}] - (w_s - w) \Phi_{qr}$$

$$\frac{d}{dt} \Phi_{qr} = 0$$

$$0 = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} [\Phi_{qr}] + (w_s - w) \Phi_{dr}$$

$$\frac{d}{dt} \Phi_{qr} = R_r \left( \frac{L_m}{L_r} \right) i_{qs} - (w_s - w) \Phi_{qr} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r} : \text{Coefficient de description Blonde}$$

Finalement : le modèle d'état de la machine est mis sous cette forme : [5]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} i_{ds} = \frac{1}{-\sigma L_s} \left( R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r} \right) i_{ds} + w_s i_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left( R_r \frac{L_m}{L_r} \right) \Phi_{dr} + \frac{1}{\sigma} \left( \frac{L_m}{L_r} \right) w \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{ds} \\ \frac{d}{dt} i_{qs} = \frac{1}{-\sigma L_s} \left( R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r} \right) i_{qs} - w_s i_{ds} - \frac{1}{\sigma L_s} \left( \frac{L_m}{L_r} \right) w \Phi_{qr} + \frac{1}{\sigma L_s} v_{qs} + \frac{1}{\sigma L_s} \left( \frac{L_m}{L_r} \right) \\ \frac{d}{dt} \Phi_{dr} = R_r \left( \frac{L_m}{L_r} \right) i_{ds} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} + (w_s - w) \Phi_{qr} \\ \frac{d}{dt} \Phi_{qr} = R_r \left( \frac{L_m}{L_r} \right) i_{qs} - (w_s - w) \Phi_{qr} - \frac{R_r}{L_r} \Phi_{dr} \\ \frac{d}{dt} w = \frac{p}{J} (C_e - C_r - f_v \frac{w}{p}) \end{array} \right.$$

Remarque :

Ce modèle d'état est sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f(x, u) \\ y = h(u) \end{cases}$$

$x$  : C'est le vecteur d'état

$u$  : Vecteur d'entrée ou bien vecteur de commande

$y$  : Vecteur de sortie

$x = (i_{ds}, i_{qs}, \Phi_{dr}, \Phi_{ds}, \omega)^t, f, h$  Fonctions d'état

F, h Fonctions d'état

## 2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par la modélisation de la machine asynchrone, celle-ci est basée sur la théorie de Park, dont l'intérêt primordial est de simplifier le problème dans le modèle triphasé. La modélisation en régime transitoire nécessite une meilleure connaissance du comportement du moteur et la transformation de Park nous permet une simplification des expressions analytiques du modèle de commande.

Nous avons proposé quelques techniques de commande de l'onduleur dans le chapitre suivant (choix de variateur de vitesse)

### 3.1 Introduction

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

Les convertisseurs statiques constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance. Nous trouvons leurs applications dans des vastes domaines, le plus connu et sans doute celui de la variation de vitesse des machines à courant alternatif.

La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part sur le développement des composants à semi-conducteurs entièrement commandables, puissants robuste et rapide, d'autre part, sur l'utilisation des techniques de commande et d'observation, destinées aux variateurs de vitesse.

### 3.2 Variateur de vitesse

Un variateur ou un démarreur électronique est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur. Ils permettent essentiellement de faire varier la vitesse de rotation de ces moteurs. Ils assurent une décélération progressive et permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation.

### 3.3 Choix des variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones

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

#### 3.3.1 Facteurs techniques

Parmi les principaux facteurs techniques de choix figurent :

- la puissance et la vitesse nominales.
- le régime d'utilisation (utilisation en régime permanent ou intermittent).
- la plage de variation de vitesse et le domaine de fonctionnement dans le plan puissance-vitesse (1 quadrant, 2 quadrants, 4quadrants).
- le type de la machine entraînée (inertie, allure du couple résistant en fonction de la vitesse).
- la tension du réseau d'alimentation.

- les contraintes d'installation (encombrement, degré de protection, etc.).

### 3.3.2 Facteur économique

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

## 3.4 Les principales fonctions des variateurs de vitesse électroniques

- ❖ Accélération contrôlée.
- ❖ Variation de vitesse.
- ❖ Régulation de vitesse.
- ❖ Décélération contrôlée.
- ❖ Inversion du sens de marche.

## 3.5 Convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone

La solution qui paraît, a priori, la plus simple pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone est celle qui consiste à faire varier la fréquence de sa source d'alimentation. Le variateur fournit au moteur asynchrone une onde de tension à amplitude et fréquence variables tout en maintenant le rapport tension par rapport à la fréquence sensiblement constante. En modifiant la fréquence de la tension d'alimentation du moteur, le variateur permet de modifier la vitesse du champ tournant du stator et donc la vitesse de rotation du moteur.

### 3.5.1 Principe

Il consiste à fournir au moteur une onde de tension à amplitude et fréquence variables, en maintenant le rapport tension / fréquences en subliment constant [6].

La tension d'alimentation est en relation directe avec la fréquence. Ce fonctionnement est souvent nommé fonctionnement à  $U/f$  constant ou fonctionnement scalaire.

### 3.5.2 Les principaux types de convertisseurs de fréquence

#### a. Convertisseurs directs de fréquence

Dénommés cyclo convertisseurs, qui réalisent la conversion de fréquence sans recourir à un étage intermédiaire à fréquence nulle.

**b. Convertisseurs indirects de fréquence**

Les convertisseurs indirects de fréquence sont aujourd’hui les plus utilisés, qui utilisent un étage intermédiaire à fréquence nulle (tension ou courant continu) par l’association d’un convertisseur alternatif-continu (redresseur) et d’un convertisseur continu –alternatif (onduleur). Le tableau suivant montre la variation des différents paramètres du moteur asynchrone alimenté à travers un convertisseur de fréquence comparés au cas de l’alimentation directe : [6]

Moteur asynchrone	En usage normal	Avec un variateur de vitesse
<b>Courant de démarrage</b>	Très élevé, de l’ordre de 6 à 8 fois le courant nominal	Limité dans le moteur (en générale de 1.5 fois $I_N$ ).
<b>Couple de démarrage <math>C_d</math></b>	Élever et non contrôlé, de l’ordre de 2 à 3 $C_N$	De 1.5 fois le $C_N$ , Contrôlé pendant toute l’accélération
<b>Démarrage</b>	Brutal ; la durée n’est fonction que des caractéristiques du moteur et de la charge entraînée	Progressif sans à-coup et contrôlé
<b>Vitesse</b>	Varié légèrement selon la charge (proche de $N_s$ )	Variation possible de 0 jusqu’à une valeur supérieure à $N_s$
<b>Couple maximal <math>C_M</math></b>	Elevé, de l’ordre de 2 à 3 le couple nominal	Elevé disponible sur toute la plage de vitesse (de 1.5 $C_N$ )
<b>Freinage électrique</b>	Relativement complexe	Facile
<b>Inversion du sens de marche</b>	Facile seulement après arrêt moteur	Facile
<b>Risque de décrochage</b>	Oui, en cas de sur couple, ou en cas de baisse de tension	Non

**Tableau 3.1** comparatif des caractéristiques de fonctionnement normale et avec un variateur de vitesse d’un moteur asynchrone

3.5.3 Constitution du convertisseur de fréquence

Le circuit de puissance est constitué par un redresseur et un onduleur qui, à partir de la tension redressée, produit une tension d'amplitude et fréquence variable, et un filtre.

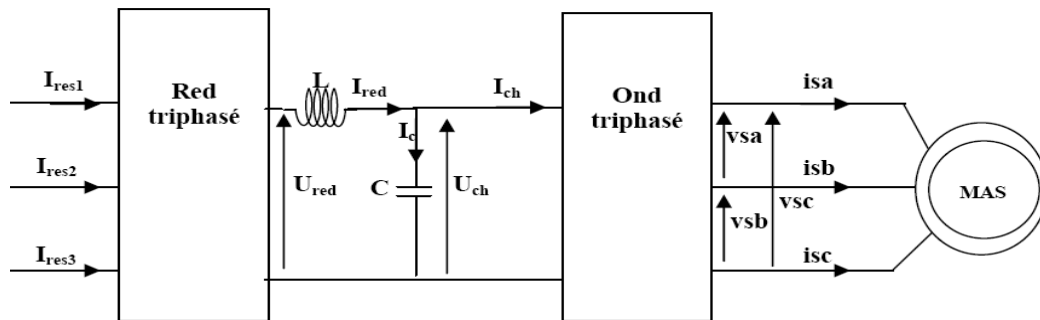


Figure 3.1 Structure d'un variateur de fréquence

Avant d'entamer l'étude sur la constitution des convertisseurs de fréquence, on va faire d'abord un petit rappel sur les semi-conducteurs de puissance.

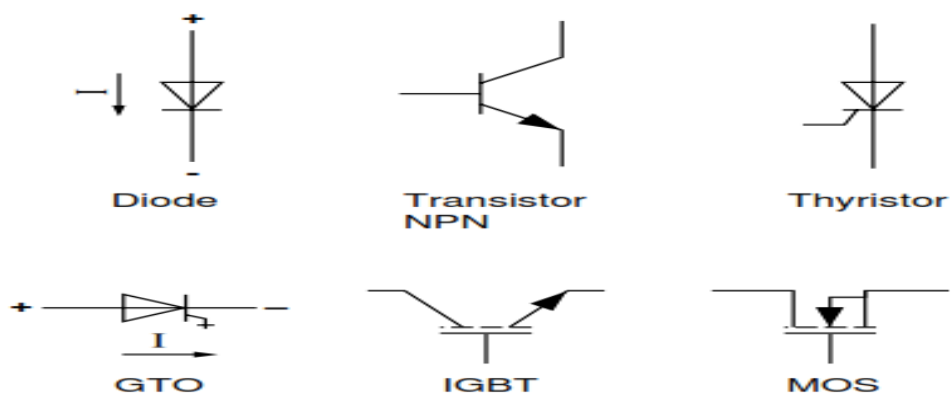


Figure 3.2 les composants de puissance

Donc notre variateur de vitesse choisit est de type convertisseur de fréquence avec onduleur de tension à M.L.I. Le variateur comporte :

- un pont redresseur triphasé à diodes qui délivre une tension continue d'amplitude pratiquement constante.
- un étage de filtration comportant un condensateur de forte capacité plus une inductance de lissage.
- un pont onduleur de tension alimenté par la tension continue et générant une onde de tension alternative à amplitude et fréquence variables par la technique de MLI.

3.5.3. a Redresseur

Les montages redresseurs, sont des convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent la conversion alternatif-continu.

Les redresseurs à diodes ou redresseurs non commandés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre les tensions alternatives d'entrées et la tension continue de sortie. De plus ils sont irréversibles, c'est à dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu.

Dans notre étude nous nous intéressons à l'étude des redresseurs non commandés de type parallèle double alimenté par une source de tension alternative triphasée.

❖ Montage parallèle double

Les redresseurs parallèles double (en pont) sont constitué de deux commutateurs un plus positif et l'autre plus négatif.

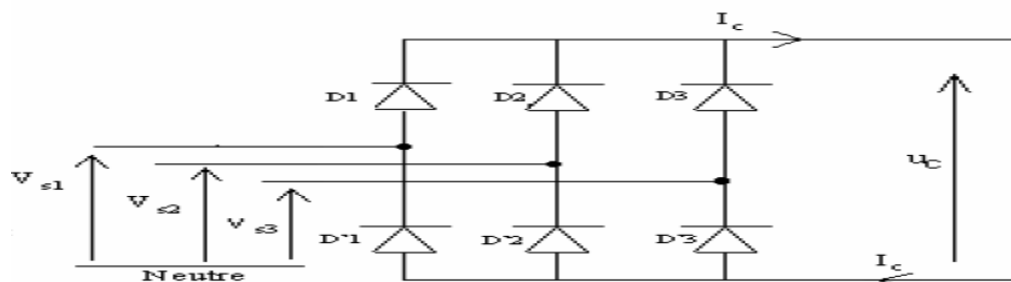


Figure 3.3 Redresseur triphasé a pont de diode PD3

Les trois diodes D1, D2, D3 forment un commutateur plus positif, qui laisse passer à tout instant la plus positive des tensions, et les diodes D'1, D'2, D'3 forment un commutateur plus négatif, qui laisse passer la plus négative des tensions [8].

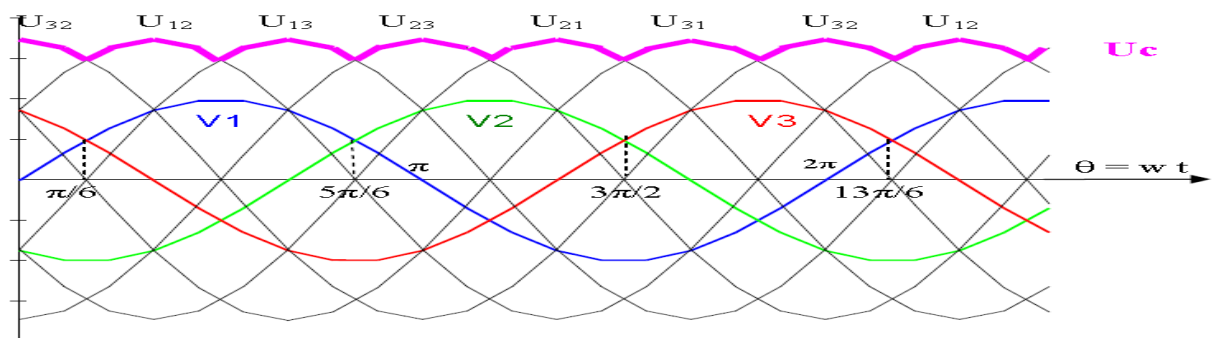


Figure 3.4 allure de la tension de sortie redressée

## ❖ Valeur moyenne de la tension redressée :

$$U_{cmoy} = 1/T \int_0^T U_c(t) dt = 3/\pi \int_{\pi/6}^{\pi/2} V_m [\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})] d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \quad (3.1)$$

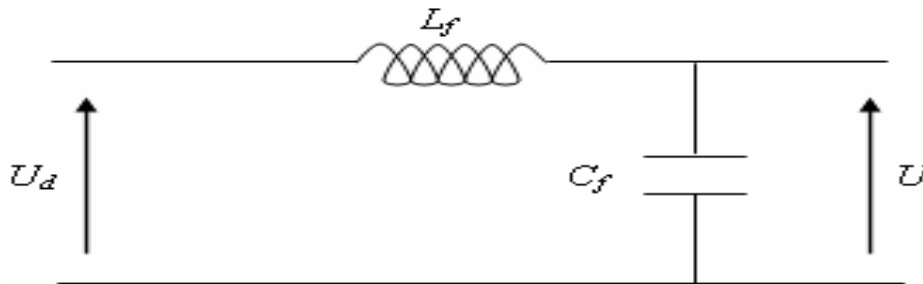
## ❖ Tension inverse :

La tension maximale à supporter par les diodes.

$$V_D = \sqrt{3} V_m \quad (3.2)$$

**3.5.3. b Filtre**

Le filtre est constitué d'une inductance montée en série avec un condensateur



**Figure 3.5** Structure de filtre

- Le condensateur permet d'obtenir à l'entrée de l'onduleur une tension sensiblement constante, et d'absorber le courant négatif restitué par la charge.
- L'inductance permet de rendre sensiblement le courant constant [9].

Les équations du filtre sont données :

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{1}{L_f} (U - U_d) \quad (3.3)$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{C_f} (I_d - I) \quad (3.4)$$

**3.5.3. C L'onduleur de tension triphasé à MLI**

L'onduleur est la dernière partie du variateur de vitesse située avant le moteur. Il fournit des grandeurs électriques variables au moteur. Dans tous les cas, l'onduleur est composé de semi-conducteurs (en général des IGBT et des diodes de roue libre associées) disposés par paires en trois bras. Les semi commutent sur des signaux en provenance du circuit de commande.

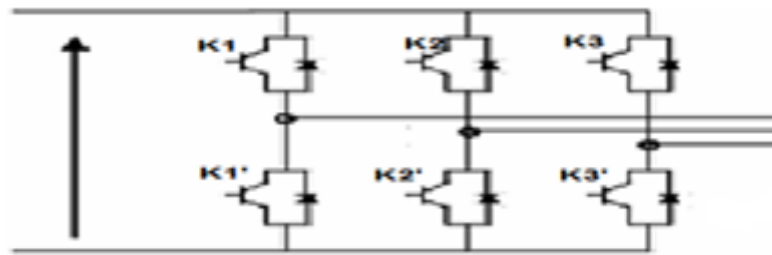
L'onduleur de tension est constitué de cellule de commutation généralement à transistor ou thyristor pour les grandes puissances. Donc Les onduleurs sont des convertisseurs statiques continu-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue.



La modulation de largeur d'impulsions consiste à commander les interrupteurs de manière à délivrer au moteur une suite d'impulsions d'amplitude fixe, positives ou négatives et modulées en largeur [10].

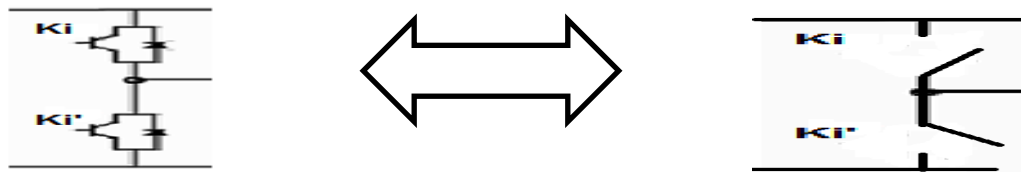
**a. Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux**

L'onduleur à deux niveaux est constituée de trois bras, chaque bras comporte deux interrupteurs il est schématisé dans la figure :



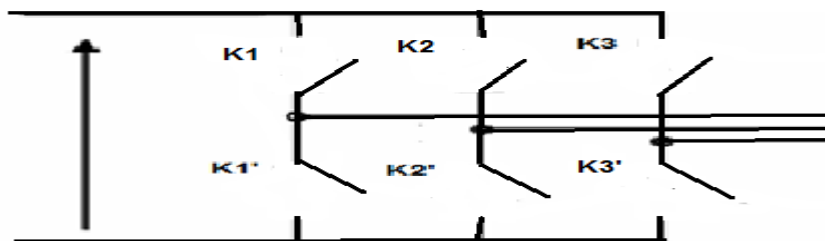
**Figure 3.6** Structure de l'onduleur de tension à deux niveaux

En mode commandable, le bras est un commutateur à deux positions qui permet d'obtenir à la sortie de l'onduleur deux niveaux de tension



**Figure 3.7** un bras de l'onduleur à deux niveaux

Le schéma principal de l'onduleur est donné sur la figure suivante :



**Figure 3.8** Schéma principale de l'onduleur

Les couples d'interrupteur ( K1et K1'), ( K2 et K2'), (K3 et K 3') doivent être commandés de manière complémentaire pour assurer la continuité des courants alternatifs dans la charge d'une part et d'éviter le court-circuit de la source d'autre part. Pour simplifier l'étude, on associé à chaque bras une fonction logique de connexion F (j = 1,2,3)

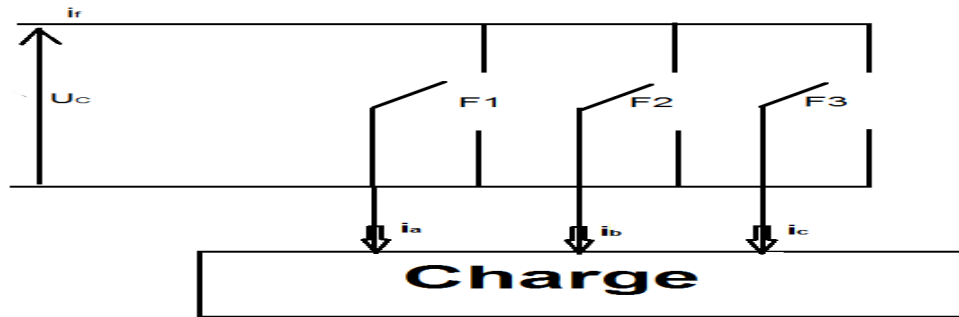


Figure 3.9 Représentation des interrupteurs

Les commandes des interrupteurs d'un bras sont complémentaires du fait que chacun des trois bras de l'onduleur ne peut avoir que deux états logiques possibles (0, 1). Ces deux états peuvent être considérés comme une grandeur booléenne

$$F_j = \begin{cases} 1 & \text{si } K_i \text{ est fermé et } K_i' \text{ ouvert} \\ 0 & \text{si } K_i' \text{ est fermé et } K_i \text{ ouvert} \end{cases}$$

Les tensions de lignes délivrées par l'onduleur sont :

$$\begin{cases} U_{ab} = U_c(F_1 - F_2) \\ U_{bc} = U_c(F_2 - F_3) \\ U_{ca} = U_c(F_3 - F_1) \end{cases} \tag{3.5}$$

On suppose que la charge est équilibrée et le neutre est isolé c.-à-d.

$$V_a + V_b + V_c = 0 \tag{3.6}$$

Sachant que :

$$\begin{cases} U_{ab} = V_a - V_b \\ U_{bc} = V_b - V_c \\ U_{ca} = V_c - V_a \end{cases} \tag{3.7}$$

En tenant compte les trois relations, on obtient les tensions simples suivantes:

$$\begin{cases} V_a = \frac{U_c}{3}(2F_1 + F_2 - F_3) \\ V_b = \frac{U_c}{3}(-F_1 + 2F_2 - F_3) \\ V_c = \frac{U_c}{3}(-F_1 - F_2 + 2F_3) \end{cases} \tag{3.8}$$

Le système des équations peut s'écrire sous la forme matricielle

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

### b. Stratégie de commande de l'onduleur à deux niveaux

Les onduleurs de tension peuvent être pilotés suivant plusieurs stratégies. A fréquence élevée, ils seront pilotés en modulation de largeur d'impulsion. Cette dernière stratégie permet de régler à la fois l'amplitude et la fréquence en gardant la source continue

Constante [11]. Afin de produire une tension de sortie proche de la sinusoïde, il existe différentes stratégies de commande. Nous proposons la stratégie Triangulo-Sinusoidale (Par modulation de largeur d'impulsions)

### c. Commande triangulo-sinusoidale à une porteuse

La technique de modulation à une porteuse consiste à comparer trois signaux de référence  $V_m$  qui imagent les tensions de sortie recherchées des fréquences  $f$  décalées entre eux de  $2\pi/3$ , à un signal triangulaire commun  $V_p$  appelée « porteuse » de référence  $f_p$  [11].

L'indice de modulation ( $m$ ), égal au rapport des fréquences de modulation et de références

$$m = \frac{f_p}{f} \quad (3.10)$$

Le coefficient de réglage en tension ( $r$ ), égal au rapport de l'amplitude de la référence à la valeur de Crête de modulation

$$r = \frac{V_m}{V_{pm}} \quad (3.11)$$

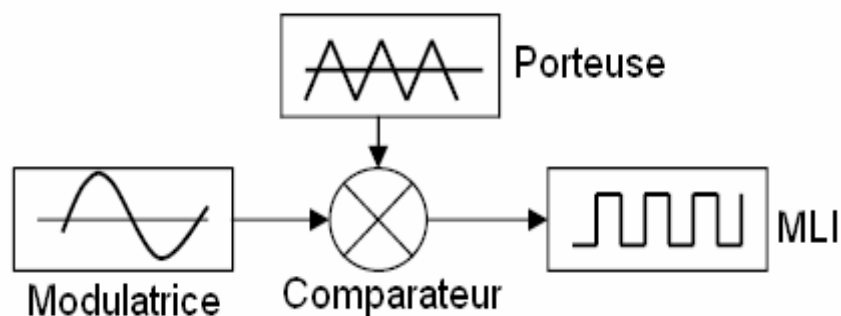


Figure 3.10 Schéma Principe de MLI

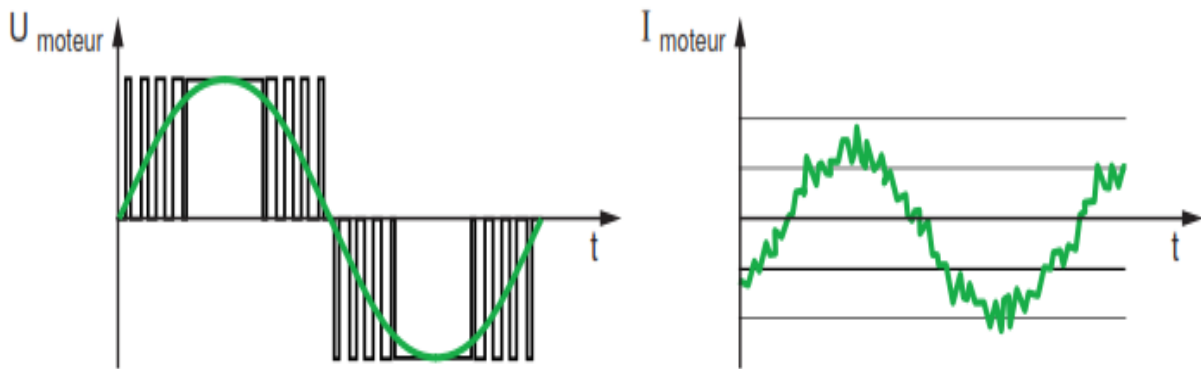


Figure 3.11 La modulation de largeur d'impulsions.

## 3.6 Protections intégrées aux variateurs

### 3.6.1 Protection de surcharge moteur

Les variateurs modernes assurent la protection du moteur contre les surcharges :

- par une limitation instantanée du courant efficace à 1,5 fois le courant nominal
- par un calcul permanent du  $I^2 t$ , avec prise en compte de la vitesse.

A noter que lorsqu'un départ n'alimente qu'un moteur et son variateur, cette protection de surcharge du moteur assure simultanément la protection de surcharge de l'ensemble appareillage et câblage.

### 3.6.2 Protection contre le court-circuit moteur ou ligne en aval du variateur

En cas de court-circuit entre phases en sortie de variateur (aux bornes du moteur ou à un endroit quelconque de la ligne entre le variateur et le moteur), la sur intensité est détectée au sein du variateur et un ordre de blocage est envoyé très rapidement aux IGBT.

Le courant de court-circuit est interrompu en quelques micros secondes, ce qui assure la protection du variateur. Ce courant très bref est essentiellement fourni par le condensateur de filtrage associé au redresseur, et est donc indiscernable dans la ligne d'alimentation.

### 3.6.3 Autres protections intégrées aux variateurs

Les variateurs disposent d'autres fonctions d'autoprotection contre :

- Les sur chauffes de leurs composants électroniques pouvant entraîner leur destruction. Un capteur placé sur le dissipateur thermique provoque l'arrêt du variateur, lorsque la température dépasse un certain seuil.
- Les creux de tension du réseau : cette protection est nécessaire pour éviter tout dysfonctionnement des circuits de contrôle et du moteur, ainsi que toute sur intensité dangereuse lorsque la tension réseau reprend sa valeur normale.
- Les sur tensions à fréquence industrielle du réseau : il s'agit d'éviter les destructions éventuelles de leurs composants.
- La coupure d'une phase (pour les variateurs triphasés) : car l'alimentation en monophasé qui se substitue à l'alimentation en triphasé provoque une augmentation du courant absorbé.

### 3.7 Choix industriel du variateur de vitesse [15]

Le choix d'un variateur de vitesse est décrit par deux critères :

- La puissance ou le courant nominal du moteur.
- Les options assurées par le variateur : démarrage, freinage, inversion du sens de rotation, filtrage...etc.

Le processus exige :

- ✚ Un démarrage progressif.
- ✚ Une vitesse variable abordable au compresseur.
- ✚ Un freinage Rampe.
- ✚ Un sens de rotation.

Nous allons donc choisi le VACON 100 FLOW comme variateur de fréquence associé au moteur asynchrone utilisé, répondent bien aux exigences du processus. Comme il présente plus d'options et d'applications.

#### 3.7.1 Qu'est qu'un VACON100 FLOW

Le VACON® 100 FLOW est un variateur de fréquence destiné à améliorer le contrôle du débit dans les applications de la gestion technique du bâtiment, d'eau potable et de traitement des eaux usées .... Il associe les fonctionnalités essentielles du VACON® 100 aux fonctions spécialisées qui sont conçues en priorité pour les applications de contrôle de débit. Le VACON 100 FLOW est disponible avec plusieurs tailles en coffrets homologués IP21/UL Type 1 ou IP54/UL Type

12. Il couvre les puissances allant de 0,55 kW/0,75 CV à 160 kW/250 CV et une plage de tension de 230 à 500 V.



Figure 3.12 Image réel du variateur VACON 100 FLOW

### 3.7.2 Les caractéristiques du VACON100 FLOW

- Amélioration de la qualité des produits.
- Equipé d'un port Ethernet intégré. Cette caractéristique permet d'éliminer la nécessité d'installer des options ou passerelles supplémentaires pour assurer la communication avec le système d'automatisation.
- Augmentation de la capacité de production.
- Amélioration de la fiabilité du système en entier.
- Moins d'impact sur le système mécanique et électrique-démarrage souple.
- Celle-ci garantit aux utilisateurs la disponibilité et le cycle de vie le plus long possible, qui permet de minimiser les interruptions et de maintenir les coûts à un minimum.
- Facile à manipuler (panneau opérateur).

### 3.7.3 Le panneau opérateur du VACON100 FLOW

Le panneau opérateur est l'interface entre le convertisseur de fréquence VACON 100 FLOW et l'utilisateur. Le panneau opérateur permet de contrôler la vitesse d'un moteur, de superviser l'état de l'équipement et de définir les paramètres du convertisseur de fréquence.

Vous pouvez choisir entre deux types de panneaux opérateur pour votre interface utilisateur : panneau opérateur à affichage graphique et panneau opérateur textuel.



Figure 3.13 Panneau opérateur du VACON 100 FLOW

### 3.7.4 L'installation du VACON100 FLOW

- Les modules IP21/UL type 1 possèdent les mêmes encombrements. Les modules IP54/UL type 12 peuvent faire l'objet d'un montage côte à côte.
- Les tailles de châssis MR8 et MR9 sont également disponibles en version IP00/UL pour intégration dans des armoires.
- Notre option de montage par bride rend possible un montage traversant dans un coffret. Le radiateur est ainsi positionné à l'extérieur. Cette option permet de réduire fortement les pertes calorifiques à l'intérieur du coffret.
- Les passe-câbles d'entrée et la mise à la terre 360° sont intégrés et facilitent l'installation des coffrets en respectant les exigences IP54 et CEM, ce qui permet d'économiser sur les accessoires annexes.

## 3.7.5 Type du VACON100 FLOW utilisé pour notre MAS

Les variateurs correspondants à l'intensité nominale (222 A) du MAS et qui répondent bien aux exigences du processus sont mentionnés dans le tableau suivant :

**TENSION RÉSEAU 380 — 500 V, 50/60 HZ, 3~**

Type de convertisseur de fréquence	Capacité de charge		Courant maximal I <sub>s</sub>	Puissance à l'arbre moteur		Taille châssis	Dimensions LxHxP (mm) LxHxP (pouce)	Poids (kg) (lbs)
	cour. permanent I <sub>r</sub> (A)	Courant de surcharge 10 % (A)		10 % de surcharge 40°C [kW]	10 % de surcharge 104°F [HP]			
VACON 0100-3L-0003-5-FLOW	3,4	3,7	5,2	1,1	1,5	MR4	128x328x190 5x12.9x7.5	6,0 13,0
VACON 0100-3L-0004-5-FLOW	4,8	5,3	6,8	1,5	2,0			
VACON 0100-3L-0005-5-FLOW	5,6	6,2	8,6	2,2	3,0			
VACON 0100-3L-0008-5-FLOW	8,0	8,8	11,2	3,0	4,0			
VACON 0100-3L-0009-5-FLOW	9,6	10,6	16,0	4,0	5,0			
VACON 0100-3L-0012-5-FLOW	12,0	13,2	19,2	5,5	7,5			
VACON 0100-3L-0016-5-FLOW	16,0	17,6	24,0	7,5	10,0			
VACON 0100-3L-0023-5-FLOW	23,0	25,3	32,0	11,0	15,0			
VACON 0100-3L-0031-5-FLOW	31,0	34,1	46,0	15,0	20,0			
VACON 0100-3L-0038-5-FLOW	38,0	41,8	62,0	18,5	25,0	MR6	195x557x229 7.7x21.9x9	20,0 44,0
VACON 0100-3L-0046-5-FLOW	46,0	50,6	76,0	22,0	30,0			
VACON 0100-3L-0061-5-FLOW	61,0	67,1	92,0	30,0	40,0			
VACON 0100-3L-0072-5-FLOW	72,0	79,2	122,0	37,0	50,0	MR7	237x660x259 9.3x26x10.2	37,5 83,0
VACON 0100-3L-0087-5-FLOW	87,0	95,7	144,0	45,0	60,0			
VACON 0100-3L-0105-5-FLOW	105,0	115,5	174,0	55,0	75,0			
VACON 0100-3L-0140-5-FLOW	140,0	154,0	210,0	75,0	100,0	MR8	290x966x343 11.4x38x13.5	66,0 145,5
VACON 0100-3L-0170-5-FLOW	170,0	187,0	280,0	90,0	125,0			
VACON 0100-3L-0205-5-FLOW	205,0	225,5	340,0	110,0	150,0			
VACON 0100-3L-0261-5-FLOW	261,0	287,1	410,0	132,0	200,0	MR9	480x1150x365 18.9x45.3x14.4	108,0 238,0
VACON 0100-3L-0310-5-FLOW	310,0	341,0	502,0	160,0	250,0			
VACON 0100-3L-0140-5-FLOW +IP00	140,0	154,0	210,0	75,0	100,0	MR8*	290x794x343 11.4x31.3x13.5	62,0 136,7
VACON 0100-3L-0170-5-FLOW +IP00	170,0	187,0	280,0	90,0	125,0			
VACON 0100-3L-0205-5-FLOW +IP00	205,0	225,5	340,0	110,0	150,0			
VACON 0100-3L-0261-5-FLOW +IP00	261,0	287,1	410,0	132,0	200,0	MR9*	480x970x365 18.9x38.2x14.4	97,0 213,8
VACON 0100-3L-0310-5-FLOW +IP00	310,0	341,0	502,0	160,0	250,0			

\* Les tailles de châssis MR8 et MR9 sont disponibles en version IP00/UL, à intégrer en armoire

**Tableau 3.2** Caractéristiques nominales et dimensions du VACON 100 FLOW

- On a choisi le **VACON 0100-3L-0261-5-FLOW+SBF4+IP54** qui a une valeur d'intensité

## 3.8 Conclusion

Actuellement, les moteurs asynchrones sont souvent associés à un démarreur électronique ou à un variateur de vitesse assurant en plus de la variation de vitesse, la tâche du démarrage, freinage, variation de sens de rotation...etc.

Parmi les convertisseurs de fréquence utilisés pour la variation de la vitesse des moteurs asynchrones, on a choisi le montage redresseur-onduleur de tension à M.L.I, car c'est une technologie de référence pour toutes les applications industrielles de faible et moyenne puissance.

Dans notre cas, nous avons choisi le VACON 0100-3L-0261-5FLOW qui est adapté à notre système, avec une gamme de puissance 132kw, un indice de protection important. Dans le chapitre suivant nous allons présenter comment choisir un moteur et un variateur





## 4.1 Introduction

La problématique de choix du moteur électrique consiste à trouver la variante la plus rationnelle entre les moteurs fabriqués par les constructeurs et les exigences des processus technologiques.

En effet, le moteur électrique doit satisfaire complètement les exigences du processus technologique et répond aux conditions de son environnement.

Il est nécessaire que le moteur soit fiable dans son travail avec le minimum d'investissements et le minimum de prix d'exploitation. Cela se réalise seulement si le moteur choisi a une puissance optimale.

Tous les paramètres du moteur choisi : la puissance nominale, la vitesse de rotation, la tension nominale, le facteur de marche, le couple de démarrage, le couple maximal, les limites de réglage, la forme de la caractéristique mécanique, la qualité du régime transitoire et les particularités de construction doivent correspondre aux caractéristiques et aux mécanismes du processus technologiques, ainsi que les paramètres du réseau électrique.

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

L'utilisation des moteurs avec une puissance plus grande nécessite l'augmentation injustifiée de l'investissement du capital, la diminution des indices énergétiques de la commande électrique : augmentation des pertes, donc diminution du rendement, détérioration de  $\cos\phi$ , chose qui influe à son tour sur la charge non productive des convertisseurs et des réseaux de distribution.

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

Dans le présent chapitre, nous allons entamer les calculs nécessaires du choix du moteur.

## 4.2 Calcul du choix industriel du moteur [14]

### 4.2.1 Service de fonctionnement

Notre moteur fonctionne en service continu (24h/24h). Dans ce service le moteur qui entraine le compresseur tourne avec une vitesse variable suivant le débit demandé par notre processus. On cas d'un arrêt de production (voulu ou inattendu) le moteur fait un arrêt. [13].

### 4.2.2 Calcul de la puissance du moteur

La puissance demandée par notre processus est de :

$$p_{mec} = 104.7 \text{ KW}$$

Cette valeur doit être corrigée en tenant compte de plusieurs paramètres : température ambiante, fréquence, altitude ..., en introduisant des coefficients de correction.

$$P_m \geq p_{mec} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f \quad (4.1)$$

$P_m$ : Puissance du moteur.

$P_{mec}$  : Puissance du mécanisme.

$K_t$  : Coefficient de correction tenant compte de la température.

$K_a$  : Coefficient de correction tenant compte de l'altitude.

$K_f$  : Coefficient de correction tenant compte de la fréquence.

#### a. Correction suivant la température ambiante

La température ambiante dans cette entreprise ne dépasse pas généralement 45°C.

On peut déterminer  $K_t$  d'après la courbe  $P = f(T_{amb})$

$$K_t = 1 \quad (\text{Voir annexe}).$$

#### b. Correction suivant l'altitude :

De même façon on détermine  $K_a$

$$K_a = \frac{10.000}{11.000 - at} \quad (4.2)$$

Pour une altitude inférieure à 1000m comme dans notre cas(Alger) :

$$K_a = 1(\text{Voir l'annexe})$$

**c. Correction suivant la fréquence**

Pour les moteurs asynchrones alimentés par des convertisseurs de fréquence, il faut corriger la puissance du moteur en introduisant un coefficient de correction correspondant à la fréquence :

$$f = 50\text{Hz}$$

$$K_f = 1.05$$

Donc la puissance du moteur :  $p_m \geq p_{mec} \cdot K_t \cdot K_a \cdot K_f$

$$p_m \geq 104.7 * 1 * 1.05 * 1$$

$$P_m \geq 110 \text{ KW}$$

$$p_m = 110\text{KW}$$

Pour choisir notre moteur d’après le catalogue, on doit savoir, en plus de la puissance, la vitesse avec laquelle doit tourner le moteur. La vitesse du moteur choisi est de 3000 tr/mn (de synchronisme) :c’est donc un moteur à 2 pôles.

D’après le catalogue de *LEROY-SOMMER* dans la série des moteurs asynchrones triphasés à cage (400 V), la puissance normalisée (supérieure à celle calculée) correspondant à une vitesse de 3000tr/mn est :  $p_m = 132\text{KW}$

2 pôles- 3000 min<sup>-1</sup> IP 23-CLASSE F- S1-CLASSE IE2

Type	RÉSEAU 400 V 50 Hz															
	Puissance nominale	Vitesse nominale	Moment nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance			Rendement CEI 60034-2-1 2007			Courant démarrage/ Courant nominal	Moment démarrage/ Moment nominal	Moment maximum/ Moment nominal	Moment d'inertie	Masse	Bruit
	P <sub>N</sub>	N <sub>N</sub>	M <sub>N</sub>	I <sub>N(400V)</sub>	Cos φ			η			I <sub>d</sub> / I <sub>n</sub>	M <sub>d</sub> /M <sub>n</sub>	M <sub>max</sub> /M <sub>n</sub>	J	IMB3	LP
	kW	min <sup>-1</sup>	N.m	A	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4				kg.m <sup>2</sup>	kg	db(A)
PLSES 180 LG	37	2958	120	68	0,85	0,80	0,70	92,8	92,8	91,8	7,4	2,8	3,1	0,081	167	76
PLSES 200 M	45	2952	145	79	0,88	0,85	0,78	93,0	93,4	93,0	7,5	2,8	3,1	0,102	182	76
PLSES 200 LU	55	2950	179	95	0,90	0,88	0,83	93,2	93,4	92,6	7,5	2,8	3,2	0,14	222	78
PLSES 225 MG	75	2973	241	131	0,88	0,85	0,77	93,9	93,8	92,8	8,5	2,5	3,1	0,17	364	78
PLSES 250 SP	90	2972	290	157	0,88	0,84	0,76	94,4	94,2	93,1	8,8	2,6	3,3	0,40	362	79
PLSES 250 MP	110	2970	352	194	0,86	0,83	0,74	94,4	94,4	93,6	8,6	2,6	3,6	0,44	381	79
<b>PLSES 280 MD</b>	<b>132</b>	<b>2963</b>	<b>426</b>	<b>222</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	<b>0,84</b>	<b>94,6</b>	<b>94,5</b>	<b>93,7</b>	<b>9,0</b>	<b>2,9</b>	<b>3,5</b>	<b>0,48</b>	<b>488</b>	<b>79</b>
PLSES 315 S	160	2975	512	275	0,88	0,86	0,80	95,1	95,2	94,9	8,1	2,6	3,4	1,25	640	79

**Tableau 4.1** Catalogue leroy semer du moteur asynchrone triphasé ferme



Figure 4.1 : Aspect du moteur PLSES 280 MD

### 4.2.3 Calcul du couple nominal

Le moteur électrique doit vaincre le couple résistant de la machine entraînée et mettre en vitesse l'inertie de celle-ci. Il est intéressant de connaître le couple nominal du moteur utilisé. Ce couple est en fonction de la puissance et de la vitesse de ce moteur.

La puissance utile nominale du moteur est égale à :

$$P_N[\text{KW}] = C_N[\text{N.M}].\Omega_N[\text{rd/s}] \quad (4.3)$$

La vitesse de synchronisme :

$$\Omega_N = \frac{2\pi N_n}{60} = \frac{2\pi.2963}{60} = 310.2846 \text{rd/s}$$

Le couple nominal :

$$C_N = \frac{132000}{310.2846} = 425.4156 \text{ N.m}$$

AN :

$$C_N = 425.4156 \text{ N.m}$$

#### 4.2.4 Calcul du couple de démarrage

D'après le tableau (5.2), nous avons :

$$\frac{C_D}{C_N} = 2.9 \quad (4.4)$$

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

$$C_N = 425.4156 N.m$$

Donc on peut tirer la valeur du couple de démarrage :

$$C_D = 425.4156 * 2.9$$

AN:

$$C_D = 1233.70524 N.m$$

#### 4.2.5 Calcul de la capacité de surcharge

La vérification d'après les conditions de surcharge consiste à calculer le coefficient de capacité de surcharge, rapport du couple maximale au couple nominale.

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

$$\lambda = \frac{C_M}{C_N} \quad (4.5)$$

Il est fourni par le constructeur tableau 5.2 :

$$\lambda = 3.5$$

Cette valeur de  $\lambda$  indique la stabilité du moteur qu'on a choisi.


### 4.3 Description du moteur asynchrone utilisé

Dans cette entreprise le moteur utilisé est de « LORY SOMER » qui porte la plaque signalétique suivante :

<b>LEROY SOMER</b>		3 ~ PLSES280MD - T				CE
		N° 757382E14 001 2014 IP23 IK08				IE2
Ta 40°C Ins.cl. F		S1	1000m	488kg	94.6%	
DE: 6317 C3		POLYREX EM 103		A H		
NDE: 6314 C3RI		40g / 4000h				
V	Hz	min-1	kW	Cos φ	A	
Δ400	50	2963	132	0.89	222	
Y690					128	
Y460	60	3570	132	0.9	192	
HJ62P_100C			IEC 60034-1			

Figure 4.2 plaque signalétique du moteur

### 4.3.1 Définition des symboles de la plaque signalétique

 **Repère légal de la conformité du matériel aux exigences des Directives Européennes.**



**3 ~** : Moteur triphasé alternatif  
**PLSES** : Série  
**280** : Hauteur d'axe  
**MD- T** : Symbole de carter

**N° moteur**

**757382** : Numéro série moteur  
**E** : Mois de production  
**14** : Année de production  
**001** : N° d'ordre dans la série  
**IE2** : Classe de rendement  
**94,6%** : Rendement à 4/4 de charge

**IP23 IK08** : Indice de protection  
**I cl. F** : Classe d'isolation F  
**40°C** : Température d'ambiance contractuelle de fonctionnement  
**S1** : Service - Facteur de marche  
**488 kg** : Masse  
**V** : Tension d'alimentation  
**Hz** : Fréquence d'alimentation  
**min<sup>-1</sup>** : Nombre de tours par minute  
**kW** : Puissance assignée  
**cos φ** : Facteur de puissance  
**A** : Intensité assignée  
**Δ** : Branchement triangle  
**Y** : Branchement étoile

**Roulements**

**DE** : Drive end  
 Roulement côté entraînement  
**NDE** : Non drive end  
 Roulement côté opposé à l'entraînement  
**g** : Masse de graisse à chaque regraissage (en g)  
**h** : Périodicité de graissage (en heures)  
**POLYREX EM103** : Type de graisse  
 : Niveau de vibration  
 : Mode d'équilibrage

*Informations à rappeler pour toute commande de pièces détachées*

### 4.3.2 Recommandation de montage

#### Vérification de l'isolement

Avant la mise en fonctionnement du moteur, il est recommandé de vérifier l'isolement entre phase et masse, et entre phases.

Cette vérification est indispensable si le moteur a été stocké pendant plus de 6 mois ou s'il a séjourné dans une atmosphère humide.

Cette mesure s'effectue avec un mégohmmètre sous 500V continu (attention de ne pas utiliser un système à magnéto).

Il est préférable d'effectuer un premier essai sous 30 ou 50 volts et si l'isolement est supérieur à 1 mégohm effectuer une deuxième mesure sous 500 volts pendant 60 secondes. La valeur d'isolement doit être au minimum de 10 mégohms à froid.

Dans le cas où cette valeur ne serait pas atteinte, ou d'une manière systématique si le moteur a pu être soumis à des aspersion d'eau, des embruns, à un séjour prolongé dans un endroit à forte hygrométrie ou s'il est recouvert de condensation, il est recommandé de déshydrater le tatorpendant 24 heures dans une étuve à une température de 110° à 120°C.

S'il n'est pas possible de traiter le moteur en étuve :

-alimenter le moteur, rotor bloqué, sous tension alternatif triphasé réduite à environ 10% de la tension nominale, pendant 12 heures (Utiliser un régulateur d'induction ou un transformateur

abaisseur à prises réglables). Pour les moteurs à bagues, cet essai doit être réalisé avec le rotor en court-circuit.

-ou l'alimenter en courant continu, les 3 phases en série, la valeur de la tension étant de 1à2% de la tension nominale (utiliser une génératrice à courant continu à excitation séparée ou des batteries pour des moteurs de moins de 22kW).

NB : Il convient de contrôler le courant alternatif à la pince ampère métrique le courant continu avec un ampèremètre à shunt. Ce courant ne doit pas dépasser 60% du courant nominal.

Il est recommandé de mettre un thermomètre sur la carcasse du moteur : si la température dépasse 70°C, réduire les tensions ou courants indiqués de 5% de la valeur primitive pour 10° d'écart.

Pendant le séchage toutes les ouvertures du moteur doivent être dégagées (boîte à bornes, trous de purge).

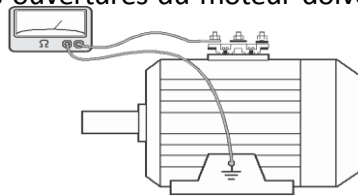


Figure 4.3 : vérification de l'isolement

### 4.3.3 Détermination du mode et position de fixation

Le mode de fixation se fait suivant la position de l'axe de la charge entraînée et le plan de fixation du moteur. Dans notre cas le mode de fixation est *horizontal*. IM 1001(B3)

**Moteur à pattes de fixation :**

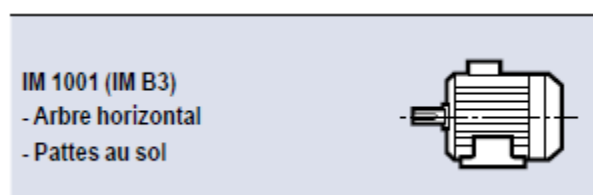


Figure 4.4 mode de fixation

### 4.3.4 Indice de protection IP

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

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

D'après le catalogue *LEROY-SOMER*, l'indice de protection est : **IP 23**



### 4.3.5 Protection contre les chocs mécaniques IK

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

mécaniques. D’après le catalogue *LEROY-SOMER* l’indice de protection est : **IK 08**

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

### 4.3.6 Planchettes à borne et sens de rotation

Les moteurs standard sont équipés d’une planchette à 6 bornes conforme à la norme NFC 51 120, dont les repères sont conforme à la CEI 60034-8 (ou NFEN 60034-8).

Lorsque le moteur est alimenté en U1, V1, W1 ou 1U, 1V, 1W par un réseau direct L1, L2, L3, il tourne dans le sens horaire lorsqu’on est placé face au bout d’arbre.

En permutant l’alimentation de 2 phases, le sens de rotation sera inversé. (Il y aura lieu de s’assurer que le moteur a été conçu pour les deux sens de rotation).

Lorsque le moteur comporte des accessoires (protection thermique ou résistance de réchauffage), ceux-ci sont raccordés sur des dominos à vis par des fils repérés.

Série	Type	Alimentation Réseau 400V		
		Couplage 230/400V		Couplage 400VD
		Polarité	Bornes	Bornes
PLSES	180 LG	2	M8	M8
	180 LGU	4	M8	M6
	200	2 ; 4	M10	M8
	225 MG	4		
	225 MG	2	M12	M10
	250 SP/MF	2 ; 4		
	250 MP	2		
	280	2 ; 4	M16	M12
	315 S/SUR	2 ; 4	M16	M16
315 M/MUR/L/LD/LU/LDS	2 ; 4			
PLSES/PLS	315 LG/MGU	2 ; 4	M12	M12
PLS	315 VLG/VLGU	2 ; 4	M12	M12
	355 / 400	2 ; 4	M14	M14

Tableau 4.2 caractéristique de couplage de la planchette a borne

#### a. Couple de serrage sur les écrous des planchettes à bornes

Borne	M8	M10	M12	M14	M16
Couple N.m	10	20	35	50	65

Tableau 4.3 couple de serrage

### 4.3.7 Ventilation des moteurs

Selon la norme CEI 60034-6, les moteurs de ce catalogue sont refroidis selon le mode IC 411, c'est-à-dire « machine refroidie par sa surface, en utilisant le fluide ambiant (air) circulant le long de la machine ».

Le refroidissement est réalisé par un ventilateur monté à l'arrière du moteur, à l'intérieur d'un capot de ventilation, assurant la protection contre tout contact direct (contrôle selon CEI 600 34-5). l'air aspiré à travers la grille du capot est soufflé le long des ailettes du carter par le ventilateur assurant un équilibre thermique.

Nous préconisons une distance minimum de  $1/3$  de la hauteur d'axe entre l'extrémité du capot et un obstacle éventuel (paroi, machine,...).

#### a. Ventilation des moteurs à vitesse variable

L'utilisation des moteurs asynchrones en variation de vitesse avec une alimentation par variateur de fréquence ou de tension, oblige à des précautions particulières :

En fonctionnant en service prolongé à basse vitesse, la ventilation perdant beaucoup de son efficacité, il est conseillé de monter une ventilation forcée à débit constant indépendant de la vitesse du moteur.

En fonctionnement en service prolongé à grande vitesse, le bruit émis par la ventilation pouvant devenir gênant pour l'environnement, l'utilisation d'une ventilation forcée est conseillée.

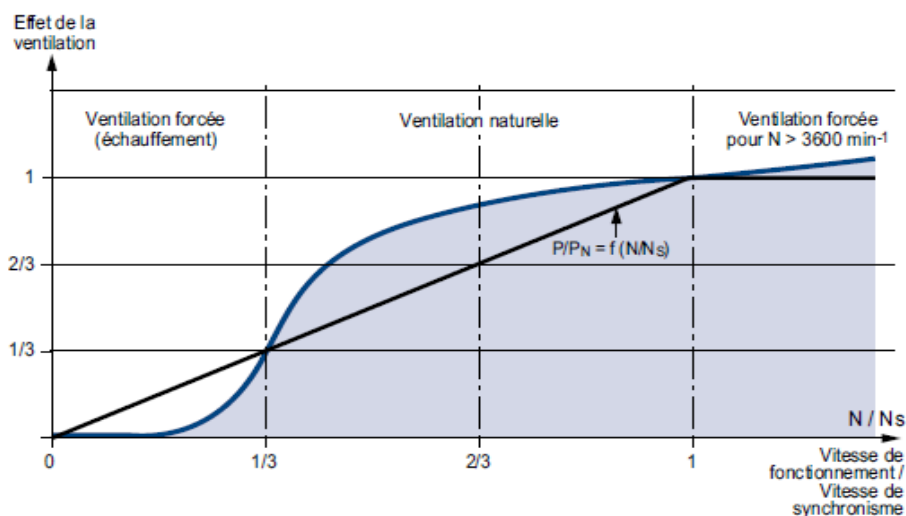


Figure 4.5 : caractéristique du refroidissement

**b. Mode de refroidissement IC 418**

S'ils sont placés dans le flux d'air d'un ventilateur, ces moteurs seront capables de fournir leur puissance nominale si la vitesse d'air entre les ailettes du carter et le débit global entre les ailettes, respectent les données du tableau ci-dessous.

Type LSES/FLSES/FLS	2 pôles	
	débit m3/h	vitesse m/s
80	120	7,5
90	200	11,5
100	300	15
112	460	18
132	570	21
160	1000	21
180	1200	21
200	1800	23
225	2000	24
250	3000	25
280	3000	25
315	5000	25
355	5200	25
400	5500	25
450	6000	25

**Tableau 4.4 :** Refroidissement du moteur non ventilée


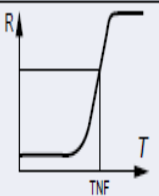
**4.3.8 Protection thermique**

La protection des moteurs est assurée par un disjoncteur magnétothermique à commande manuelle ou automatique, placé entre le sectionneur et le moteur. Ce disjoncteur peut être accompagné de fusibles.

Les moteurs peuvent être équipés en option de sondes thermiques ; ces sondes permettent de suivre l'évolution de la température aux «points chauds» :

- détection de surcharge,
- contrôle du refroidissement,
- surveillance des points caractéristiques pour la maintenance de l'installation.

TNF : température normale de fonctionnement.

Type	Principe du fonctionnement	Courbe de fonctionnement	Pouvoir de coupure (A)	Protection assurée	Montage Nombre d'appareils*
Thermistance à coefficient de température positif CTP	Résistance variable non linéaire à chauffage indirect 		0	surveillance globale surcharges rapides	Montage avec relais associé dans circuit de commande  3 en série

**Figure4.6** Sonde de protection thermique du moteur

**4.3.9 Paliers à roulements avec graisseur**

Pour les montages de roulements ouverts de hauteur d'axe  $\geq 250$  mm équipés de graisseurs, le tableau ci-contre indique, suivant le type de moteur, les intervalles de lubrification à respecter en ambiance 25°C, 40°C, 55°C pour une machine installée arbre horizontal.

\*Palier à graisseur sur demande.

Série	Type	Polarité	Type de roulements pour palier à graisseur		Quantité de graisse g	Intervalles de lubrification en heures					
			N.D.E.	D.E.		3000 t/min			1500 t/min		
						25°C	40°C	55°C	25°C	40°C	55°C
PLSES	180 LG*	2	6212 C3	6312 C3	20	15200	7600	3800	-	-	-
	180 LGU*	4			-	-	-	27000	13500	6750	
	200 M*	2;4	6212 C3	6313 C3	25	13400	6700	3350	25200	12600	6300
	200 LU*	2	6214 C3	6314 C3	25	11800	5900	2950	-	-	-
	200 LR*	4			-	-	-	23800	11900	5950	
	225 MG	2;4	6314 C3	6317 C3	40	8200	4100	2100	15000	10000	5000
	250 SP	2;4			40	8200	4100	2100	15000	10000	5000
	250 MP	2			40	8200	4100	2100	-	-	-
	250 MF	4			40	-	-	-	15000	10000	5000
	280 SD	4			40	-	-	-	15000	10000	5000
	280 MD	2			40	8200	4100	2100	-	-	-
	280 MG	4			-	6320 C3	50	-	-	-	15000

Tableau4.5 les intervalles de lubrification à respecter pour le graissage

**4.4 Dimensionnement du convertisseur de fréquence [15]**

Pour pouvoir dimensionner les éléments constituant notre convertisseur de fréquence, il faut connaître pour chaque montage les paramètres de sortie ainsi que les paramètres d'entrée, pour calculer les courants qui traversent les composants et les tensions à leurs bornes qui permettent le choix des composants d'après les catalogues.

**4.5 Application pour notre moteur**

$P_n = 132 \text{ kW}$  ;

$U_n = 400 \text{ V}$  ;

$I_n = 222 \text{ A}$  ;

$\Omega = 2963 \text{ tr/min}$  ;

$p = 1$  ;

$\cos \phi = 0.89$  ;

### 4.5.1 Calcul du montage Onduleur

#### a. Tension d'entrée

On a le coefficient de réglage en tension  $r$  qui est égal au rapport de l'amplitude de l'onde de référence à la valeur de crête  $U_c/2$  de l'onde de modulation.

D'après : [11].

$$0 < r = \frac{U_{\max}}{\frac{U_c}{2}} < 1 \quad (4.6)$$

Dans notre cas on prend :  $r = 0.8$

$$r = \frac{U_{\max}}{\frac{U_c}{2}} \rightarrow \frac{U_c}{2} = \frac{U_{\max}}{r} \quad (4.7)$$

AN :

$$U_c/2 = (230 \cdot \sqrt{2}) / 0.8 = 407V$$

$$U = 407V$$

#### b. Courant d'entrée

$$i_e = I' \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3} - \varphi\right) \quad (4.8)$$

Pour la valeur moyenne : [11]

$$I_{\text{moy}} = \frac{3}{\pi} \cdot I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \phi$$

AN :

$$I_{\text{moy}} = \frac{3}{\pi} \cdot 222 \cdot \sqrt{2} \cdot 0.89 = 266.96 \text{ A}$$

$$I_{\text{moy}} = 266.96 \text{ A}$$

Pour la valeur efficace :

$$I_{\text{eff}} = I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot \cos 2\phi} \quad (4.9)$$

AN:

$$\text{On a } \cos \varphi = 0,89 \rightarrow \varphi = 0,47 \text{rd} \rightarrow \cos 2\varphi = 0,58$$

$$I_{\text{eff}} = 222 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3}{4} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\pi} \cdot 0,58} = 270 \text{ A}$$

$$I_{\text{eff}} = 270 \text{ A}$$

**c. Le courant dans le semi-conducteur commandé**

$$I_{\text{eff}} = I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi - \phi}{4\pi} + \frac{\sin 2\phi}{8\pi}} \quad (4.10)$$

**AN:**

$$\sin 2\phi = 0.811$$

$$I_{\text{eff}} = 222 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi - 0,47}{4\pi} + \frac{0.811}{8\pi}} = 155.36\text{A}$$

$$I_{\text{eff}} = 155.36\text{A}$$

Pour la valeur moyenne :

$$I_{\text{moy}} = I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1 - \cos \phi}{2\pi}$$

**AN :**

$$I_{\text{moy}} = 222 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{1 + 0,89}{2\pi} = 94.43 \text{ A}$$

$$I_{\text{moy}} = 94.43\text{A}$$

**4.5.2 Calcul du montage redresseur**

Le calcul a pour but de choisir les composants à semi-conducteur.

- Les paramètres du redresseur
- Entrée : Alimentation 230/400 V.
- Sortie :  $U_d = 407 \text{ (V)}$ ,  $I_d = 266,96 \text{ (A)}$

**a. Le courant dans les diodes**

Chaque diode est traversée par un courant moyen

$$I_{\text{moy}} = \frac{I_e}{q} \quad (4.11)$$

**AN :**

$$I_{\text{moy}} = 88.98\text{(A)}$$

**b. La tension inverse**

Chaque diode soumise à une tension inverse

$$V_{\text{imax}} = 2V_{\text{max}} ; \text{ si } q \text{ est paire}$$

$$V_{\text{imax}} = 2V_{\text{max}} \cdot \cos \frac{\pi}{2q} ; \text{ si } q \text{ est impaire} \quad (4.12)$$

**AN:**

On a  $q=3$

$$V_{imax} = 2.230\sqrt{2} \cdot \cos \frac{\pi}{6} = 563.38 \text{ V}$$

$$V_{imax} = 563.38 \text{ V}$$

### 4.5.3 Calcul des paramètres de filtre

#### a. Calcul de la capacité de filtrage

La capacité de filtrage C et l'inductance de lissage sont calculés pour une ondulation de courant et de tension inférieure ou égale à 0.005%. c'est à dire :

$$\Delta U = \Delta I = 0.005\%$$

On a :

$$C \geq \frac{\pi}{2\omega} \cdot \left( \frac{I_e}{\Delta U_{max}} \right) \quad (4.13)$$

AN:

$$C = \frac{\pi}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} \cdot \left( \frac{266,96}{407 \cdot 0,05/100} \right) = 6.55 \text{ mF}$$

$$C = 6.55 \text{ mF}$$

#### b. Calcul de l'inductance de lissage L s

$$L_S = \frac{\pi}{4\omega} \cdot \frac{\Delta U_{max}}{\Delta I_{smax}} \quad (4.14)$$

$$L_S = 3.81 \text{ mH}$$

### 4.6 Calcul de section [16]

Pour déterminer la section des conducteurs actifs d'un câble, il faut tenir compte des données suivantes :

- Courant d'emploi dans les conducteurs actifs.
- Mode de pose des câbles.
- Type de câble utilisé.
- Température ambiante.
- Type de protection.

Voici la marche à suivre :

Détermination de l'intensité d'emploi : $I_B$
↓ $I_B$
Détermination de l'intensité assignée $I_n$ du dispositif de protection, prise égale ou juste supérieure à l'intensité d'emploi $I_n \geq I_B$
↓ $I_n$
Choix du courant admissible (non corrigé) $I_z$ pour la canalisation, qui correspond à une section de conducteur que le dispositif de protection saura protéger
↓ $I_z$
Détermination du courant admissible corrigé $I_z'$ tenant compte du facteur de correction $K$
↓ $I_z'$
Détermination de la section $S$ des conducteurs actifs en fonctions de $I_z'$
<b>S (section)</b>

**Tableau 4.6** Les étapes à suivre pour déterminer la section

#### 4.6.1 Calcul du courant d'emploi $I_B$ selon la norme NFC-15100

Le courant d'emploi est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal.

Ce courant dépend directement de la puissance des appareils alimentés par le circuit.

Après avoir déterminé le courant appelé par le récepteur, il faut lui appliquer plusieurs facteurs.

$$I_B = I_A * K_{s1} * K_u * K_r * K_{sn} \quad (4.15)$$

Tel que :

$I_B$ : Courant d'emploi dans le circuit d'alimentation.

$I_A$ : Courant appelé par le récepteur.

$K_u$ : Coefficient d'utilisation du récepteur.

$K_{s1}$ : Coefficient de simultanéité de niveau 1.

$K_{sn}$  : Coefficient de simultanéité de niveau n.



$K_R$  (Ou  $K_e$ ) : coefficient de réserve.

➤ *Courant absorber*  $I_A$

$$I_A = \frac{P_n}{\eta \cdot U \sqrt{3} \cdot \cos \phi} \quad (4.16)$$

$$I_A = \frac{132000}{0,946 \cdot 400 \sqrt{3} \cdot 0,89}$$

AN:

$$I_A = 226.294A$$

**Coefficient  $K_u$**

TYPE DE RECEPTEUR	$K_u$
Chauffage ou éclairage	1
Prises de courant (hors indication particulière)	1
Moteurs électriques	<b>0.75</b>

**Tableau 4.7** Facteur d'utilisation du récepteur

**Coefficient  $K_{S1}$  a  $K_{Sn}$**

Cas général :

Utilisation		$K_S$
Éclairage		1
Chauffage et conditionnement d'air		1
Prise de courant (n nbr de prises)		$0.1 + (0.9 / n)$
Moteurs	Moteur le plus puissant	<b>1</b>
	Moteur suivant	0.75
	Autres moteurs	0.60

**Tableau4.8** Facteur de simultanéité

**Coefficient  $K_r$** 

Le rôle du facteur de service, également appelé facteur d'extension, est de prévoir une augmentation de la puissance absorbée.

Le coefficient varie de 1.15 à 1.25 on prend généralement  $K_e = 1.25$

$$I_B = 226.294 * 0.75 * 1 * 1.25$$

$$I_B = 212A$$

**4.6.2 Calcul du courant assigné  $I_n$  du dispositif de protection**

$I_n$  : Calibre du dispositif de protection.

Valeur prise égale ou juste supérieure à l'intensité d'emploi.

$$I_n = 250A$$

**4.6.3 Calcul du courant admissible non corrigé**

C'est la valeur constante de l'intensité que peut supporter, dans des conditions données c'est aussi le courant pour la canalisation, qui correspond à une section du conducteur que le dispositif de protection sera protégé.

Protection par fusible (gG)	Protection par disjoncteur
$I_z = 1,31 \times I_n$ si $I_n < 16A$	$I_n = I_z$
$I_z = 1,10 \times I_n$ si $I_n \geq 16A$	

**Tableau 4.9** Courant admissible non corrigé

**4.6.4 Calcul du courant admissible corrigé**

Il suffit de multiplier le courant calculé précédemment par le facteur K déterminé en fonction des tableaux de la norme.

$$I_{z'} = I_z / k \tag{4.17}$$

Comment obtenir K ?

Choisissez le mode de pose :

**Mode B** : Les conducteurs sont enfermés dans des enceintes non ventilées, la dissipation de la chaleur est mauvaise

**Mode C** : Les câbles sont à l'air libre, mais disposés contre des parois qui limitent la dissipation de la chaleur.

**Mode D** : Concerne uniquement les câbles enterrés.

**Mode E** : Câbles multiconducteurs à l'air libre.

**Mode F** : Câbles mono conducteurs à l'air libre

Dans notre cas le mode de pose est **E**

Déterminer un coefficient **K** qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation.

Ce coefficient **K** s'obtient en multipliant les facteurs de correction, **K1**, **K2** et **K3** :

Le facteur de correction **K1** prend en compte le mode de pose

### Facteur de correction K1

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	■ câbles multiconducteurs	0,90
	■ vides de construction et caniveaux	0,95
C	■ pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	■ autres cas	1

**Tableau 4.10** Facteur de correction selon le mode de pose

Le facteur de correction **K2** prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

### Facteur de correction K2

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

**Tableau 4.11** Facteur de l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

Le facteur de correction **K3** prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

### Facteur de correction K3

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	–	0,61	0,76
60	–	0,50	0,71

**Tableau 4.12** Facteur de correction de la température ambiante et la nature de l'isolant

Donc on a :

$$K = 1 * 1 * 1.07$$

$$K = 1.07$$

$$I_{z'} = I_z / k$$

$$I_{z'} = 250 / 1.07$$

$$I_{z'} = 233.645A$$

#### 4.6.5 Détermination de la section minimale

Connaissant  $I_{z'}$  et  $K$  ( $I_{z'}$  est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation :

$$I_{z'} = I_z / k'$$

Le tableau ci-après indique la section à retenir.

lettre de sélection	Isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR					
	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C		PVC3			PVC2	PR3		PR2		
E				PVC3	PVC2	PR3		PR2		
F					PVC3		PVC2	PR3	PR2	PR2
section cuivre (mm <sup>2</sup> )	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm <sup>2</sup> )	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
300		351	381	406	440	497	508	543	613	
400					526	600	663		740	
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

Tableau 4.13 La section à retenir

Section du câble :

Pour le cuivre :

$$S = 95 \text{ mm}^2$$

Pour l'aluminium :

$$S = 150 \text{ mm}^2$$

#### 4.6.6 Section du conducteur PE (terre)

$$S_{PE} = S_{ph} \quad \text{si} \quad S_{ph} \leq 16 \text{ mm}^2$$

$$S_{PE} = 16 \text{ mm}^2$$

Donc :

$$16 < S_{ph} < 35\text{mm}^2$$

$$S_{PE} = \frac{S_{PH}}{2} \quad \text{si } S_{ph} > 35\text{mm}^2$$

$$S_{PE} = \frac{150}{2}$$

$$S_{PE} = 75\text{mm}^2$$

## 4.7 Chute de tension [21]

Par suite de la résistance des conducteurs, il se produit une chute de tension lorsqu'il y a passage du courant

### 4.7.1 Valeur de la chute de tension

La chute de tension entre l'origine d'une installation, en tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure à 8

### 4.7.2 Calcul de la chute de tension

Les chutes de tension sont déterminées à partir des valeurs du courant d'emploi des circuits. La longueur de la canalisation ou de la ligne, est la longueur d'un seul conducteur de la canalisation.

Formule générale :

$$U = b \left( \rho_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B$$

U : Chue de tension.

b: Coefficient dont la valeur est de :

2 : En monophasé et en continu

1 : En triphasé, tension phase neutre

$\sqrt{3}$  : En triphasé, tension phase - phase

$\rho_1$  : Résistivité

Pour l'aluminium 0,0 360 $\Omega$  mm<sup>2</sup>/ m

L: Longueur simple de la canalisation en m.

S : Section des conducteurs en mm<sup>2</sup>

$\lambda$ : Réactance linéique des conducteurs, on prend une valeur moyenne égale à  $0,08 * 10^{-3}$   $\Omega.m$ .

$I_B$ : Courant d'emploi en Ampère.

$$U = \sqrt{3} \left( 0,0225 * 0,89 * \frac{10}{150} + 0,08 * 10^{-3} * 10,046 \right) * 212$$

$$U = 1.841V \quad \text{Elle est acceptable}$$

$$I_{cc} = 10I_n$$

$$I_{cc} = 2220A$$

## 4.8 Conclusion

D'après l'étude que nous avons fait dans ce chapitre sur le moteur asynchrone, on a conclu que ce moteur présente plusieurs avantages par rapport au moteur à courant continu en matière de réduction du coût d'achat et d'exploitation, l'absence du collecteur et le fonctionnement à grande vitesse et à grande puissance. Cependant, le choix optimal du moteur reste une question très importante dont le but est d'exploiter au maximum les capacités du moteur asynchrone.

Dans ce chapitre on traite le choix et le dimensionnement du variateur de vitesse, parmi les convertisseurs de fréquence utilisés pour la variation de la vitesse des moteurs asynchrones, on a choisi le montage redresseur -onduleur de tension à M.L.I, car c'est une technologie de référence pour toutes les applications industrielles de faible, moyenne et grand puissance.

La simulation de l'ensemble (variateur moteur) en peut voir dans le chapitre suivant

## 5.1 Introduction

Il existe de nombreux logiciels de simulation en électronique : electronicsworkbench, pspice, s'implorer etc... Tous ces logiciels ont leur domaine de prédilection, l'électronique petit signal, l'électronique numérique, l'électronique de puissance. PSIM est spécialisé dans l'électrotechnique et l'électronique de puissance. C'est à dire qu'il permet de simuler par nature les commandes de moteurs : machines à courant continu, machines synchrones, machines asynchrones, ainsi que les convertisseurs statiques, partie commande et partie puissance pour cela nous allons utiliser le PSIM pour simuler les différents partie du variateur de vitesse.

## 5.2 Fonctionnement interne du logiciel

Le logiciel PSIM est constitué de 2 modules interdépendants :

- PSIM, permet la saisie graphique du système à simuler, c'est ce que l'on appelle l'éditeur de schémas électriques. Il permet aussi la configuration du simulateur.
- SIMVIEW, gère l'affichage graphique des résultats de simulation calculés par PSIM [27].

## 5.3 Principe général d'utilisation

Après avoir lancé le logiciel, il faut successivement :

- Dessiner le circuit ou le système à simuler.
- Attribuer des valeurs aux composants.
- Paramétrer la simulation souhaitée.
- Lancer l'exécution.
- Exploiter les résultats (généralement sous forme graphique) [27].

## 5.4 Simulation du redresseur

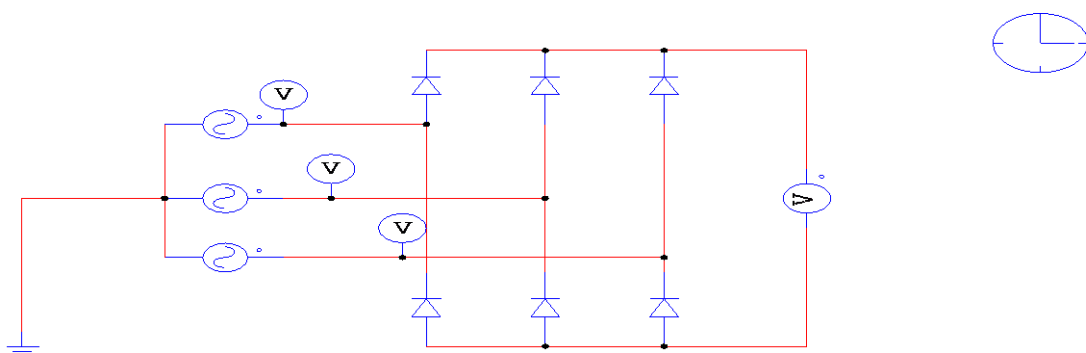


Figure5.1 : Schéma de redresseur sous PSIM



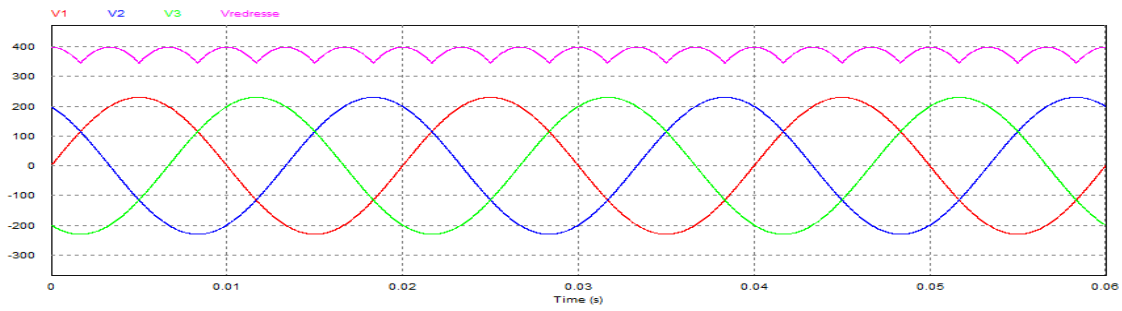


Figure 5.2 : la forme d’onde à la sortie de redresseur

### 5.5 Simulation du filtre

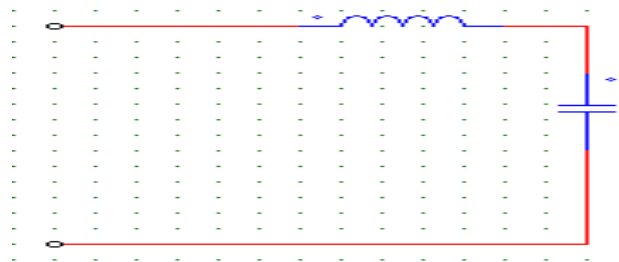


Figure 5.3 Schéma du filtre sous PSIM

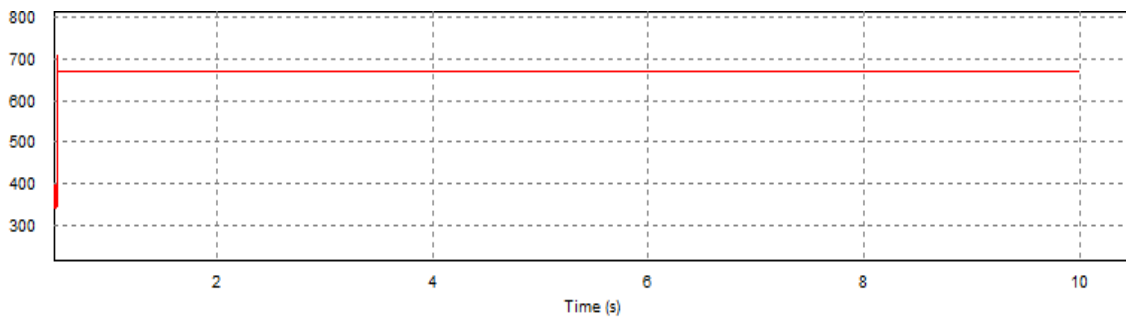


Figure 5.4 : La tension à la sortie du filtre

### 5.6 Simulation de l’onduleur a deux niveaux

Comme nous voyons dans le troisième chapitre l’onduleur à deux niveaux est constitué de trois bras, chaque bras comporte deux interrupteurs. Nous proposons un onduleur à base de IGBT

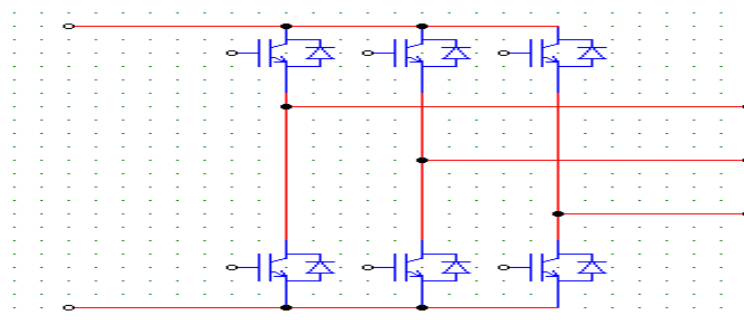


Figure 5.5 : schéma de l’onduleur à deux niveaux sous PSIM

5.6.1 Commande de l'onduleur deux niveaux

La commande MLI sinus-triangle d'un onduleur à deux niveaux se fait par la génération d'un seul signal de porteuse avec un le signal de référence

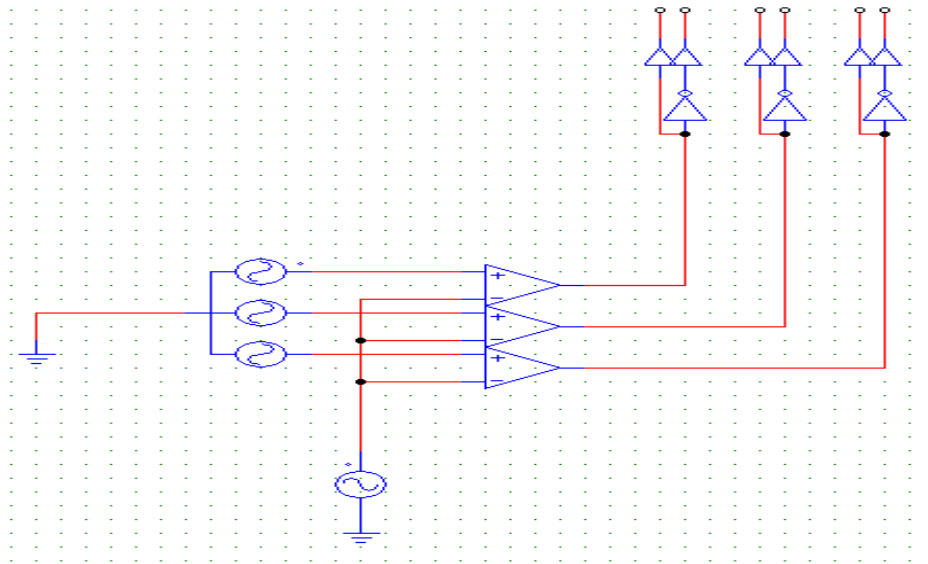


Figure 5.6 : Schéma de commande MLI sinusoidale avec 1 porteuse

5.6.2 Commande d'un onduleur triphasé à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à une seule porteuse avec (m=12, r=0.8)

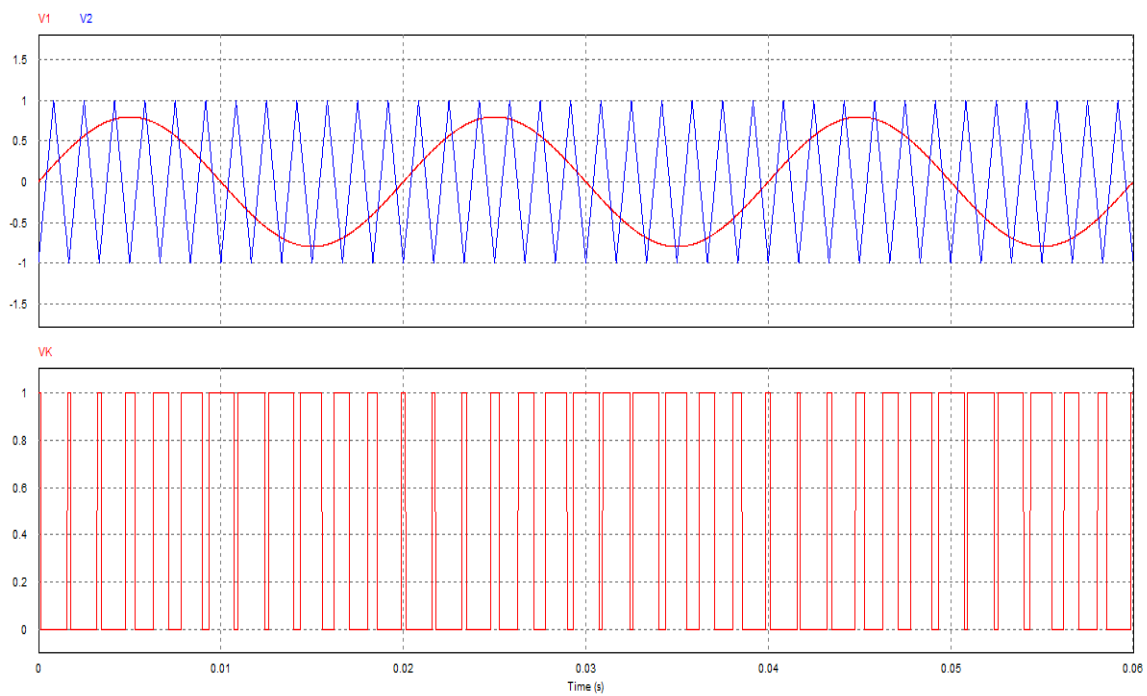
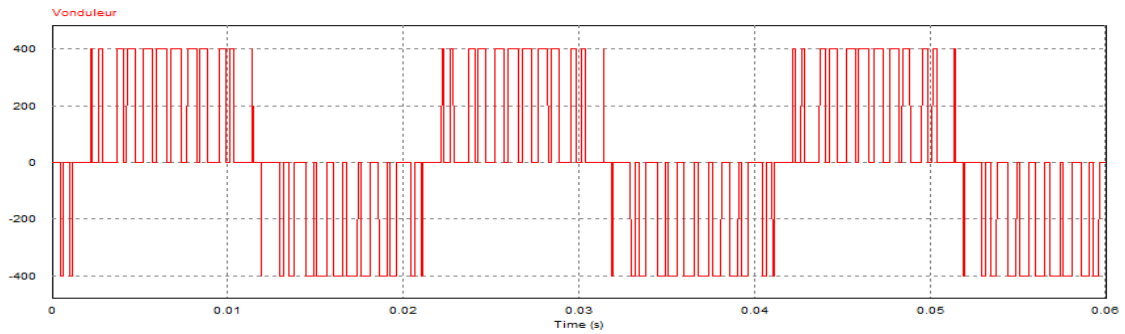


Figure 5.7 : Evaluation des signaux de commande pour un onduleur triphasé à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale une seule porteuses avec (m=12, r=0.8).



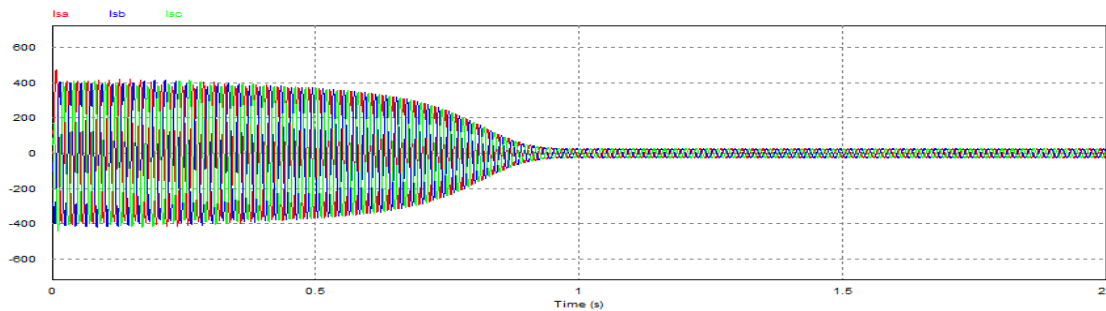
**Figure 5.8 :** Forme de tension de l’onduleur à deux niveaux commandé par la stratégie triangulo-sinusoidale à une seule porteuse avec ( $m=12, r=0.8$ )

### 5.7 Simulation du moteur

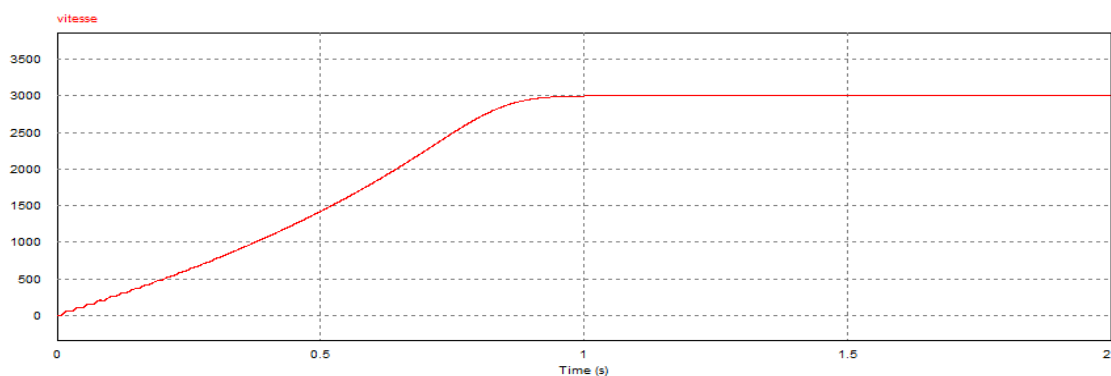
En effectuant les essais de simulation numérique, nous allons voir l’évolution :

- ❖ De la vitesse angulaire de rotation  $\Omega_r$ ,
- ❖ Du couple électromagnétique  $T_{em}$
- ❖ Du courant statorique  $I_s$

#### 5.7.1 Simulation de a machine asynchrone alimenté par réseaux à vide



**Figure 5.9 :** Evolution du courant  $i_s$



**Figure 5.10 :** Evolution de la vitesse de la machine

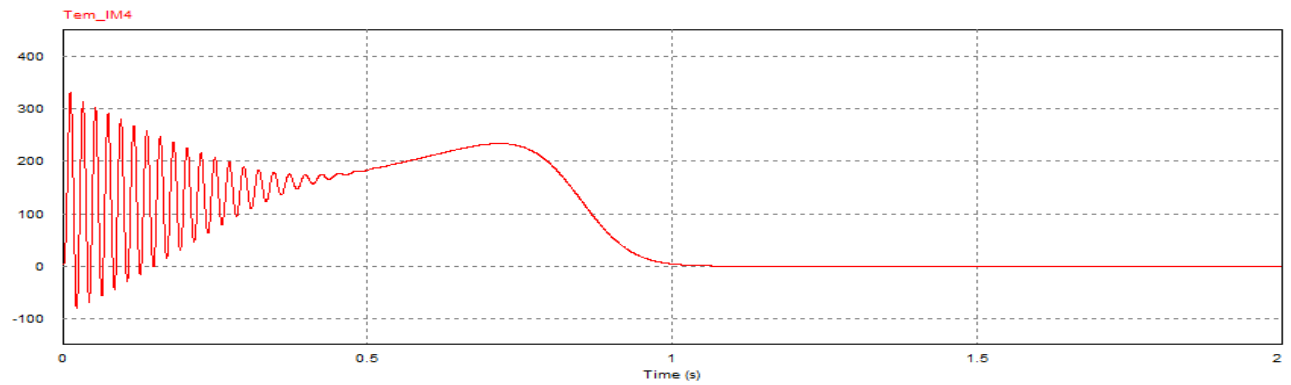


Figure 5.11 : Evolution du couple et de la vitesse de la machine

### 5.7.2 Simulation de la machine asynchrone alimentée par le réseau en charge

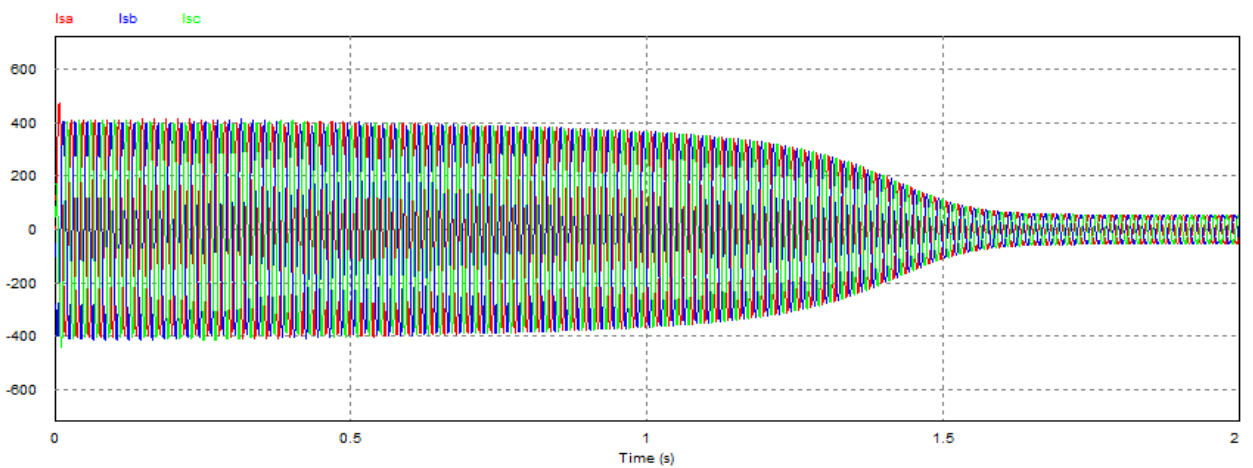


Figure 5.12 : Evolution du courant  $i_s$

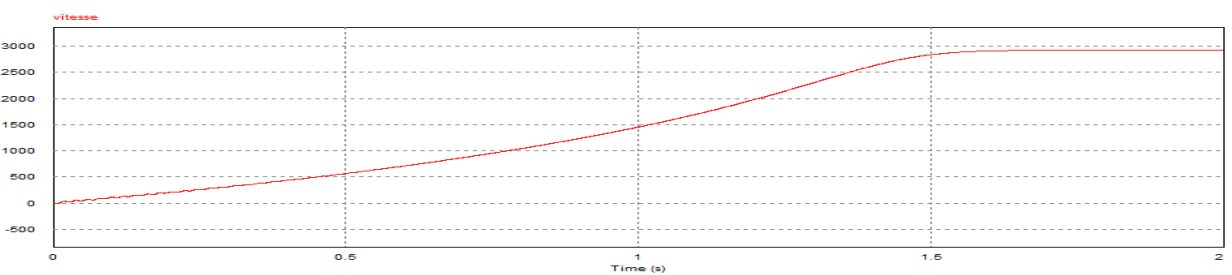


Figure 5.13 : Evolution de la vitesse de la machine

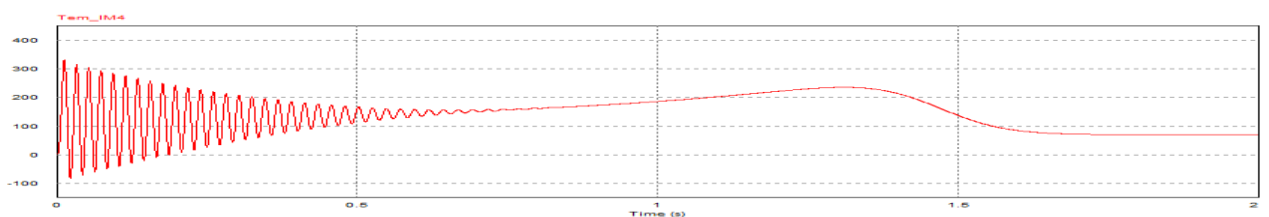


Figure 5.14 : Evolution du couple de la machine

## 5.8 Interprétation

### 5.8.1 La vitesse

Au démarrage et dans un temps étroit, la vitesse présente une oscillation inclinée suivie par un accroissement presque linéaire jusqu'à la valeur de synchronisme, cette variation instantanée dépend de la caractéristique du moteur choisi. En charge on remarque une diminution de la vitesse de rotation

### 5.8.2 Le courant statorique

Au démarrage, le courant prend sa valeur maximale, au moment où le moteur joue un rôle de transformateur. Le courant oscille autour de zéro jusqu'à l'instant où il prend sa valeur permanente (sinusoïdal). En charge on remarque également une augmentation de l'amplitude des courants statoriques

### 5.8.3 Le couple électromagnétique

La croissance de la vitesse au démarrage indique la présence du fort couple électromagnétique (ou plus un couple résistant), ce dernier oscille de manière décroissante jusqu'à la valeur 0.

En charge, Le couple électromagnétique se stabiliser finalement à la valeur du couple de charge

## 5.9 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux à vide

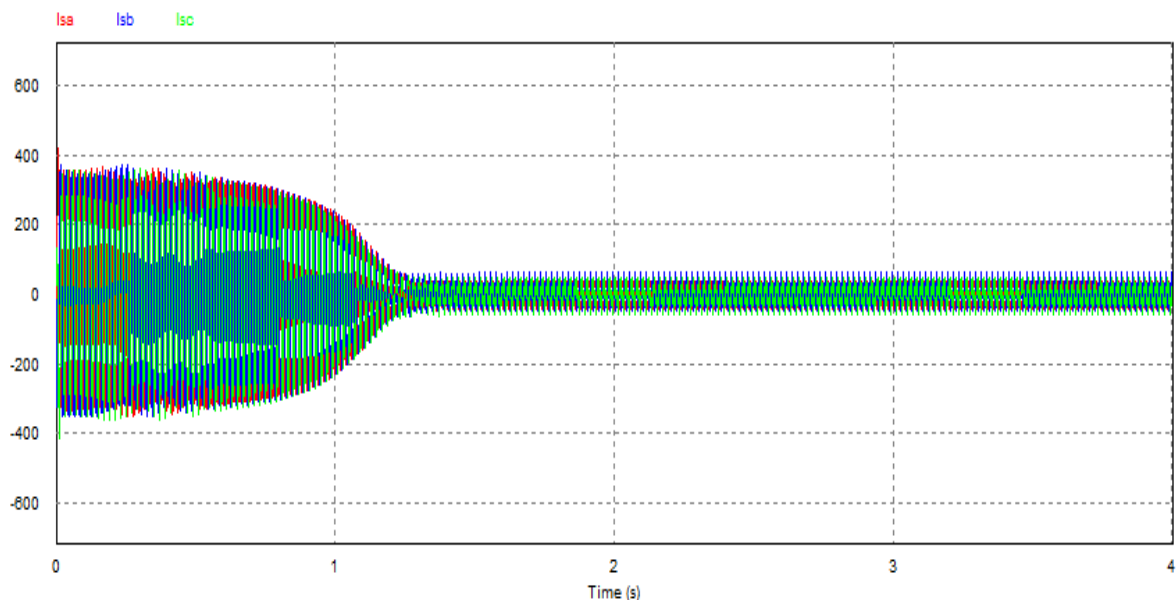


Figure 5.15 : Evolution du courant  $i_s$

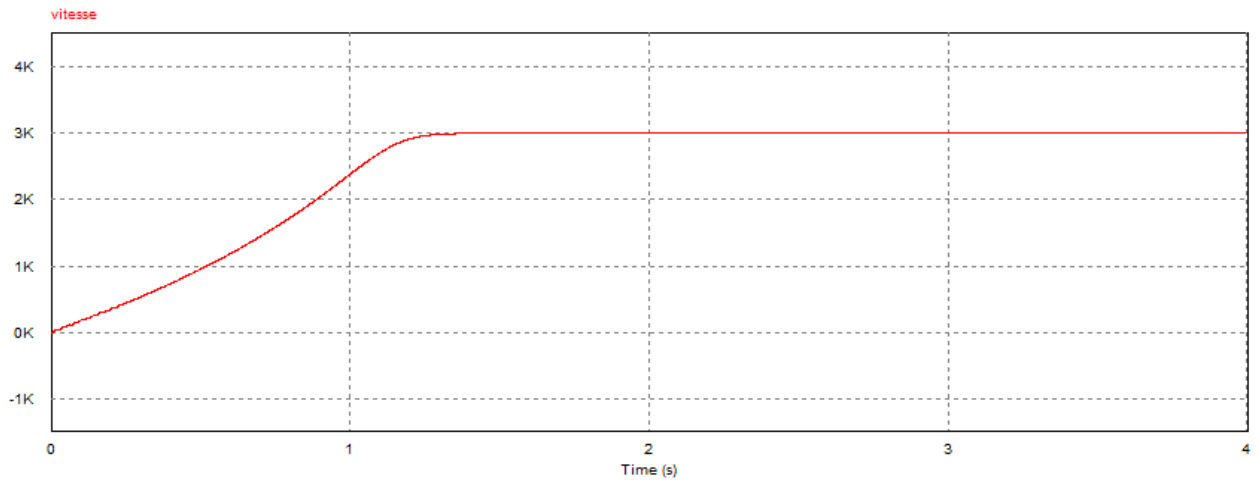


Figure 5.16 : Evolution de la vitesse de rotation de la machine asynchrone

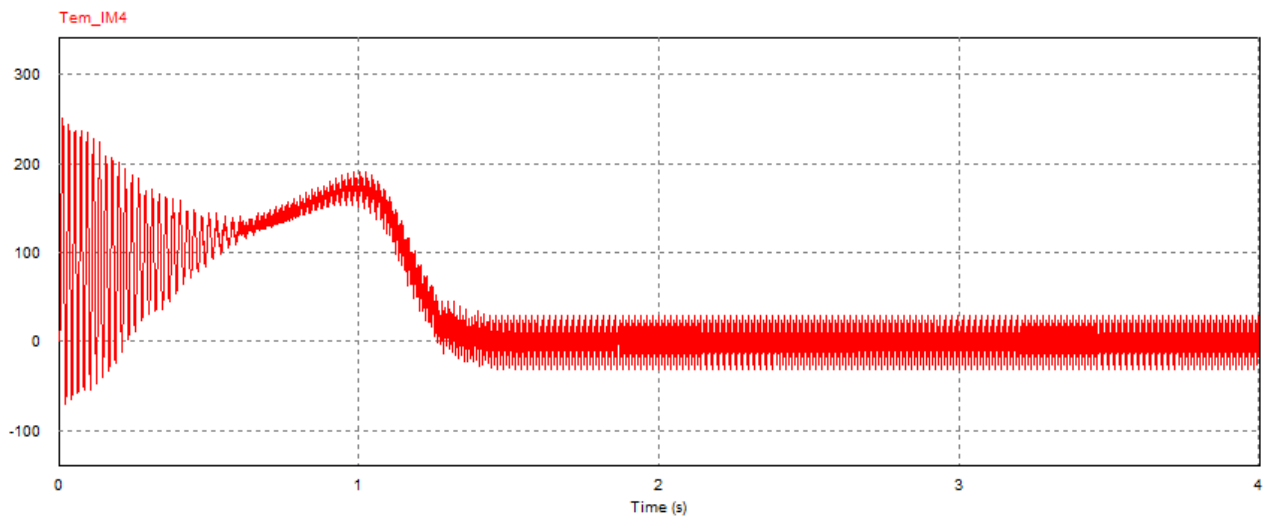


Figure 5.17 : Evolution du couple développé par la machine asynchrone

### 5.10 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux en charge

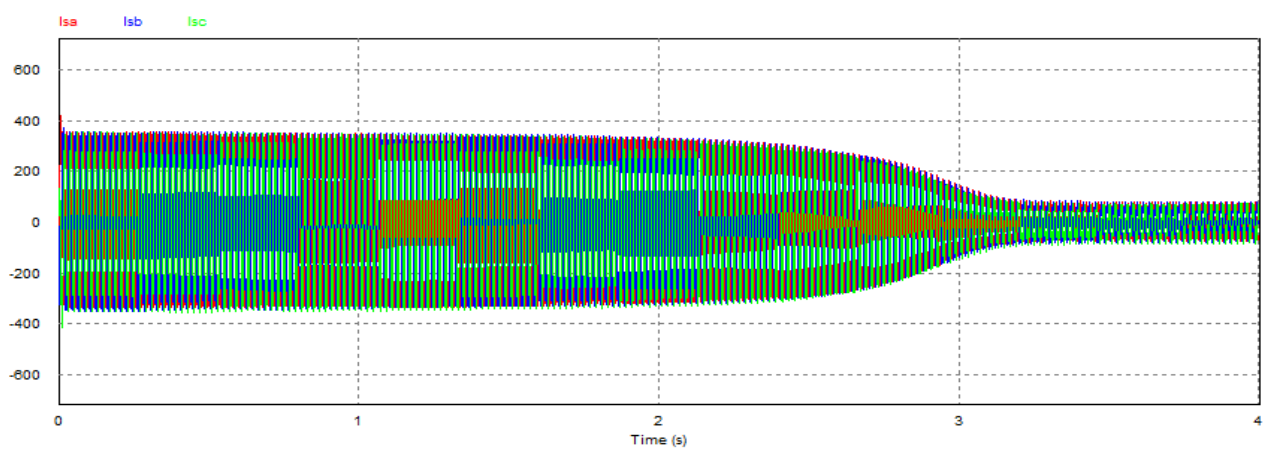


Figure 5.18 : Evolution du courant is

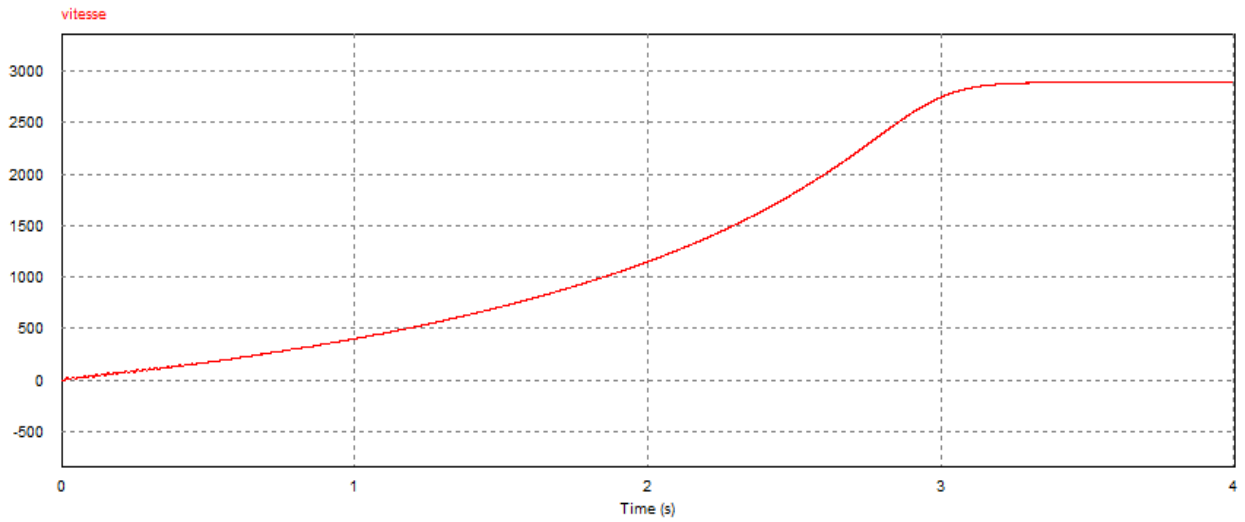


Figure 5.19 : Evolution de la vitesse de rotation

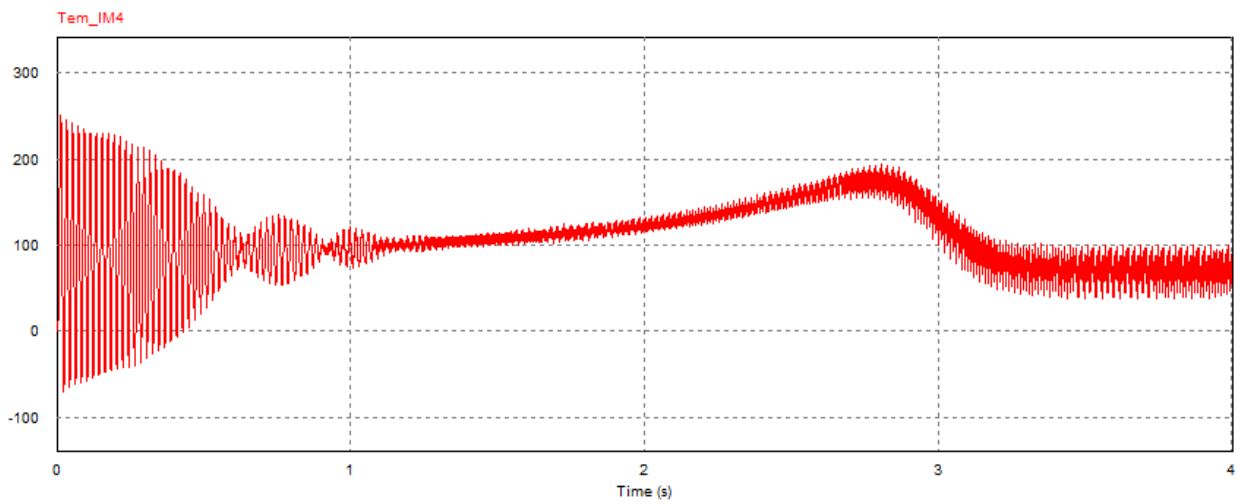


Figure 5.20 : Evolution du couple

### 5.11 Association machine asynchrone-onduleur à deux niveaux

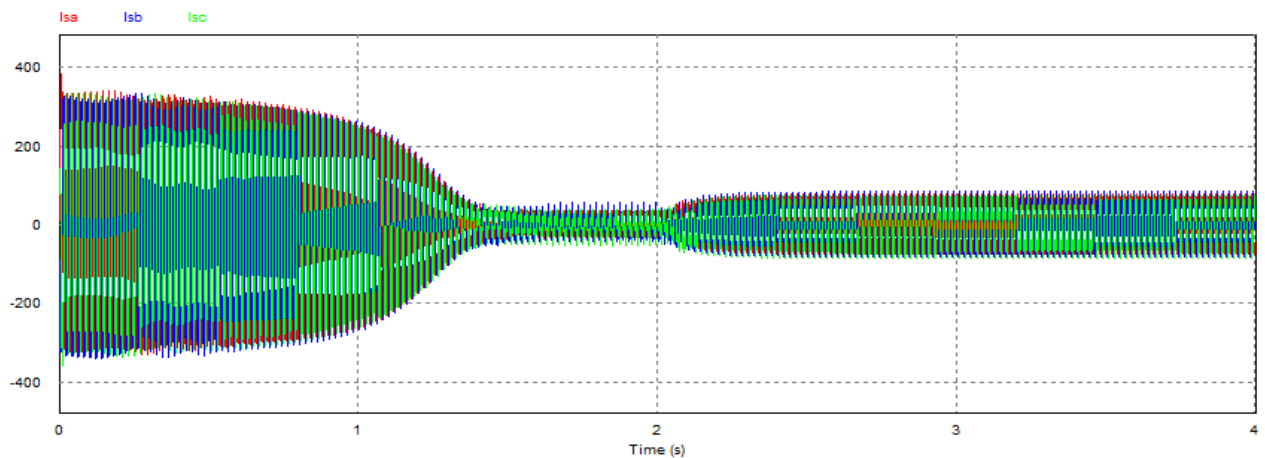


Figure 5.21 Evolution du courant  $i_s$

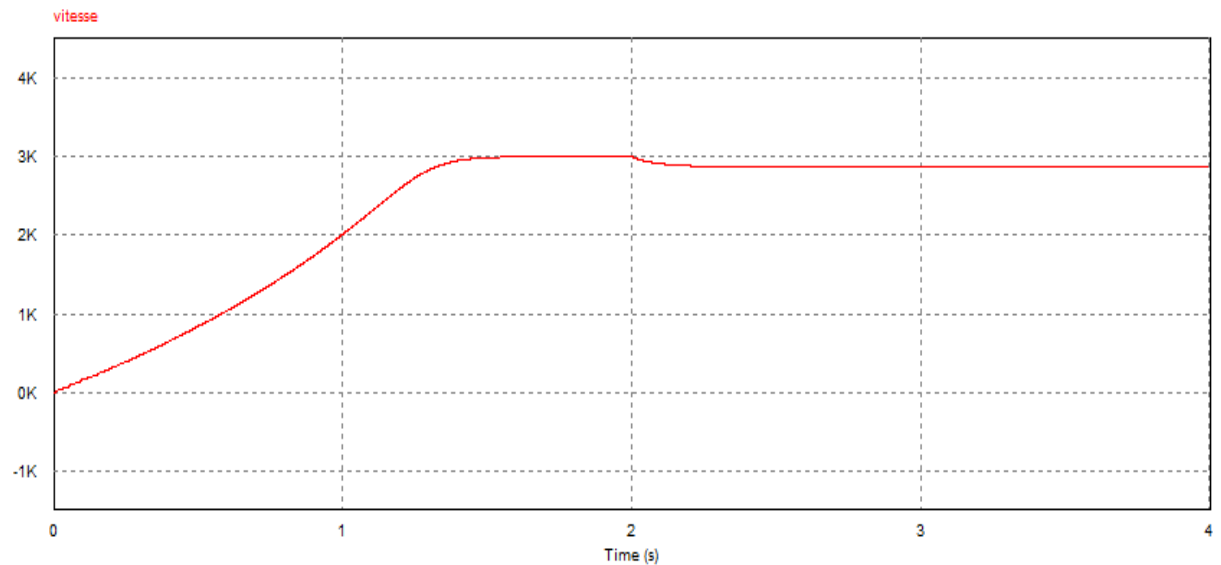


Figure 5.22 Evolution de la vitesse de rotation

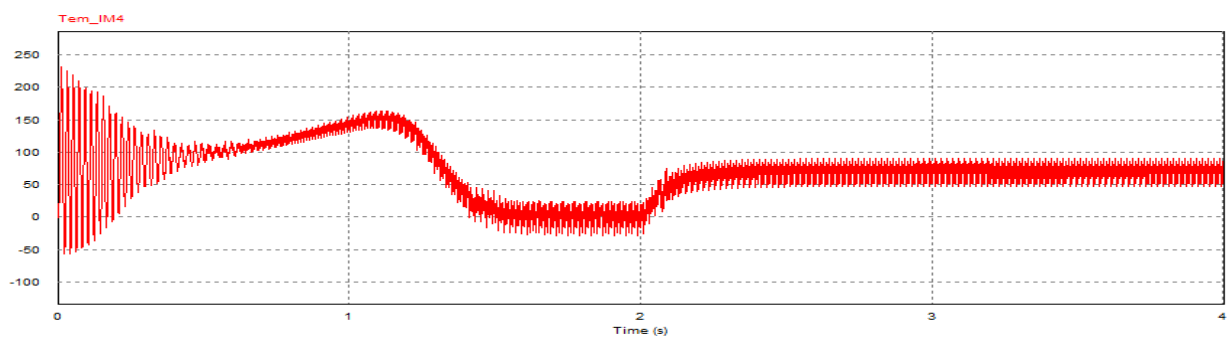


Figure 5.23 Evolution du couple

## 5.12 Interprétation

### 5.12.1 La vitesse

La vitesse atteint sa valeur nominale après un régime transitoire avec une légère ondulation autour de cette valeur. En appliquant un couple de charge de 70 N.m à  $t=2s$  la vitesse diminue à 2872 tr/min

### 5.12.2 Le courant

Lorsqu'on applique une charge (perturbation), on remarque naturellement une demande (augmentation) du courant ce qui implique un échauffement des enroulements du moteur surtout lorsque le couple résistant devient plus grand que celui du nominal



### 5.12.3 Le couple électromagnétique

Cette caractéristique illustre le fort couple électromagnétique aux premiers instants de démarrage presque quatre fois le couple nominale, après un temps de réponse le couple atteint sa valeur nominale, et après le couplage de la charge on observe l'augmentation de couple à cause du couple résistant mais avec quelques ondulations. .

### 5.13 Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons effectué la simulation de cette machine alimentée par une source de tension sinusoïdale triphasée équilibrée. Puis nous avons effectué la simulation de l'association entre l'onduleur (deux niveaux) et la machine asynchrone triphasée.

Cette opération donne presque les mêmes résultats que nous avons obtenus dans la première partie (simulation de la machine alimentée par le réseau).

## Conclusion générale

Le convertisseur de fréquence avec onduleur de tension à M.L.I constitue, avec le moteur asynchrone à cage, une solution d'entraînement offrant de nombreux avantages, ce qui en fait la solution de référence en faibles et moyennes puissances.

Elle offre une grande souplesse de fonctionnement (régulation fine de vitesse, démarrage et arrêt progressifs), de grandes performances dynamiques et se prête naturellement à l'automatisation des processus.

L'installation est simple (le variateur se raccorde électriquement entre le moteur et son alimentation) et le moteur est de construction simple et robuste.

Les performances de commande ont progressé de telle sorte que cette solution technique est désormais plus utilisable pour des applications encore récentes.

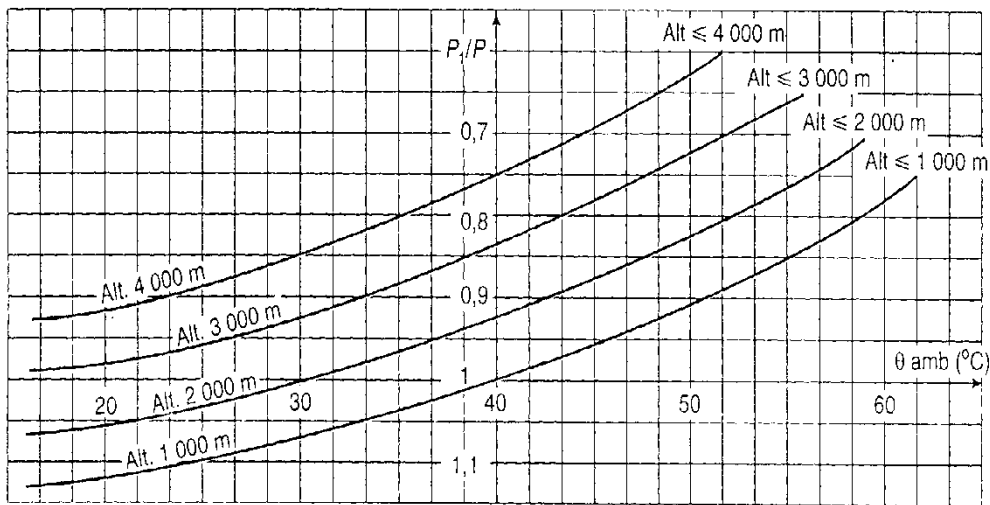
L'application du système que nous avons proposé permet de minimiser les pannes, éviter les interventions de la maintenance préventive et diminuer les frais d'exploitation. On assurera donc un fonctionnement fiable, ce qui conduit à l'augmentation des indices économiques de l'entreprise.

Enfin, notre stage de fin d'étude nous a permis aussi de s'insérer dans le monde industriel de compléter et mettre en applications les connaissances acquises pendant notre cursus scolaire.

- [1] : J.P. Caron, J.P. Hautier : *“Modélisation et Commande de la machine asynchrone”*, Edition Technip, France 1995.
- [2] : Jean. Paul Louis : *“Modélisation des machines électriques en vue de leur commande ”*, Lavoisier, Paris 2004.
- [3] : Damien De Benedittis : *“ étude et modèle électromagnétique de machine asynchrone pour alternateur démarreur ”*, thèse de doctorat en génie électrique, Grenoble, 2002.
- [4] : Sofien Hajji : *“ modélisation, observation et commande de la machine asynchrone”*, thèse de doctorat en automatique robotique, université de CAEN/Basse-Normandie (France), 2009.
- [5] : Docteur kouchih, cours master 1 et master 2 machine électrique, département électronique faculté de science et technologie, 2015/2016, 2016/2017.
- [6] : Jacques schonek yves nebon Cahier Technique Schneider Electric n° 204
- [7] : Daniel CLENET Cahier Technique Schneider Electric n° 208 Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques
- [8] : Mr BENGMAIH : *“ Redressement non commandé ”*, C.P.G.E-TSI-SAFI
- [9] : Yousfi Massinissa et Bouhenaf Zidane : *“ commande directe de couple de la machine synchrone à double étoile ”*, école nationale polytechnique ENP El-Harrach
- [10] : onduleur autonome (chapitre 5 université de Savoie licence EFA module U6 énergie et convertisseur d'énergie)
- [11] : G.SEGUIER. J.BONAL : *“ entraînement électrique a vitesse variable ”*, Edition Tech &doc, 1998.
- [12] : catalogue n° 4850 Leroy somer des moteurs asynchrones triphasés
- [13]: VACON-100-FLOW-BC00491A-brochure-FR
- [14] : Merlin Gerin Section Schneider catalogue distribution électrique 2004
- [15] : Guide de conception des réseaux électriques industriels Schneider électrique
- [16] : Francis Milsant : *“ Machine électriques ”*, tome 1, Ellipses 1990



# Annexe



**Correction de la puissance en fonction de la température et de l'altitude.**

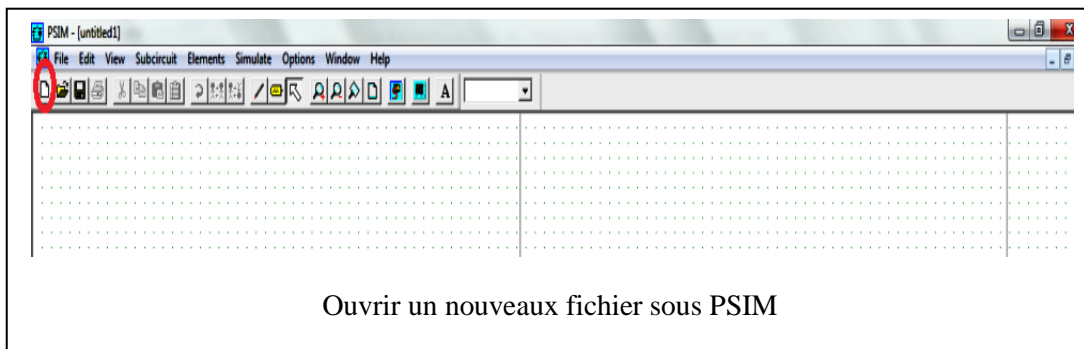
## INITIATION A PSIM :

Comme nous avons vu dans le 5<sup>ème</sup> chapitre le logiciel utilisé pour réaliser ce chapitre est PSIM nous avons donné un aperçu d'utilisation de ce logiciel

Pour illustrer cette initiation, nous choisissons le thème du redressement non commandé.

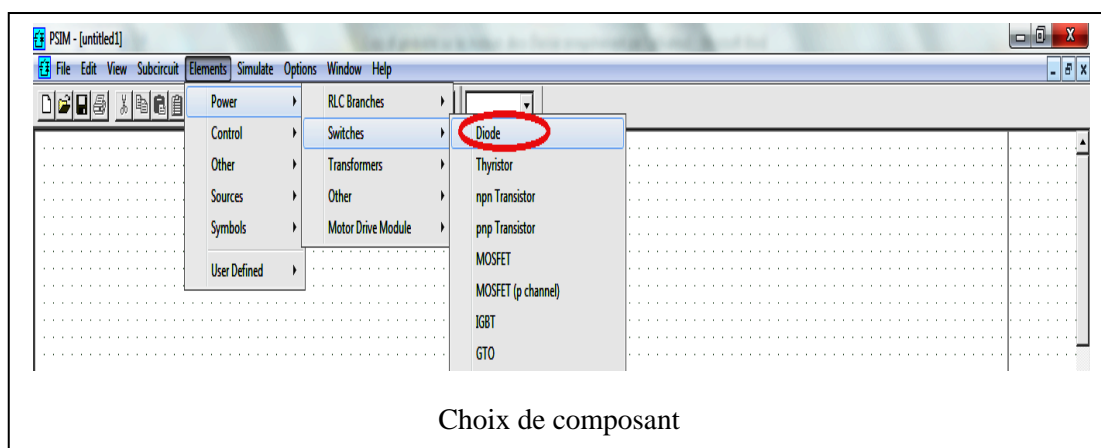
## Saisie de schéma et paramétrage.

Lancer PSIM puis choisir « *file /new* », ou « *ctrl+o* »



Ouvrir un nouveaux fichier sous PSIM

## Choix des composants (par exemple une diode)



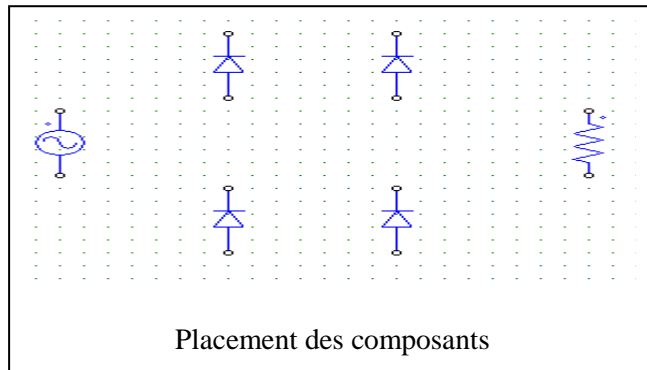
Choix de composant

# Annexe

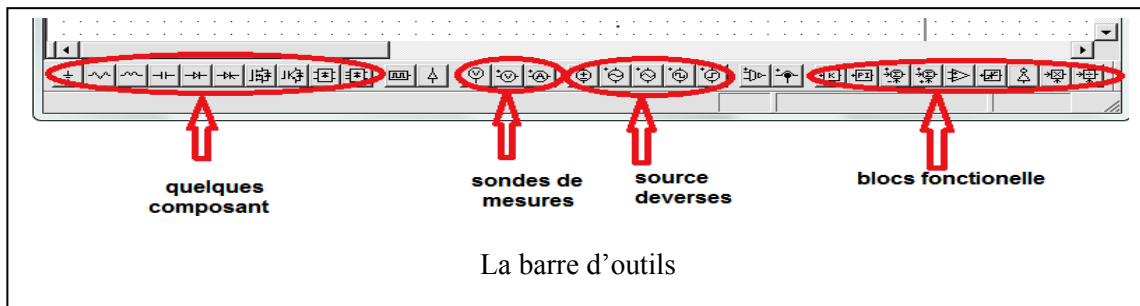
## Placement du composant :

(Rotation de 90° par clic droit ; chaque clic gauche place un composant ; sortie par appui sur

« Echap »)

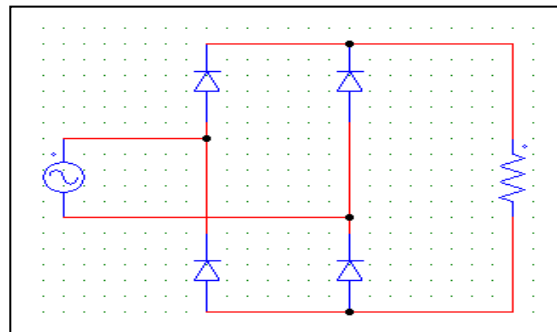
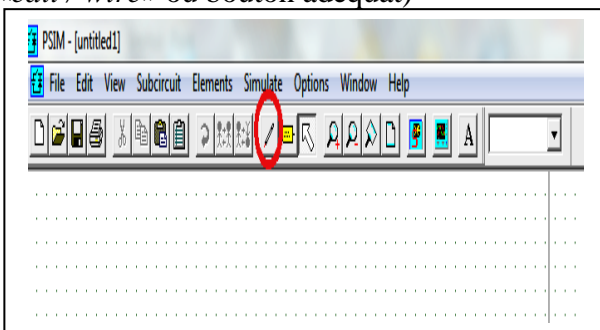


Le générateur sinusoïdal et la résistance peuvent être pris directement sur la barre d'outils du bas de la fenêtre.



## Tracement des liaisons :

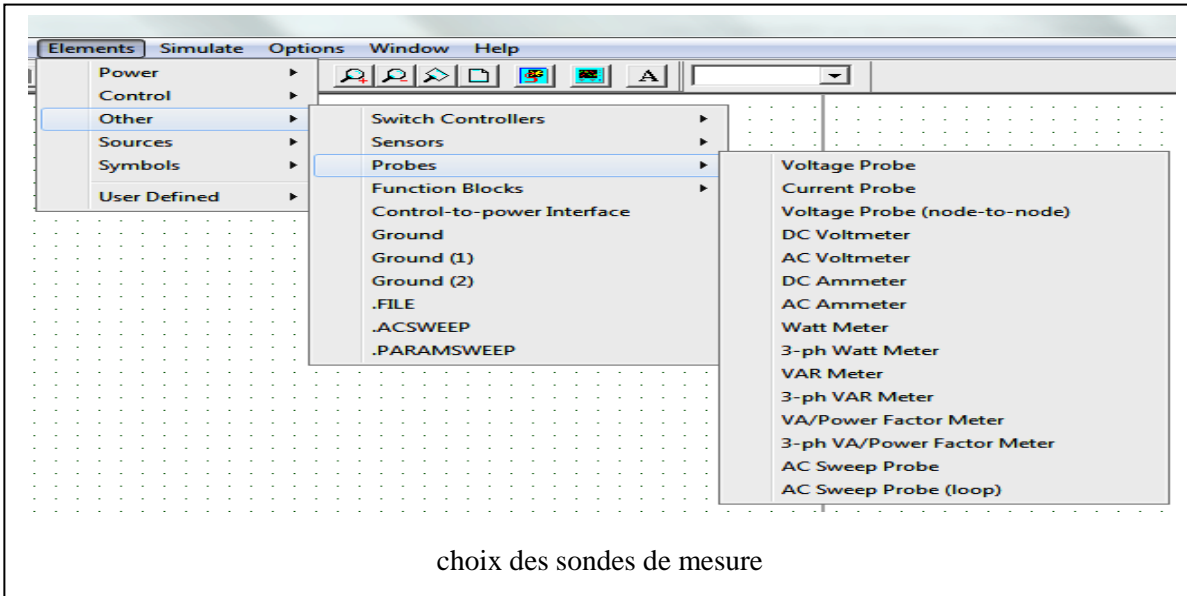
«edit / wire» ou bouton adéquat)



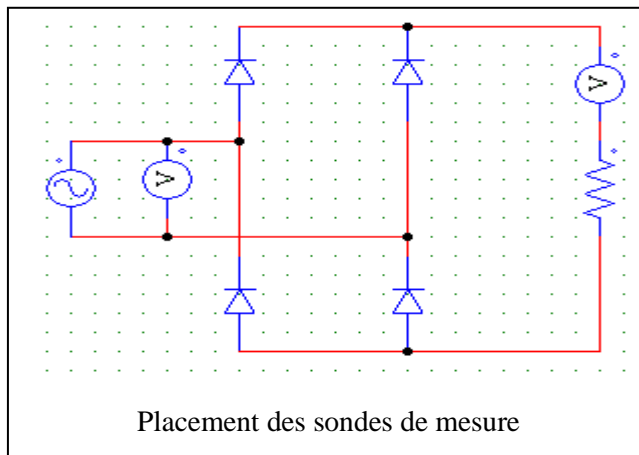
Tracement de liaisons

# Annexe

Placer les sondes de mesure pour les grandeurs que l'on besoinsa d'afficher dans le SIMVIEW

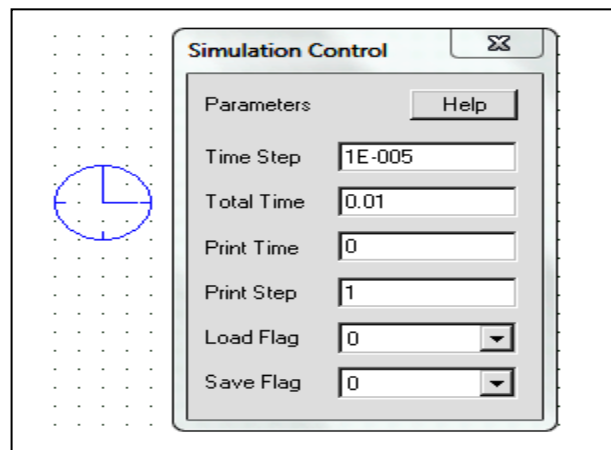
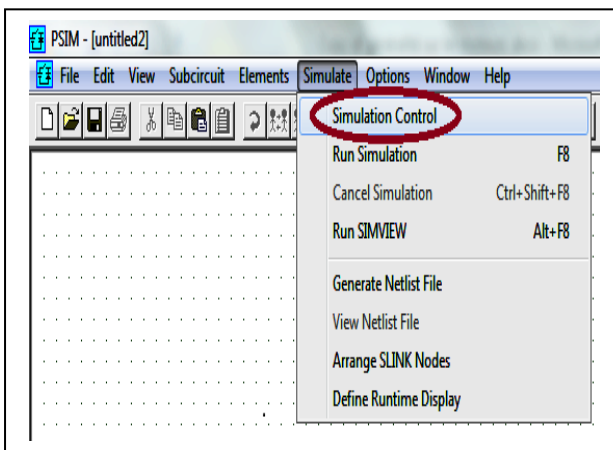


Ou bien les choisir directement en bas de l'écran



## Paramètres de la simulation :

Ouvrir la boîte de dialogue du contrôle de simulation : *«simulate / simulate contrôle»*

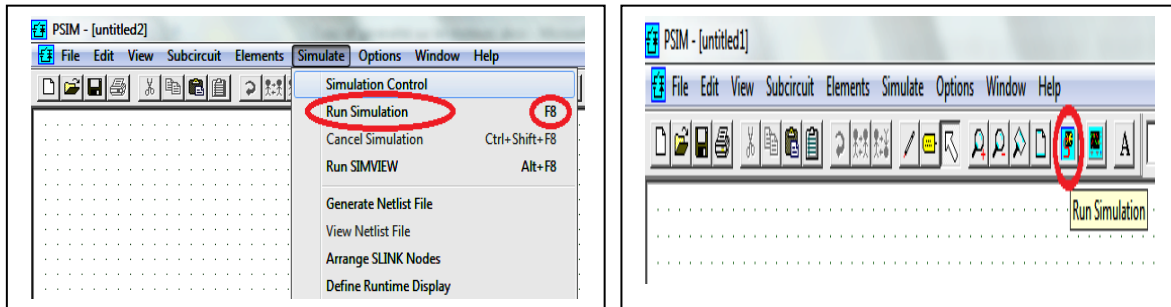


# Annexe

## Choix du temps de simulation

### Lancement de la simulation :

On lance la simulation par «*simulate / run simulation*», ou par appui sur F8, ou par appui sur le Bouton adéquat.



### Lancement de la simulation

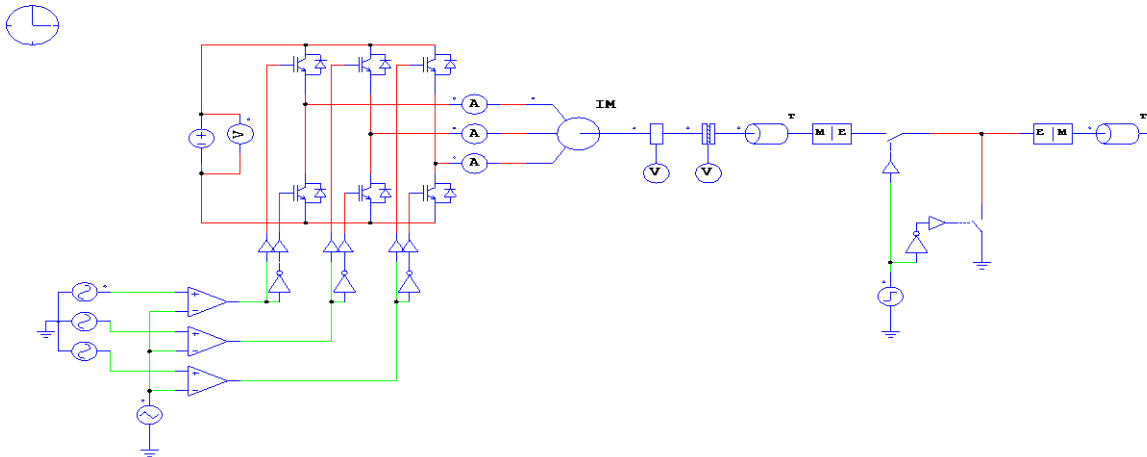


Schéma complet de la simulation de l'onduleur à deux niveaux avec la machine asynchrone

### Paramètre de la machine utilisé :

Tension nominale  $V_n=400V$

Rendement nominale  $\eta=94$

Facteur de puissance nominale  $\cos \phi=0.89$

Vitesse nominale  $N_n=3000tr/min$

Courant nominale  $I_n=222A$

Fréquence  $f=50Hz$

Résistance statorique  $R_s=0.294$



# Annexe

---

Résistance rotorique  $R_r=0.156$

Inductance cyclique stator  $L_s=0.000139\text{mH}$

Inductance cyclique rotor  $L_r=0.000139\text{mH}$

Inductance mutuelle cyclique  $m=0.00393\text{mH}$

Nombre de paire de pole  $P=2$

Moment d'inertie  $T_r=0.48 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

# **Introduction général**

# **Chapitre 1**

## **Présentation de l'entreprise**

# **Chapitre 2**

## **Modélisation de la Machine asynchrone**

# **Chapitre 3**

## **Variateur de vitesse**

# **Chapitre 4**

## **Partie calculs**

# **Chapitre 5**

# **Simulation**

# **Conclusion générale**