

## RAPPORT DE PROJET:

# ETUDE DES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉMARREURS D'UNE MACHINE ASYNCHRONE:



### Réalisé par :

OUBA KANZA  
BAHITE MARIA  
AMARIR AICHA  
LAKRAA ACHRAF

2 CI GEM / MSEI

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2020/2021

## TABLE DE MATIÈRE :

REMERCIEMENTS .....	7
DÉDICACE .....	8
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	9
PARTIE 1: GÉNÉRALITÉS SUR LA MACHINE ASYNCHRONE.....	10
PARTIE 2 :L'ÉTAT DE L'ART DES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉMARRAGES .....	15
<b>I. Introduction</b> .....	15
<b>II. Problème de démarrage</b> .....	15
<b>III. Le choix d'un démarreur</b> .....	16
<b>IV. Les types des démarreurs</b> .....	16
<b>V. Les démarreurs classiques</b> .....	17
1. Démarrage direct .....	17
➤ Principe .....	17
➤ Avantages et inconvénients .....	19
2. Démarrage étoile/triangle .....	19
➤ Principe .....	19
➤ Avantages et inconvénients .....	22
3. Démarrage par élimination des résistances statoriques.....	22
➤ Principe .....	22
➤ Avantages et inconvénients .....	24
4. Démarrage par élimination des résistances rotoriques.....	24
➤ Principe .....	24
➤ Avantages et inconvénients .....	27
5. Démarrage par autotransformateur .....	27
➤ Principe .....	27
➤ Avantages et inconvénients .....	30
<b>VI. Les démarreurs électroniques</b> .....	30
1. Démarreurs progressifs .....	30
➤ Principe .....	30
➤ Avantages et inconvénients .....	32
2. Démarrage par variateur de vitesse .....	33
➤ Principe .....	33

➤ Avantages et inconvénients .....	34
<b>VII. Quelques applications industrielles du moteur asynchrone .....</b>	<b>35</b>
<b>PARTIE 4 : QUELQUE SIMULATIONS DU MOTEUR</b>	
<b>ASYNCHRONE à CAGE D'ÉCUREUIL .....</b>	<b>38</b>
<b>I. Simulation du moteur sous l'environnement SIMULINK/MATLAB .....</b>	<b>38</b>
1- Description des dispositifs à simuler.....	38
2- Les blocks utilisés .....	38
<b>II. Simulation sur PSIM .....</b>	<b>42</b>
1. Présentation du logiciel PSIM .....	42
2. Le réglage des paramètres des dispositifs .....	43
➤ Les paramètres du réseau .....	43
➤ Les paramètres du moteur .....	43
➤ Les paramètres de la charge .....	43
3. La simulation du démarrage direct.....	44
➤ A vide .....	45
➤ En charge.....	47
4. Simulation de variateur de vitesse .....	48
➤ Le redresseur du variateur.....	49
➤ Le filtre du variateur .....	50
➤ La commande MLI .....	50
➤ Le variateur de vitesse entier.....	50
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>53</b>

## LISTE DES FIGURES :

Figure 1: le stator bobiné.....	10
Figure 2: Constitution d'un moteur asynchrone .....	11
Figure 3: Rotor bobiné et Rotor à cage d'écureuil .....	11
Figure 4: Les lignes du champ magnétique en mouvement induisent un courant $I$ dans les conducteurs du rotor. Le courant $I$ circule en boucle dans le rotor .....	12
Figure 5: L'interaction entre le courant induit et le champ magnétique entraine la mise en rotation du rotor .....	13
Figure 6: Schéma de puissance de démarrage direct à un seul sens de marche .....	17
Figure 7: Schéma de commande de démarrage direct à un seul sens de marche .....	18
Figure 8: Schéma fonctionnelle démarrage semi-automatique à un seul sens de marche .....	18
Figure 9: Schéma de puissance de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche.....	20
Figure 10: Schéma de commande de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche.....	21
Figure 11: schéma fonctionnelle de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche .....	21
Figure 12 : Schéma de puissance de démarrage par élimination des résistances statoriques à un seul sens de marche .....	23
Figure 13: Schéma de commande de démarrage par élimination des résistances statoriques à un seul sens de marche .....	23
Figure 14: Schéma fonctionnelle de démarrage par élimination des résistances statoriques	24

Figure 15: Illustrations des trois temps de démarrage par élimination des résistances rotoriques.....	25
Figure 16: Schéma de puissance de démarrage par élimination des résistances rotoriques à un seul sens de marche.....	26
Figure 17: Schéma de commande de démarrage par élimination des résistances rotoriques à un seul sens de marche.....	26
Figure 18: Schéma fonctionnelle du démarrage par élimination des résistances rotoriques.....	27
Figure 19: Schéma de puissance du démarrage par autotransformateur.....	28
Figure 20: Schéma de commande du démarrage par autotransformateur .....	29
Figure 21 : Schéma fonctionnelle du démarrage par autotransformateur .....	29
Figure 22: Schéma de puissance du démarreur progressif .....	31
Figure 23: Schéma de commande du démarreur progressif .....	31
Figure 24: Schéma fonctionnelle du démarreur progressif.....	31
Figure 25: La modulation de largeur d'impulsions.....	33
Figure 26: Schéma fonctionnelle du démarrage par variateur de vitesse .....	34
Figure 27: Schéma représentatif du moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil ....	39
Figure 28: La vitesse de rotation à vide et en charge .....	40
Figure 29: Le couple électromagnétique à vide et en charge .....	41
Figure 30: Le courant statorique à vide et en charge .....	41
Figure 31: Le zoom sur la courbe du courant statorique .....	42
Figure 32: Les paramètres du réseau sur PSIM.....	43
Figure 33: Les paramètres du moteur asynchrone sur PSIM.....	44
Figure 34: Les paramètres de la charge sur PSIM .....	44
Figure 35: Le moteur asynchrone à cage d'écureuil à vide.....	45
Figure 36: La courbe du courant statorique à vide.....	45
Figure 37: La courbe de vitesse de rotation à vide.....	46
Figure 38: La courbe du couple électromagnétique à vide.....	46
Figure 39: Le moteur asynchrone à cage d'écureuil en charge.....	47
Figure 40: La courbe du courant statorique en charge .....	47

Figure 41: La courbe de vitesse de rotation en charge.....	48
Figure 42: Le couple électromagnétique en charge .....	48
Figure 43: Le redresseur du variateur et la courbe visualisant sa sortie.....	49
Figure 44: le filtre au niveau du variateur de vitesse et la courbe visualisant sa sortie.....	49
Figure 45: La porteuse et les signaux de références .....	50
Figure 46: Le variateur de vitesse branché avec le moteur asynchrone triphasé.....	51
Figure 47: La tension à la sortie du variateur de vitesse .....	51
Figure 48: La courbe visualisant le courant statorique .....	52
Figure 49: La courbe de la vitesse de rotation du moteur .....	52
Figure 50 : La courbe du couple électromagnétique.....	52

## LISTE DES TABLES :

Tableau 1: La vitesse de synchronisme correspondante à chaque paire de pôles.....	13
Tableau 2: Avantages et inconvénients du démarrage direct.....	19
Tableau 3: Avantages et inconvénients du démarrage étoile/triangle.....	22
Tableau 4: Avantages et inconvénients du démarrage par élimination des résistances statoriques.....	24
Tableau 5: Avantages et inconvénients du démarrage par élimination des résistances rotorique.....	27
Tableau 6: Avantages et inconvénients du démarrage par autotransformateur.....	30
Tableau 7: Avantages et inconvénients du démarrage progressif.....	32
Tableau 8: Avantages et inconvénients du démarrage par variateur de vitesse.....	34

## REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce projet a été préparé comme alternative de stage d'initiation de l'année universitaire 2019/2020.

On tient tout d'abord à remercier Monsieur le directeur et tout le cadre pédagogique de nous avoir accordé cette opportunité de réalisation du projet vus les contraintes que nous avons rencontrés l'année dernière durant le confinement .

On remercie également toute la cellule pédagogique du département électrique pour leur soutien et leurs orientations.

On présente également nos sincères gratitude et remerciements au chef de département électrique et à notre professeur M.ZEGRARI ainsi qu'à M.EL AFIA

Pour tout ce qu'il nous a appris en électrotechnique et en électronique de puissance en première année en cycle d'ingénieur.

On remercie tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation du primaire au baccalauréat, ceux de cycle préparatoire ainsi que ceux du cycle d'ingénieur.

Merci à tous nos amis et à nos collègues qui nous ont aidé et soutenu durant nos études.

Enfin, on remercie ce travail à nos chères familles qui nous ont soutenu en tout moment. On les remercie intensément.

## DÉDICACE

Avec l'expression de notre reconnaissance et gratitude, on dédie ce travail

À :

Notre famille, elle qui nous a adopté d'une éducation digne, et nous ont soutenu tout au long de nos études et qui nous ont épargné pas de leur amour et leur affection.

Particulièrement à nos pères, qui doit notre vie, notre réussite et tout notre respect.

À nos mères qui ont souffert sans nous laisser souffrir.

À nos chères sœurs et frères qui n'ont pas cessé de nous conseiller ,encourager et soutenir durant nos études .Qu'ALLAH les protège et les offre le bonheur .

À tous nos collègues et nos amis que nous avons connu jusqu'à maintenant.

Merci pour leurs amours et leurs encouragements.



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le moteur asynchrone est largement utilisé dans le domaine de l'industrie, en représentant 80% du parc moteur. Sa fonction est de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique à l'aide des phénomènes électromagnétiques. Sa robustesse et son rapport poids/puissance leur donne une importance économique toute particulière qui fait qu'aucun concepteur d'installation ou de machine, aucun installateur et aucun exploitant ne peut les ignorer.

De plus, bien que son commande des équipements à contacteurs soit parfaitement adaptée pour un grand nombre d'applications et pour remédier au problème du démarrage, l'emploi de matériels électronique en constante progression élargit son champ d'application face au moteur à courant continu.

Le travail présent dans ce manuscrit consiste à aborder les états de l'art des différents démarreurs existant dans le domaine d'industrie et leurs applications.

Donc ce travail est dirigé en quatre parties. La première partie est consacrée à présenter des généralités sur la machine asynchrone dans des paragraphes qui résument sa constitution, son principe de fonctionnement et les différents types des moteurs asynchrones.

La deuxième partie détaille plus particulièrement la technique et les particularités des différents démarreurs (démarreurs classiques/démarreurs électroniques), ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Enfin, les utilisations de la machine asynchrone dans le domaine de l'industrie.

Dans la troisième partie, nous allons simuler le moteur asynchrone à cage d'écureuil sous l'environnement Simulink/Matlab. Ainsi que le démarrage direct et le démarrage par variateur de vitesse sous PSIM.

## PARTIE 1: GÉNÉRALITÉS SUR LA MACHINE ASYNCHRONE

La machine asynchrone, autrement dit la machine à induction, est une machine électrique à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor.

Les moteurs asynchrones triphasés sont les moteurs les plus employés dans l'industrie, cette importance peut être déduite d'une statistique qui indique que plus de 50% de l'énergie produite est transformée en énergie mécanique par les machines asynchrones et on estime que 80% des moteurs de la planète sont des moteurs asynchrones, du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient.

Notamment, on retrouve la machine asynchrone aujourd'hui dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), dans l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. Elle est de plus en plus souvent utilisée en génératrice après que son utilisation était à l'origine une utilisation en mode moteur, et c'est grâce à l'intervention de l'électronique de puissance.

Les moteurs asynchrones sont constitués d'un rotor et d'un stator; sont des composantes principales faites de tôle d'acier au silicium et comportent des encoches assurant l'emplacement des enroulements. Le stator, est la composante fixe comportant  $p$  paires de pôles par phase, produit un champ magnétique tournant, on y trouve les enroulements reliés à la source.



**Figure 1: le stator bobiné.**

Le rotor n'est relié à aucune source d'alimentation, constitué de conducteurs mis en circuit fermé monté sur un axe et libre de tourner, entraîné par un champ tournant, ses enroulements sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence. On trouve dans l'industrie deux types de rotor: '**rotor bobiné**' et '**rotor à cage**'. Les tôles du premier sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant des bobinages. Les trois paires de pôles de l'enroulement sont reliés à trois bagues qui permettent d'accéder au bobinage du rotor ainsi d'insérer un rhéostat dans son circuit, ce dispositif permet de modifier les propriétés électromécaniques du moteur. Ce rotor est aussi nommé rotor à bague. Le deuxième -rotor à cage- est constitué de barres métalliques de cuivre ou d'aluminium identiques inclinées par rapport à l'axe de rotation reliées aux deux extrémités par deux couronnes conductrices. L'ensemble forme donc une cage, appelée « cage d'écureuil ». Ce modèle peu coûteux et très robuste est le plus répandu.

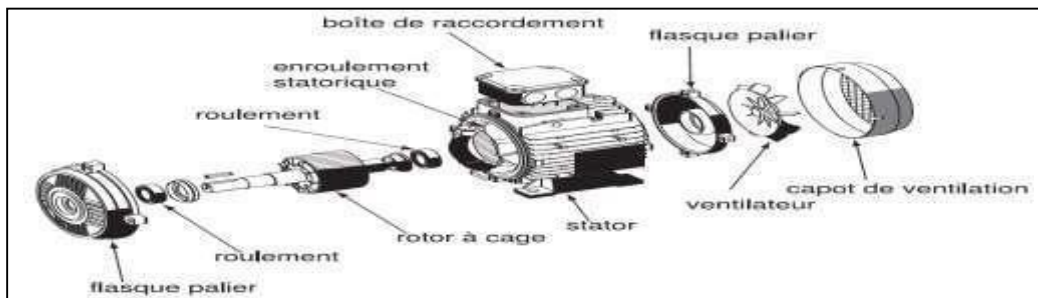


Figure 2: Constitution d'un moteur asynchrone.

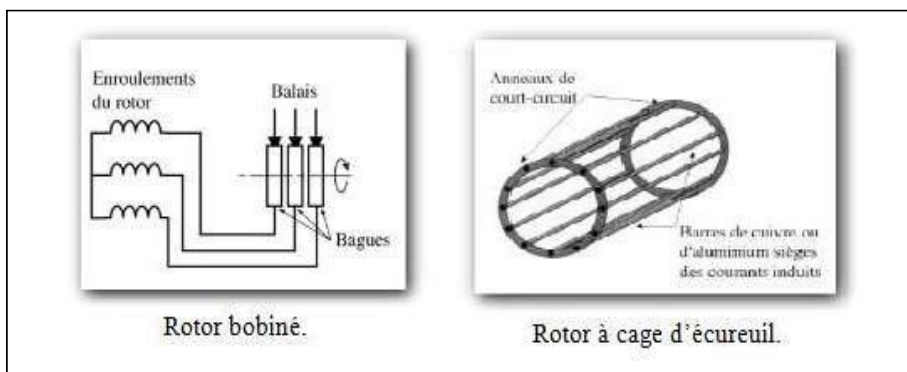


Figure 3: Rotor bobiné et Rotor à cage d'écureuil.

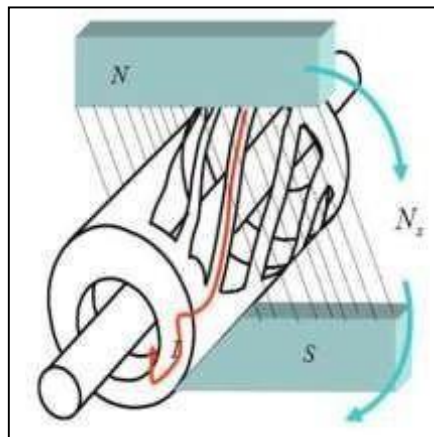
Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone se résume comme suit :

Au moment où l'on ferme l'interrupteur, les enroulements statoriques à  $P$  paires de pôles seront branchés sur un système de tension triphasée équilibrée et se trouvent parcourus par un système de courant également triphasé équilibré de même pulsation électrique appelés les courants statoriques.

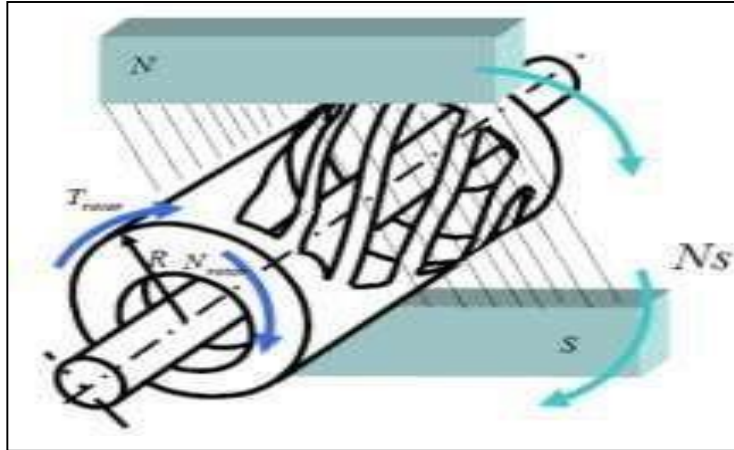
Les courants statoriques donnent naissance à une  $F_{em}$  tournante et par la suite un flux magnétique tournant et créant ainsi un champ magnétique tournant dans le stator avec une fréquence proportionnelle à la fréquence d'alimentation.

L'enroulement du rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique).

Aux bornes de ces enroulements va apparaître un système de  $F_{em}$  induite triphasé équilibré par la loi de Faraday, comme ces enroulements sont fermés sur eux-même, ils seront alors parcourus par un système de courant triphasé équilibré qui vont créer une force de Laplace qui tend à mettre la spire en rotation pour s'opposer à la cause qui leur a donné naissance, d'après la loi de Lenz. Le rotor en court-circuit part ainsi à la "poursuite" du champ magnétique tournant. Nous avons donc deux champs magnétiques tournants (statorique et rotorique) qui donnent naissance au couple électromagnétique de la machine par leur interaction.



**Figure 4:** Les lignes du champ magnétique en mouvement induisent un courant  $I$  dans les conducteurs du rotor. Le courant  $I$  circule en boucle dans le rotor.



**Figure 5: L'interaction entre le courant induit et le champ magnétique entraîne la mise en rotation du rotor.**

La machine asynchrone est caractérisée par la vitesse de synchronisme  $N_s$  qui représente la vitesse du champ tournant statorique, et elle est définie par :

$$N_s = \frac{60f}{p}$$

**$N_s$**  : vitesse de synchronisme en [tr/min].

**$f$**  : fréquence du réseau en [Hz].

**$p$**  : nombre de paires de pôles.

- **Pour un réseau de 50 Hz :**

**Tableau 1: La vitesse de synchronisme correspondante à chaque paire de pôles :**

Paire de pôles	1	2	3	4	6
Nombre de pôles	2	4	6	8	12
$N_s$ [tr/min]	3000	1500	1000	750	500

La machine est dite asynchrone car elle est dans l'impossibilité, sans la présence d'un entraînement extérieur, d'atteindre la même vitesse que le champ statorique. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est à l'origine des courants rotoriques induits et elle est appelée vitesse de glissement. Le glissement est une grandeur fondamentale, sans dimension et définie par :

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s}$$

**g**: glissement [%].

**N<sub>s</sub>**: vitesse de synchronisme [tr/min].

**N**: vitesse de rotation du rotor [tr/min].

N=0	g = 1	<b>démarrage.</b>
N=N <sub>s</sub>	g = 0	<b>synchronisme.</b>
0 < N < N <sub>s</sub>	0 < g < 1	<b>moteur.</b>
N < 0	g > 1	<b>freinage.</b>
N > N <sub>s</sub>	g < 0	<b>génératrice.</b>

Le glissement dépend de la charge mécanique entraînée par le rotor, plus le couple résistant est important, plus le rotor glisse.

## PARTIE 2 : L'ÉTAT DE L'ART DES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉMARRAGES

### **I. Introduction:**

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est important et la section de la ligne d'alimentation est insuffisante, provoquer une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des récepteurs.

Les règlements de quelques secteurs interdisent, au-dessus d'une certaine puissance.

En fonction des caractéristiques du moteur et de la charge, plusieurs méthodes de démarrages sont utilisées. Le choix sera dicté par des impératifs électriques, mécaniques et économiques.

La nature de la charge entraînée aura également une grande incidence sur le mode de démarrage à retenir.

### **II. Problème de démarrage:**

La machine asynchrone triphasée se comporte comme un transformateur au moment de démarrage ; son stator soumis à une tension représente le primaire et le rotor est le secondaire en court-circuit. Le courant de démarrage peut atteindre 4 à 10 fois le courant nominal en pleine charge, cet appel de courant de courte durée ne peut pas être supporté par le moteur sans risque d'échauffement dangereux, provoquant aussi des chutes de tensions excessives, d'où l'importance de réduire le courant de démarrage.

Le branchement du moteur au réseau électrique peut se réaliser par :

**Démarrage direct** : Si le courant de démarrage n'entraîne pas la détérioration des enroulements du moteur ou l'installation accompagnant. Utilisé pour les moteurs faibles puissances.

**Utilisation d'un procédé de démarrage** s'il y a risque de détérioration des enroulements du moteur ou l'installation accompagnant.

### **III. Le choix d'un démarreur :**

➤ Le choix est guidé par des critères économiques et techniques qui sont :

- les caractéristiques mécaniques.
- les performances recherchées.
- la nature du réseau d'alimentation électrique.
- l'utilisation du moteur existant dans le cas d'un rééquipement.
- la politique de maintenance de l'entreprise.
- le coût de l'équipement.

➤ Le choix d'un démarreur sera lié :

- au type d'utilisation : souplesse au démarrage.
- à la nature de la charge à entraîner.
- au type de moteur asynchrone.
- à la puissance de la machine.
- à la puissance de la ligne électrique.
- à la gamme de vitesse requise pour l'application.

### **IV. Les types des démarreurs :**

➤ Les démarreurs classiques :

- Démarrage direct.
- Démarrage étoile-triangle.
- Démarrage par élimination des résistances statoriques.
- Démarrage par élimination des résistances rotoriques.
- Démarrage par autotransformateur.

➤ Les démarreurs électroniques :

- Démarreur progressif électronique.
- Démarreur avec variateur de vitesse.



## V. Les démarreurs classiques :

### 1- Démarrage direct :

#### ➤ Principe :

C'est le mode de démarrage le plus simple qui ne peut être exécuté qu'avec le moteur asynchrone à cage et dans lequel le stator est directement couplé sur le réseau d'alimentation. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles. Le courant de démarrage peut atteindre 4 à 8 fois le courant nominal du moteur. Le couple de démarrage, peut atteindre 1.5 fois le couple nominal.

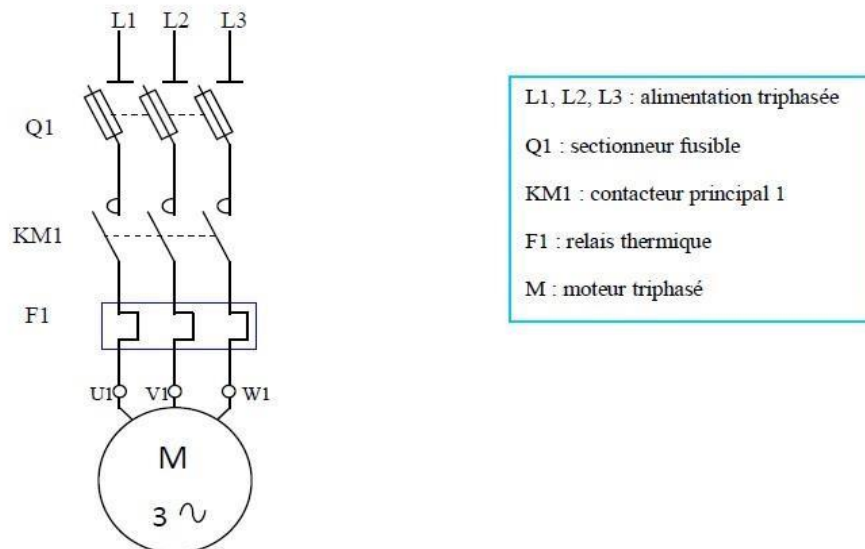


Figure 6: Schéma de puissance de démarrage direct à un seul sens de

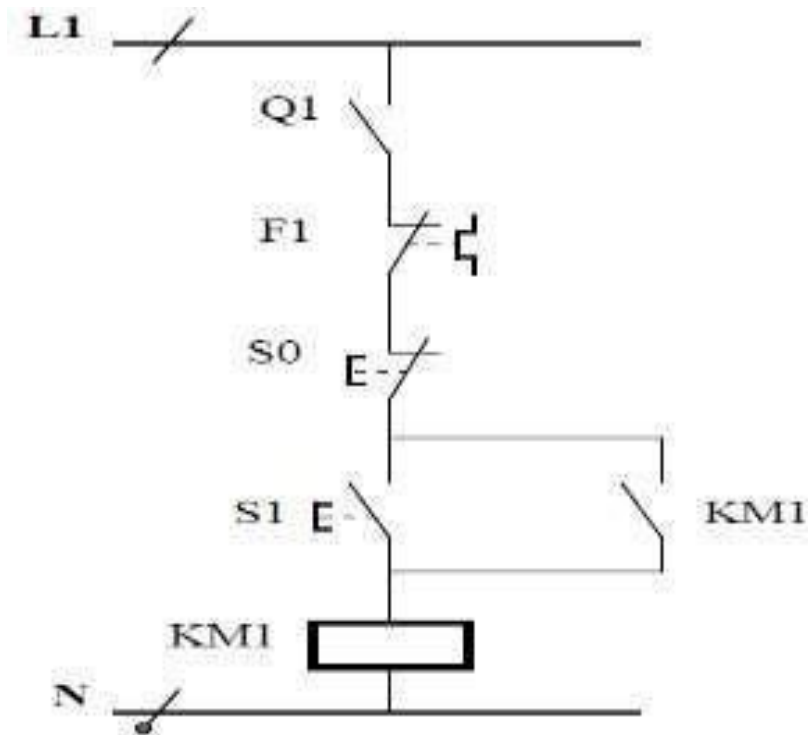


Figure 7: Schéma de commande de démarrage direct à un seul sens de marche.

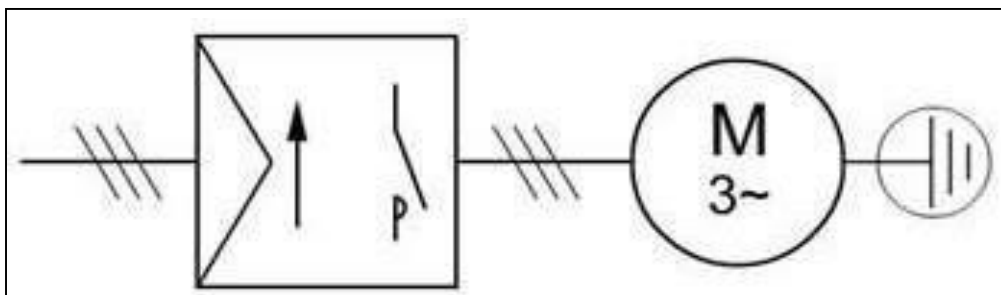


Figure 8: Schéma fonctionnelle démarrage semi-automatique à un seul sens de marche.

## ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 2: Avantages et inconvénients du démarrage direct :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Installation très simple.</li> <li>-Démarrage simple.</li> <li>-Couple de démarrage important.</li> <li>-Prix faible.</li> <li>-Temps de démarrage court.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pointe de courant très important.</li> <li>-S'assurer que le réseau admet cette pointe.</li> <li>-Démarrage brutal.</li> <li>-Il ne permet pas un démarrage doux et progressif.</li> <li>-Dans le démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé, le couplage des enroulements doit être en étoile ou en triangle selon les caractéristiques du moteur et le réseau d'alimentation.</li> </ul>

## 2. Démarrage étoile/triangle:

### ➤ Principe :

Ce mode de démarrage ne s'applique qu'au moteur à plaques à bornes complète et sur lequel les deux extrémités de chacun des trois enroulements statoriques sont ramenées sur la plaque à bornes. Par ailleurs ce mode impose que le couplage triangle soit correspond à la tension du réseau, donc le bobinage doit être réalisé de telle sorte que le couplage triangle corresponde à la tension du réseau. Donc il n'est possible que pour les moteurs asynchrones triphasés destinés à fournir leur puissance nominale sous la tension du réseau, lorsque ses enroulements sont couplés en triangle.

Il consiste à effectuer le démarrage en deux temps :

- ✚ **1er temps** : chaque enroulement du stator est alimenté sous une tension réduite en utilisant le couplage étoile. Il est le temps nécessaire pour que la vitesse du moteur atteigne environ 80% de sa vitesse nominale.

✚ **2ème temps:** rétablir le couplage en triangle, ce qui revient à diviser la tension nominale du moteur en étoile par  $\sqrt{3}$  donc chaque enroulement du stator est alimenté par sa tension nominale.

La pointe de courant de démarrage est réduite de 3 fois, le courant de démarrage vaut 1,5 à 2,6 le courant nominal, ainsi que le couple de démarrage vaut 0,2 à 0,5 le couple nominal.

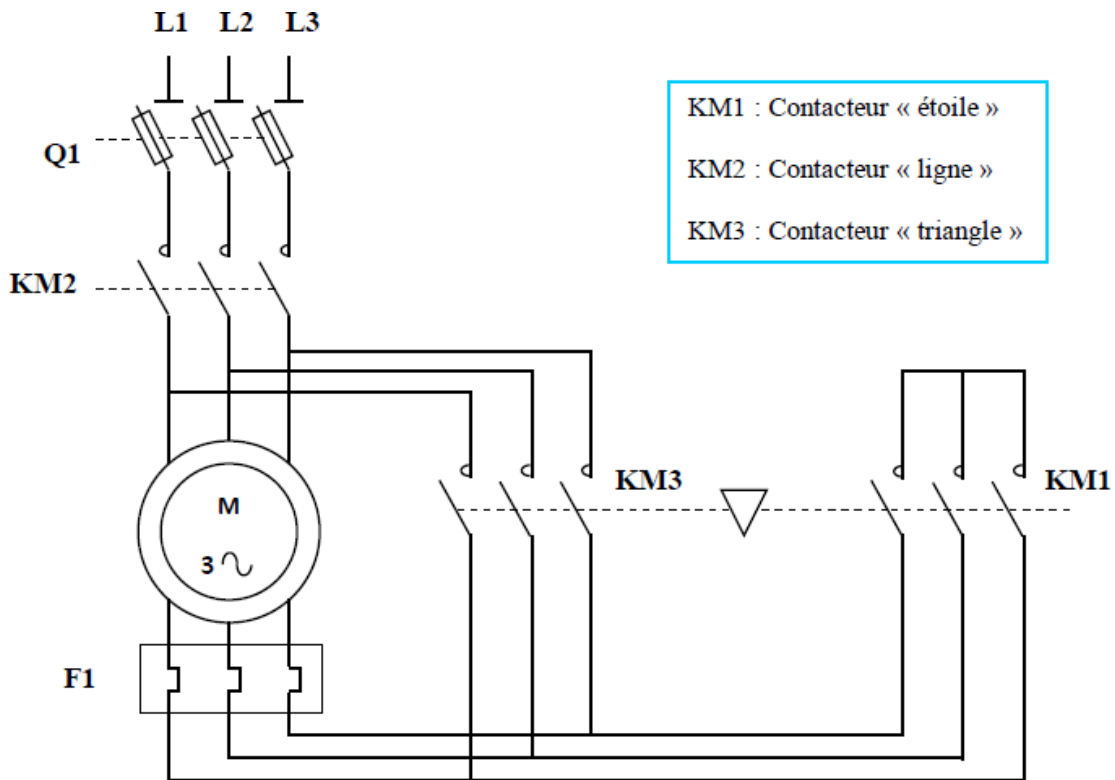


Figure 9: Schéma de puissance de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche.

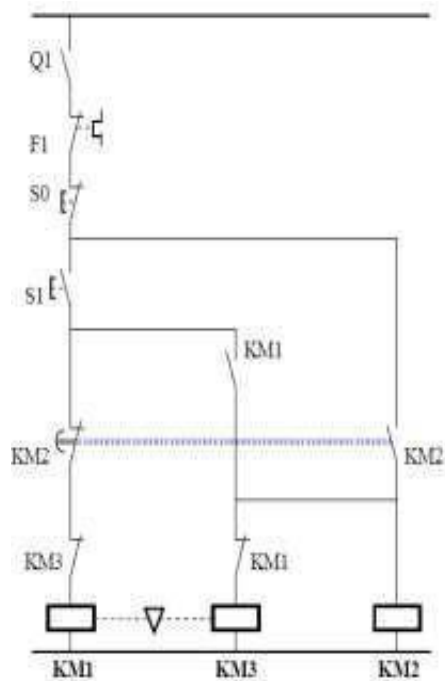


Figure 10: Schéma de commande de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche.

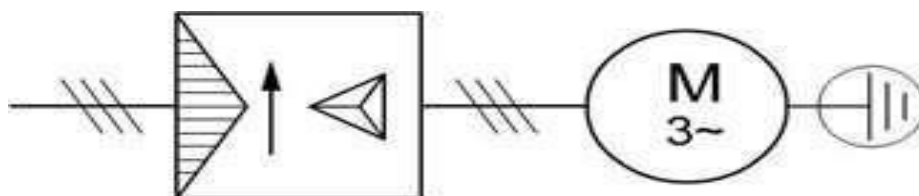


Figure 11: schéma fonctionnelle de démarrage étoile/triangle à un seul sens de marche.

## ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 3: Avantages et inconvénients du démarrage étoile/triangle :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Réduction du courant de démarrage.</li> <li>-Faible complication d'appareillage.</li> <li>-Bon rapport couple/courant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Couple très réduit.</li> <li>-Coupure d'alimentation lors du passage étoile-triangle.</li> <li>-Temps de démarrage plus élevé.</li> <li>-Phénomènes transitoires.</li> <li>-Condamnation électrique entre KM1 et KM3. Le temporisateur est muni d'un contact décalé d'environ 3 (s) ; ceci évitera un court-circuit éventuel lors de communication étoile-triangle.</li> </ul>

### 3. Démarrage par élimination des résistances statoriques:

#### ➤ Principe :

Le principe consiste à alimenter le moteur sous tension réduite en insérant des résistances en série avec les enroulements statoriques qui sont éliminées lorsque la vitesse se stabilise c'est-à-dire à la fin de démarrage et le moteur est couplé directement au réseau. Cette opération est généralement commandée par un temporisateur. Pendant le démarrage la tension aux bornes du moteur est réduite par rapport à la tension du réseau cette tension augmente au fur et mesure que la chute de tension aux bornes de la résistance insérée diminue cette résistance est calculée en fonction de la pointe de courant à ne pas dépasser ou la valeur minimale du couple de démarrage nécessaire. En générale, le courant de démarrage vaut 4.5 le courant nominal et le couple de démarrage vaut 0.75 le couple nominal.

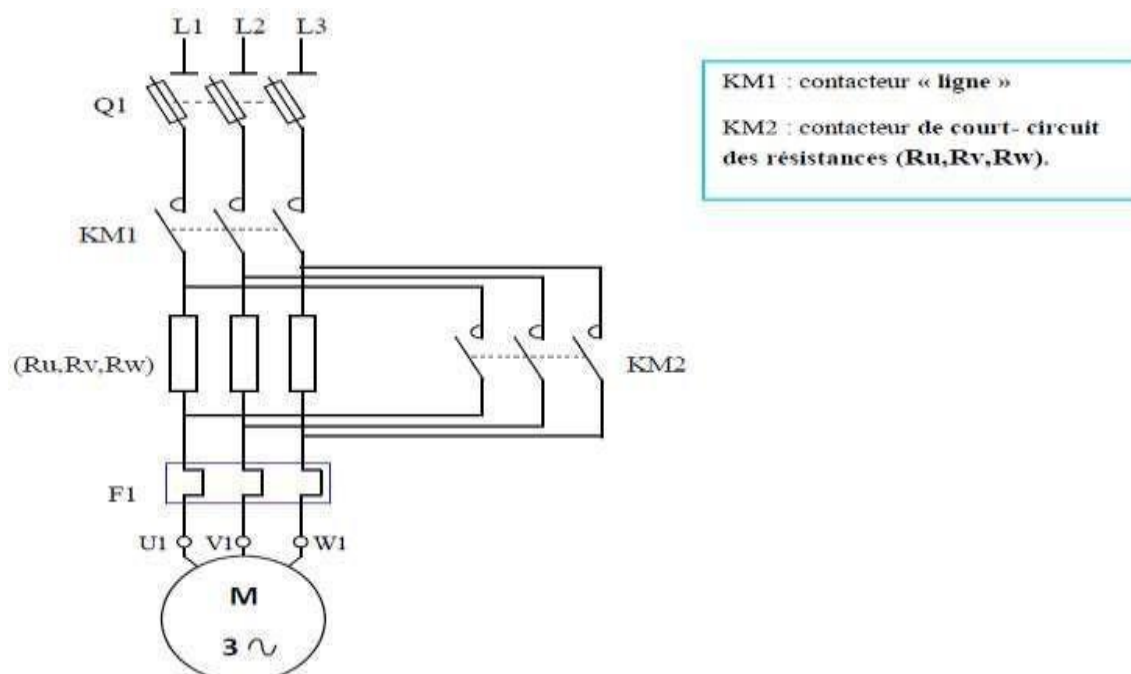


Figure 12 : Schéma de puissance de démarrage par élimination des résistances statoriques à un seul sens de marche.

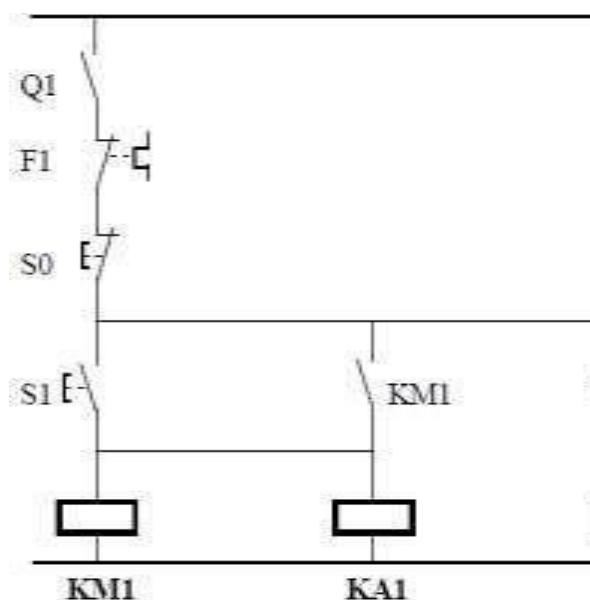


Figure 13: Schéma de commande de démarrage par élimination des résistances statoriques à un seul sens de marche.

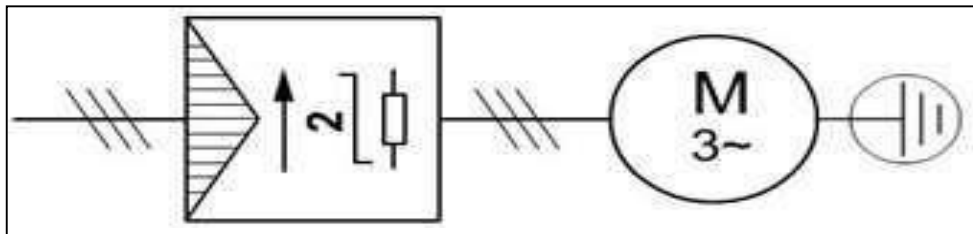


Figure 14: Schéma fonctionnel de démarrage par élimination des résistances statoriques.

### ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 4: Avantages et inconvénients du démarrage par élimination des résistances statoriques

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.</li> <li>-Forte réduction des pointes de courant transitoires (à ne pas confondre avec courant de démarrage).</li> <li>-Possibilité de réglage des valeurs au démarrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Faible réduction de la pointe au démarrage.</li> <li>-Nécessite des résistances.</li> <li>-Une chute de tension importante aux bornes du moteur et par conséquent diminution du couple de démarrage</li> <li>-Perte de puissance dans les résistances.</li> </ul>

## 4. Démarrage par élimination des résistances rotoriques:

### ➤ Principe :

Dans le cas des moteurs asynchrones à rotor bobiné dont les enroulements sont couplés en étoile, et les trois sorties sont soudés à des bagues fixées sur l'arbre du moteur le démarrage peut s'effectuer en insérant des résistances sur ces sorties en série avec le bobinage rotorique à l'aide de balais frotteurs, tout en alimentant le stator sous la pleine tension de réseau éliminer les résistances rotoriques en plusieurs temps.



- ✚ **1er temps** : On insère la totalité des résistances dans les enroulements du rotor.
- ✚ **2ème temps** : On diminue la résistance du circuit rotor en éliminant une partie des résistances insérées.
- ✚ **3ème temps** : On élimine toutes les résistances rotoriques en court-circuitant les enroulements du rotor

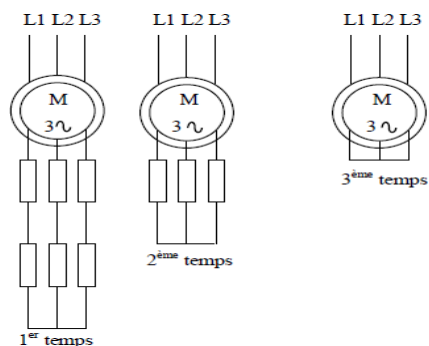


Figure 15: Illustrations des trois temps de démarrage par élimination des résistances rotoriques.

Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou très peu Supérieur. On obtient fréquemment des couples de démarrage égaux à 2,5 fois le couple nominal sans surintensité excessive. On peut encore réduire la surintensité en augmentant le nombre de démarrage (le couple de démarrage inférieur à 2,5 le couple nominal  $C_d < 2,5C_n$ ).

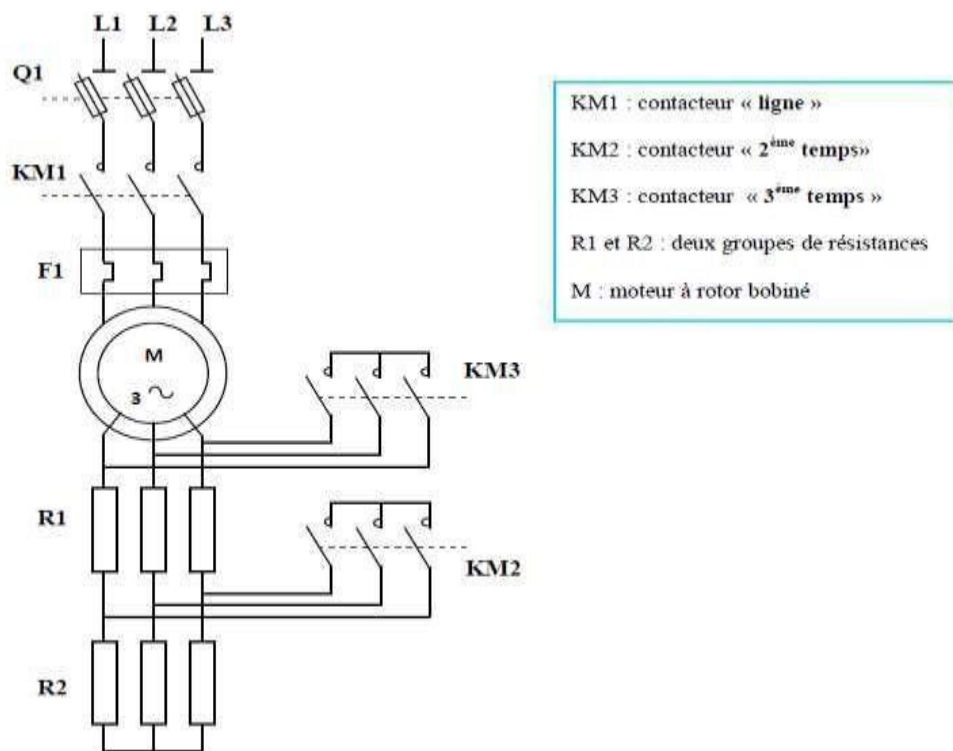


Figure 16: Schéma de puissance de démarrage par élimination des résistances rotoriques à un seul sens de marche.

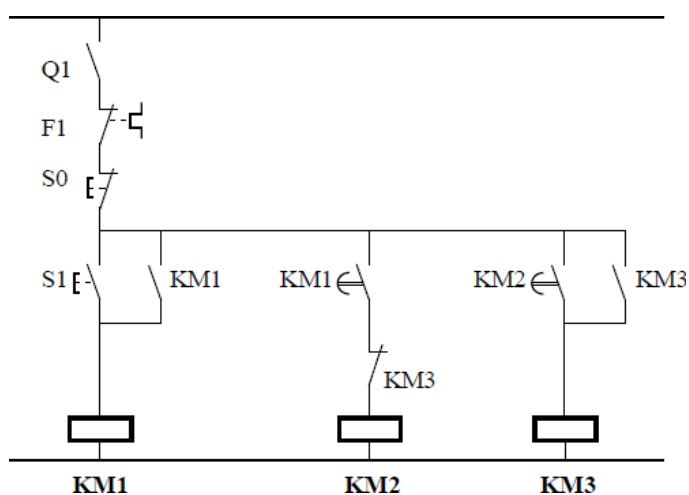


Figure 17: Schéma de commande de démarrage par élimination des résistances rotoriques à un seul sens de marche.

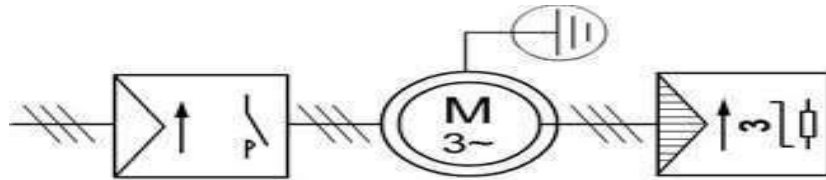


Figure 18: Schéma fonctionnel du démarrage par élimination des résistances rotoriques.

### ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 5: Avantages et inconvénients du démarrage par élimination des résistances rotoriques:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-L'appel de courant est pour un couple de démarrage donné le plus faible par rapport tous les autres modes de démarrage.</li> <li>-Possibilité de choisir par construction, couple et le nombre de temps de démarrage.</li> <li>-Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Moteur onéreux et moins robuste.</li> <li>-Nécessite des résistances et des moteurs à rotor bobiné.</li> </ul>

## 5. Démarrage par autotransformateur:

### ➤ Principe :

Ce mode de démarrage est généralement utilisé pour les moteurs asynchrones triphasés de puissance supérieure à 100 KW. Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur. Ce dernier est alimenté par la tension du réseau au primaire, l'autotransformateur est mis hors tension à la fin du démarrage. Cette opération s'effectue en trois temps :

- ✚ **1er temps:** L'autotransformateur est d'abord couplé en étoile, puis le moteur est couplé au réseau à travers ses enroulements. Le démarrage est réalisé sous une tension réduite qui est fonction du rapport de transformation. L'autotransformateur est choisi de façon à ce que la tension réduite soit la mieux adaptée (suffisante pour démarrer le moteur).
- ✚ **2ème temps:** Avant de passer au couplage plein charge, le couplage en étoile est ouvert. La fraction de bobinage constitue une inductance en série avec le moteur.
- ✚ **3ème temps:** Le couplage plein tension intervient après le deuxième temps, généralement très court (fraction de seconde). Les inductances en série avec le moteur sont court-circuitées ; puis l'autotransformateur est mis hors circuit.

Le courant et le couple de démarrage varient dans la même proportion, ces derniers sont divisés par  $(U_n/U_r)^2$ .

$U_n$  : la tension de réseau

$U_r$  : la tension réduite

Le courant de démarrage vaut 1,7 à 4 fois le courant nominal et le couple de démarrage vaut 0,5 à 0,85 fois le couple nominal.

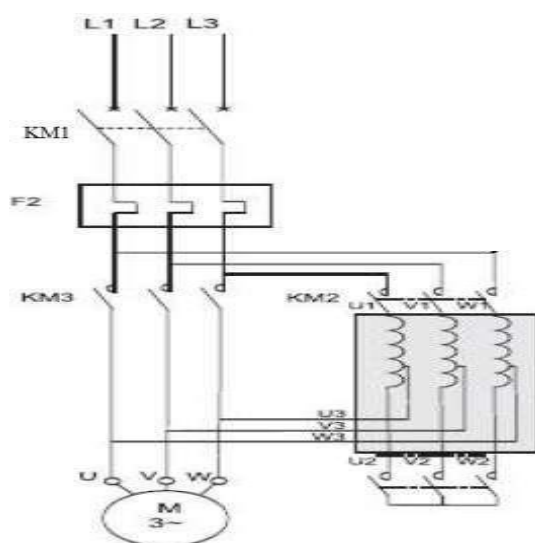


Figure 19: Schéma de puissance du démarrage par autotransformateur.

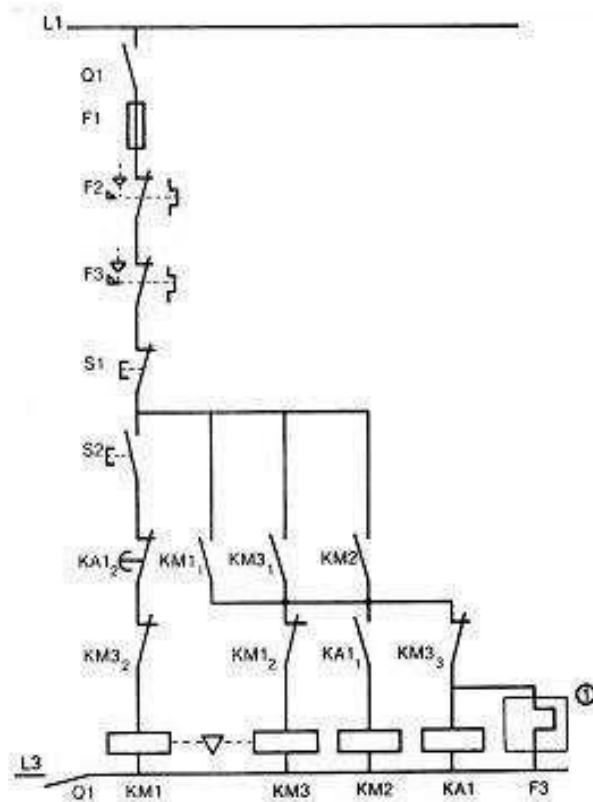


Figure 20: Schéma de commande du démarrage par autotransformateur.

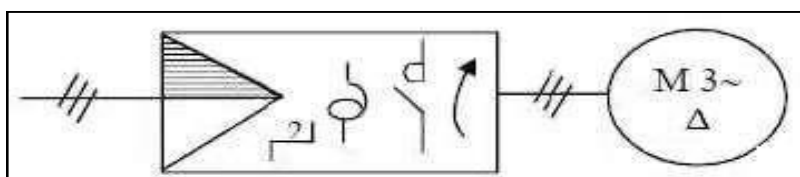


Figure 21 : Schéma fonctionnelle du démarrage par autotransformateur.

### ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 6: Avantages et inconvénients du démarrage par autotransformateur:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Possibilité de choisir le couple de décollage</li> <li>-Réduction de l'appel du courant.</li> <li>-Démarrage en 3 temps sans coupure.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prix d'achat élevé de l'équipement.</li> <li>-Présente des risques sur le réseau perturbés.</li> </ul>

## VI. Les démarreurs électroniques :

### 1. Démarreurs progressifs :

#### ➤ Principe :

Le démarreur progressif est un appareil de commande électronique pour un démarrage progressif des moteurs asynchrones triphasés, il est composé d'un gradateur dont les thyristors servent à augmenter les intensités constamment sous une commande en angle de phase. Les enroulements du stator sont alimentés progressivement par la tension du réseau. Cette variation de tension statorique est due à la variation continue de l'angle de retard à l'amorçage des thyristors du gradateur. La pente du signal est réglée en forme de 'rampe' grâce à la consigne de démarrage étalonnée en secondes.

Après le démarrage le thyristor devient en pleine conduction, c'est-à-dire que le moteur est sous la tension nominale, et le réglage de la pente pour une charge donnée permet de varier le temps de mise en vitesse progressive de l'association moteur charge en variant la durée du démarrage.

Pendant la décélération, un phénomène inverse de celui pendant l'accélération se produit lors d'un arrêt progressif contrôlé qui a pour fonction de prolonger la durée naturelle de cette décélération du moteur et éviter ainsi son arrêt brutal. La consigne de décélération permet de faire évoluer l'angle  $\alpha$  des thyristors de  $0^\circ$  à  $180^\circ$  donc la tension du moteur de la tension nominale à 0.

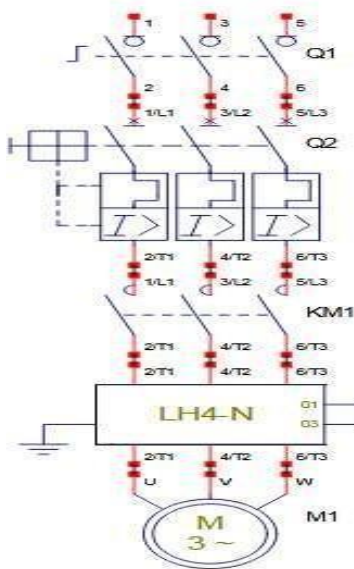


Figure 22: Schéma de puissance du démarreur progressif

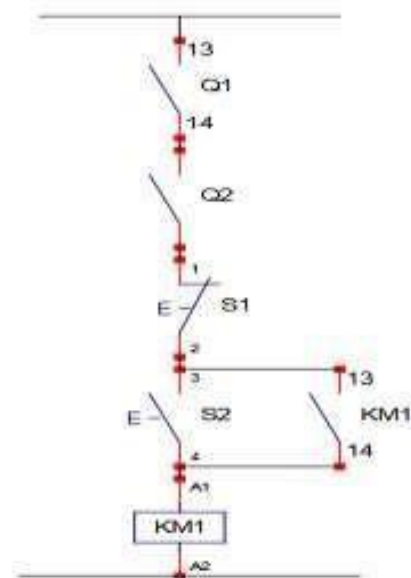


Figure 23: Schéma de commande du démarreur progressif.

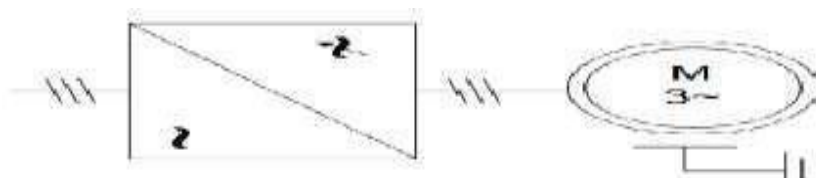


Figure 24: Schéma fonctionnelle du démarreur progressif.

➤ **Avantages et inconvénients :**

**Tableau 7: Avantages et inconvénients du démarrage progressif:**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-La maîtrise des caractéristiques de fonctionnement.-</li> <li>-La protection thermique du moteur et du démarreur.-</li> <li>- Réduction des pointes de courant et diminution des chutes de tension en ligne.-</li> <li>- Démarrer progressivement les machines.-</li> <li>- Il permet décélération progressive.</li> <li>- Réduction des couples au démarrage pour protéger la mécanique.</li> <li>- Peu encombrant.-</li> <li>- Du point de vue économique, ce mode de démarrage satisfaisant car son rendement est excellent.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Génère les perturbations.-</li> <li>- Ce procédé est utilisé que pour l'entraînement de machines démarrant à vide.</li> <li>-Utiliser des capteurs.</li> </ul>



## 2. Démarrage par variateur de vitesse :

### ➤ Principe :

Le réseau alimente le démarreur par variateur de vitesse (un convertisseur de fréquence) par une tension et fréquence fixes, ce convertisseur assure lui-même l'alimentation du moteur en courant alternatif à tension et fréquence variables, en fonction des exigences de vitesse. L'évolution de la vitesse et la tension simultanément dans les mêmes proportions est nécessaire pour que le flux soit maintenu constant afin d'assurer une alimentation convenable du moteur asynchrone à couple constant quelle que soit la vitesse. Son circuit de puissance est constitué par un redresseur et un onduleur, le redresseur est en général équipé d'un pont redresseur à diodes et d'un circuit de filtrage constitué d'un ou plusieurs condensateurs en fonction de la puissance, tandis que le pont onduleur, connecté à ces condensateurs, utilise six semi-conducteurs de puissance (en général des IGBT) et des diodes de roue libre associées. Ce type de variateur permet de créer un mini- réseau électrique à tension et fréquence variables capable d'alimenter un moteur unique ou plusieurs moteurs en parallèle.

Son fonctionnement est résumé comme suit : La tension alternative monophasée ou triphasée du réseau est convertie en tension continue par l'intermédiaire du pont redresseur et des condensateurs de filtrage. Cette tension continue est alors découpée par un pont onduleur à transistors, pour donner une succession d'impulsions de largeur variable. L'ajustage de la largeur des impulsions et leur répétition permet d'ajuster l'alimentation du moteur en tension et en fréquence pour conserver un rapport  $U/f$  constant afin de maintenir le flux désiré dans le moteur. L'inductance du moteur réalise un lissage du courant.

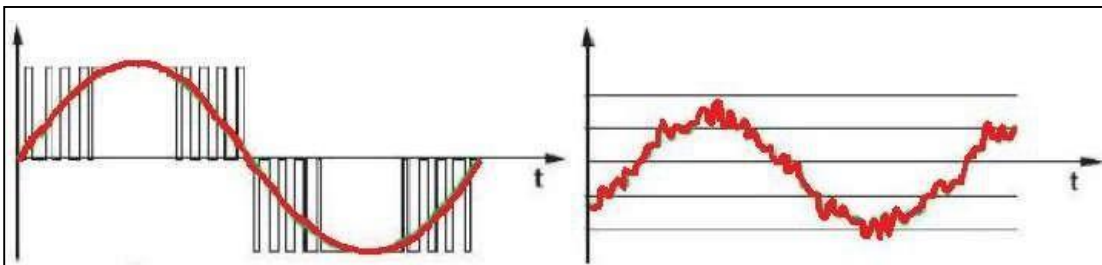


Figure 25: La modulation de largeur d'impulsions.

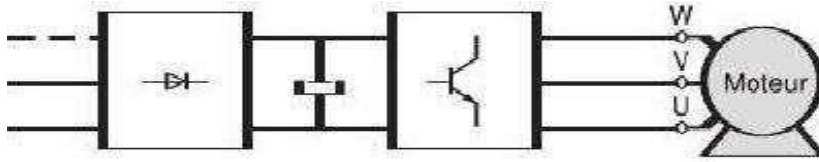


Figure 26: Schéma fonctionnelle du démarrage par variateur de vitesse.

### ➤ Avantages et inconvénients :

Tableau 8: Avantages et inconvénients du démarrage par variateur de vitesse:

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le couple fourni autorise l'entraînement de toutes les machines.</li> <li>-Le Convertisseur de fréquence autorise le fonctionnement du moteur les deux sens de marche et le freinage.</li> <li>-Le Convertisseur de fréquence intègre la protection thermique du moteur et la protection contre les courts-circuits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prix d'achat élevé de l'équipement.</li> <li>- L'échauffement des composants électroniques.</li> <li>- L'échauffement des moteurs entraînés (les harmoniques).</li> <li>- La fréquence de sortie peut être supérieure à la fréquence d'alimentation.</li> </ul>

## **VII. Quelques applications industrielles du moteur asynchrone :**

Les moteurs asynchrones sont utilisés dans plusieurs domaines :

- ✚ **La traction électrique** qui une locomotive électrique mue par des moteurs électriques alimentés par une ligne de contact aérienne. Les locomotives électriques reçoivent leur énergie de l'extérieur sous forme de tension électrique, soit d'un câble tendu au-dessus de la voie, la caténaire, soit d'un troisième rail au sol. Ce type d'alimentation, avec infrastructure associée (centrales électriques,

transformateurs, etc.) rend très cher les installations et l'équipement d'une voie. Mais les avantages de la traction électrique sont nombreux : puissance, coût d'entretien plus réduit que pour les locomotives diesel, accélération importante, freinage régénératif (moteurs devenus des génératrices provoquant ainsi un ralentissement), de l'énergie est ainsi d'abord restituée, puis par freinage rhéostatique elle est dissipée en chaleur dans une résistance (occasionnant une décélération), ou, par freinage régénératif la tension des moteurs (devenus génératrices par commande) est soit immédiatement utilisée pour la traction d'autre(s) motrice(s) soit emmagasinée temporairement dans des condensateurs ou des batteries d'accumulateurs. Elles sont appréciées pour le transport de voyageurs dans les zones densément peuplées et sont systématiquement utilisées pour les trains à grande parce que les moteurs de forte puissance massive sont faciles à embarquer dans ces véhicules moteurs vu le besoin.

- ✚ **La propulsion électrique des navires** est une méthode de propulsion maritime où celle-ci est assurée par des moteurs électriques. L'énergie électrique nécessaire y est généralement produite par des systèmes moteurs thermiques-alternateurs.

Depuis que les progrès de l'électronique de puissance le permettent, la propulsion est assurée par des **variateurs de vitesse**.

- ✚ **Un véhicule électrique** est un moyen de déplacement dont la propulsion est assurée exclusivement par un ou plusieurs moteurs électriques. Il peut tirer son énergie de

ressources embarquées comme une batterie électrique, ou être connecté à une source extérieure, par exemple via une caténaire. Le moteur peut être lui aussi embarqué, comme dans la plupart des véhicules terrestres, ou extérieurs dans le cas du transport par câble. Enfin, dans les véhicules à énergie embarquée, les locomotives Diesel- électrique convertissent l'énergie mécanique d'un moteur Diesel en électricité pour alimenter les moteurs de traction, ce qui permet de faire fonctionner le moteur Diesel à son régime de rendement maximum quasiment en permanence et de supprimer tous les éléments mécaniques de transmission de la puissance (embrayage, boîte de vitesses, etc.). Le couple et la vitesse sont gérés électroniquement, entre autres par l'excitation de la génératrice et des moteurs de traction. Dans Les véhicules hybrides électriques sont équipés à la fois de moteur électrique et d'un moteur thermique. Le moteur thermique prend le relais lorsque la batterie est épuisée ou qui accroît la puissance disponible lorsque la demande est trop importante pour la propulsion « batterie/moteur électrique » seule. Ceci permet d'augmenter l'autonomie.

- ✚ **Une machine-outil** est un équipement mécanique destiné à exécuter un usinage, ou autre tâche répétitive, avec une précision et une puissance adaptées. C'est un moyen de production destiné à maintenir un outil fixe, mobile, ou tournant, et à lui imprimer un mouvement afin d'usiner ou déformer une pièce ou un ensemble fixé sur une table fixe ou mobile.
- ✚ **Un ascenseur** est un transport vertical assurant le déplacement en hauteur. Les dimensions, la construction et le contrôle en temps réel pendant l'usage des ascenseurs permettent l'accès sécurisé des personnes.
- ✚ **Un treuil**, est un appareil de levage. C'est un dispositif mécanique permettant de commander l'enroulement et le déroulement d'un câble, d'une chaîne ou de tout autre type de filin destiné à porter ou à tracter une charge. Le treuil est l'une des huit machines simples.
- ✚ **Les pompes** répondent toutes au même besoin : déplacer un liquide d'un point à un autre. Pour déplacer ce liquide, il faut lui communiquer de l'énergie. Les pompes remplissent cette fonction. Le moteur qui alimente les pompes transforme l'énergie thermique ou électrique en énergie mécanique pour permettre le mouvement des organes des pompes. Cette énergie mécanique est retransmise au fluide

Cette énergie mécanique est retransmise au fluide. Cette énergie fluide se traduit sous forme de débit (énergie cinétique) et de pression (énergie potentielle). Ces énergies vont s'échanger et se consommer dans les circuits de l'installation.

✚ **L'électroménager** caractérise tous les appareils et outils utilisant l'électricité et destinés à assurer des besoins domestiques, par opposition aux outils et machines industriels.

✚ **Un chariot élévateur** est un appareil de levage et de manutention destiné au transfert de charges dans les usines ou les entrepôts de stockage. Il sert principalement au transport de produits finis depuis les chaînes de fabrications vers les lieux de stockage, au chargement et au déchargement de camions, wagons, navires et autres moyens de transport, bien que sa souplesse d'utilisation rende d'autres usages possibles.

## PARTIE 4 : QUELQUE SIMULATIONS DU MOTEUR ASYNCHRONE À CAGE D'ÉCUREUIL

### **I. Simulation du moteur sous l'environnement** **SIMULINK/MATLAB :**

#### 1. Description des dispositifs à simuler :

C'est un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil, il est constitué du rotor et du stator, les spires sont constituées par des barres de fer entourant le rotor ce qu'il forme la cage, les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique tournant à la pulsation de synchronisme et le rotor tourne à une vitesse plus petite que la vitesse de synchronisme. On dit que le rotor « glisse » par rapport au champ tournant et ce glissement dépend de la charge. Le moteur qu'on a simulé fonctionne sous une tension de 380V avec une fréquence de 50 Hz, et une puissance nominale de 20 HP ce que veut dire 15kw.

#### 2. Les blocks utilisés :

- Trois sources d'alimentations alternatives de 220 v et de 50 Hz de fréquence - Un moteur asynchrone triphasé :
  - ✚ sa puissance 15 kW
  - ✚ sa tension d'alimentation 380v
  - ✚ sa fréquence de réseau 50 Hz
  - ✚ sa fréquence de rotation 1500 tr/min
- Step pour introduire le couple résistant et choisir son temps (le temps où le moteur commence à marcher en charge est fixé sur 2.5s).
- Scope pour montrer les graphes.
- Voltage measurement, pour mesurer la tension entre phase de système.
- Des Multiplexeur, pour mesurer les grandeurs possibles grâce à l'option de busselector.

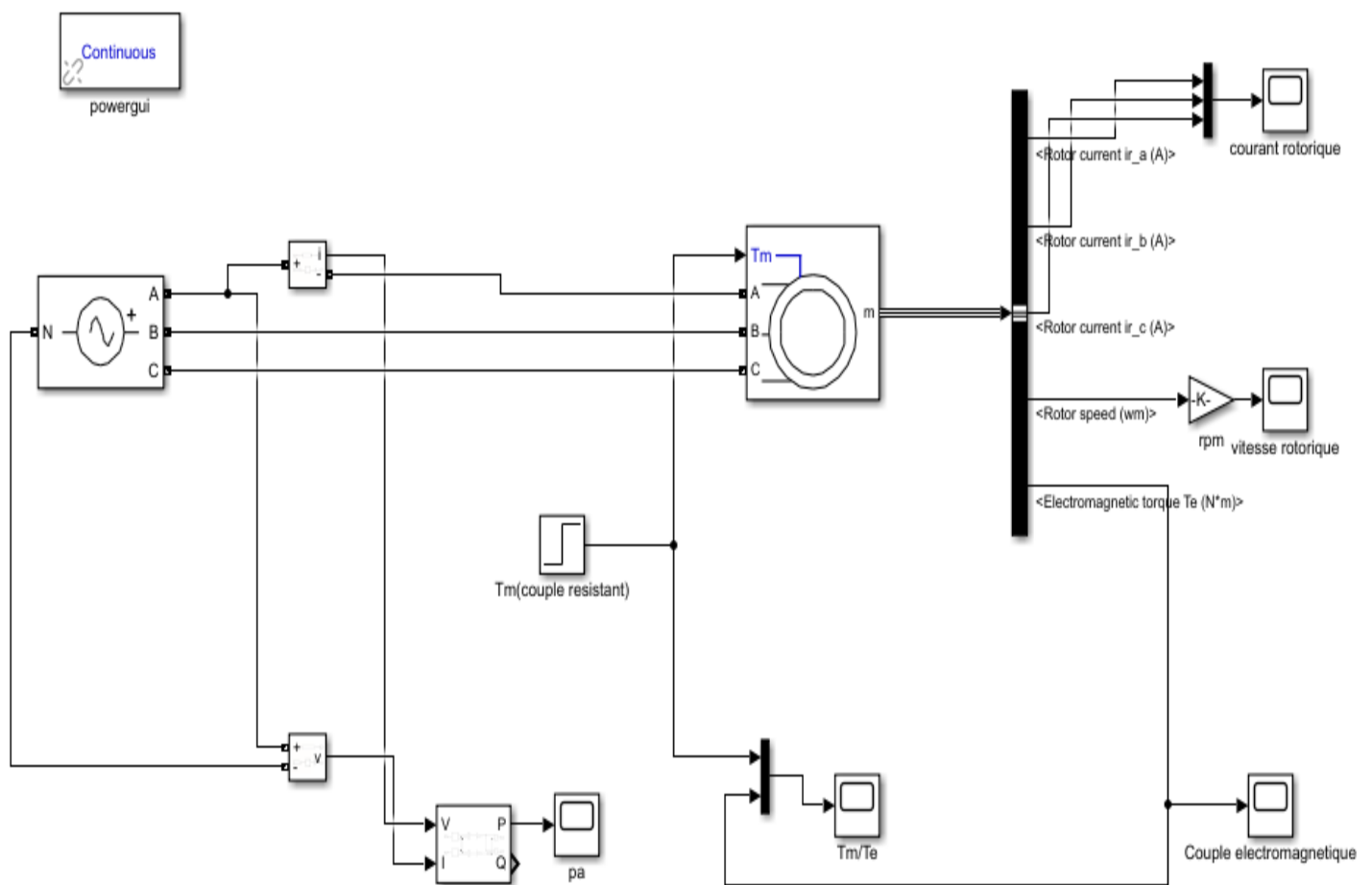
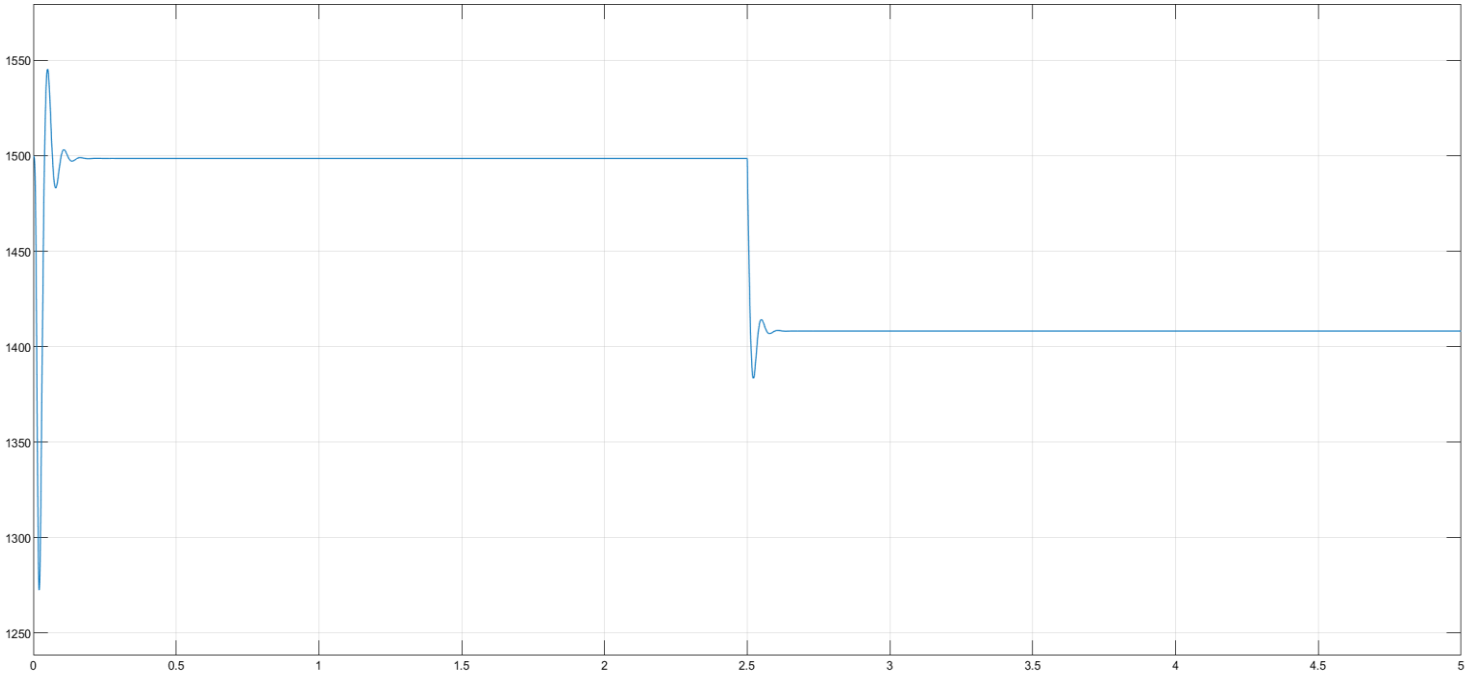


Figure 27: Schéma représentatif du moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil.



**Figure 28: La vitesse de rotation à vide et en charge.**

- ⇒ La vitesse de rotation est presque égale à 1500tr/min à vide donc égale à la vitesse de synchronisme ( $N_s = (60 * f) / p = 1500 \text{ tr / min}$ ). $g=0$ .
- ⇒ La vitesse de rotation en charge est égale à 1409 tr/min.



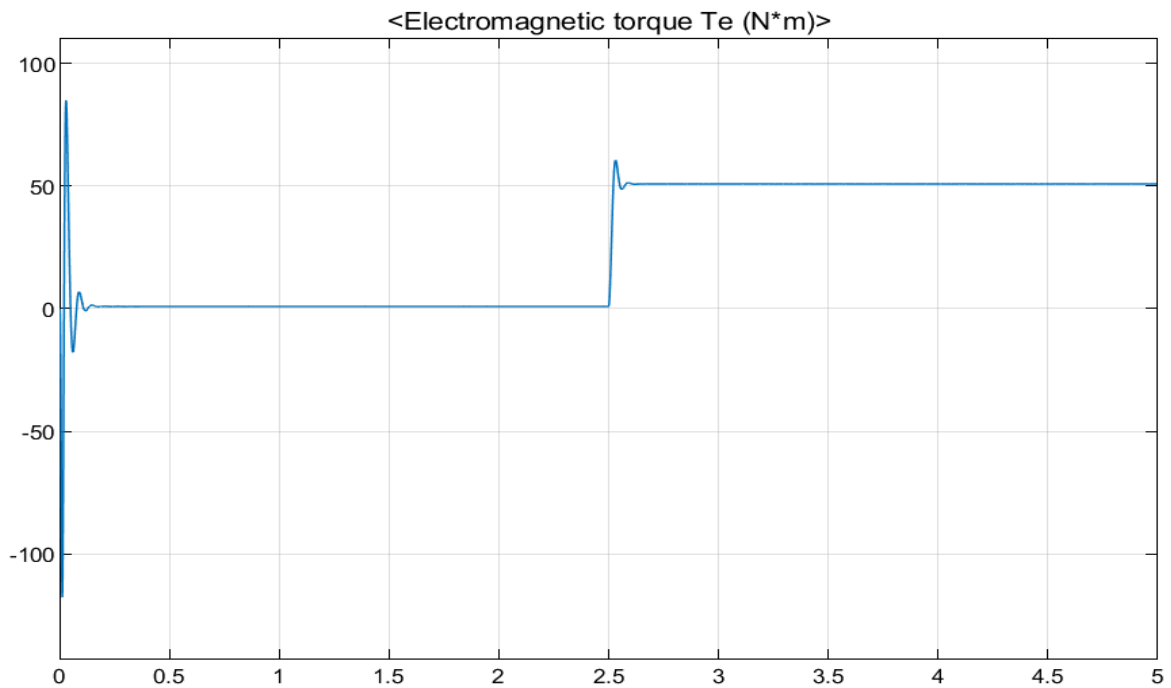


Figure 29 : Le couple électromagnétique à vide et en charge.

⇒ Le couple électromagnétique à vide égale à **0N.m**.

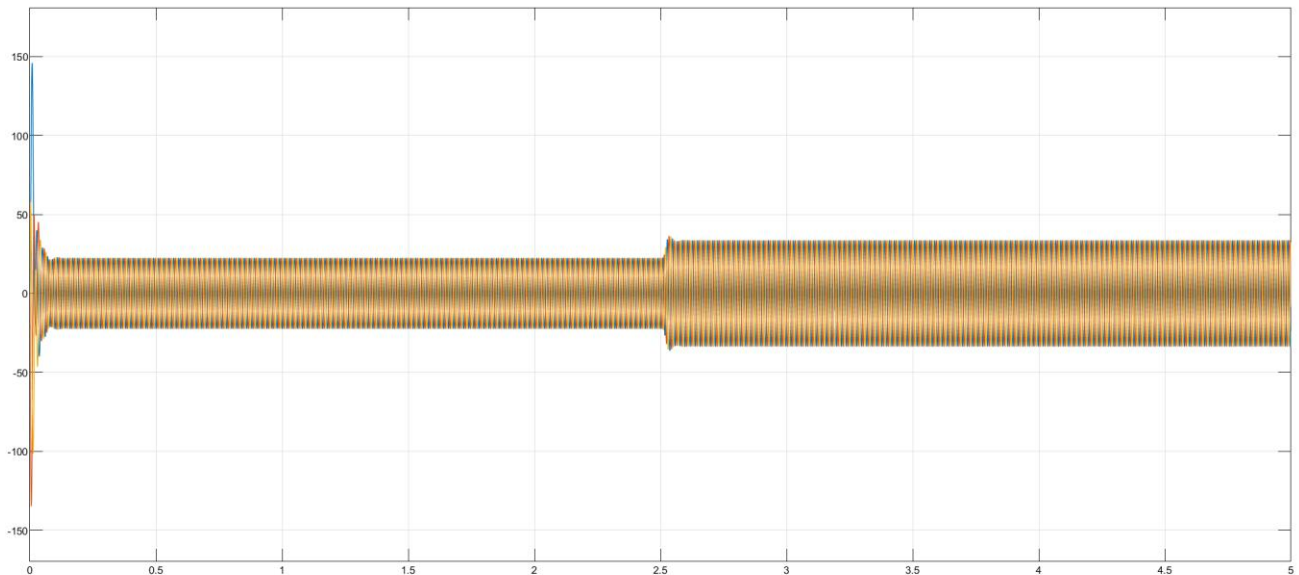


Figure 30: Le courant statorique à vide et en charge.

⇒ Le couple électromagnétique en charge est égal à **50N.m**, égal donc à la valeur du couple résistant.

On faisant un zoom au niveau de la courbe visualisant le courant statorique on obtient :

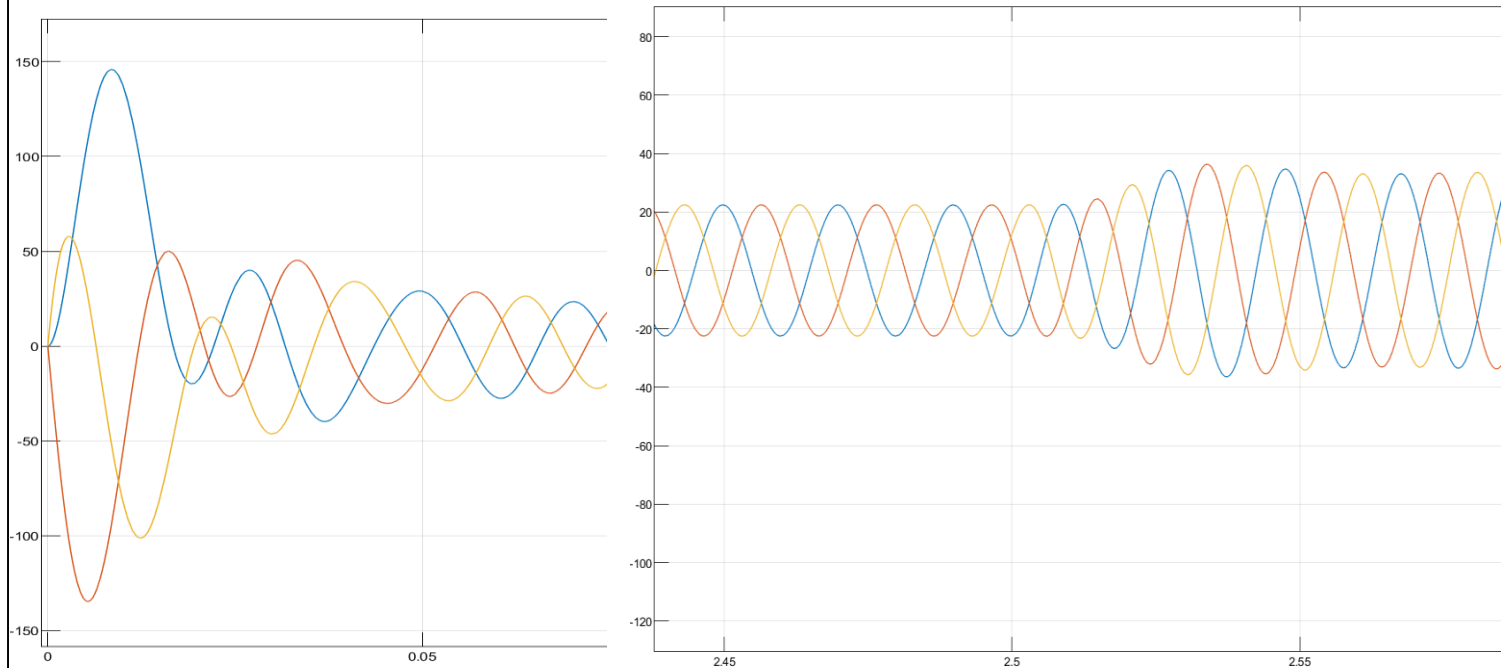


Figure 31: Le zoom sur la courbe du courant statorique.

- ⇒ La valeur du courant statorique au moment de démarrage est égale à **145,9A**.
- ⇒ La valeur du courant à vide est égale à 22,4A et en charge est égale à **33,69A**

On remarque que le démarrage direct est brusque les grandeurs physiques commencent par le '0', ainsi le courant et le couple  $\gamma$  sont très importants.

## II. Simulation sur PSIM :

### 1. Présentation du logiciel PSIM :

PSIM est un logiciel de simulation pour l'électrotechnique et l'électronique de puissance. Ce logiciel permet de dessiner le schéma du montage à partir des éléments de la bibliothèque

(Machines, transformateurs, interrupteurs électroniques, éléments de commande et de contrôle). Les appareils de mesure disposés sur le schéma de montage définissent les courbes représentatives des grandeurs électriques et mécaniques que l'on peut obtenir après simulation

## 2. Le réglage des paramètres des dispositifs :

Tout au long la simulation nous allons utiliser les mêmes paramètres (paramètres du réseau, paramètres du moteur et paramètres de la charge) pour toutes les simulations effectuées sur le logiciel PSIM.

### ➤ Les paramètres du réseau :

L'alimentation est assurée par un système de tension triphasé équilibré, d'une amplitude de 400V, de fréquence 50HZ sans déphasage entre ses phases.

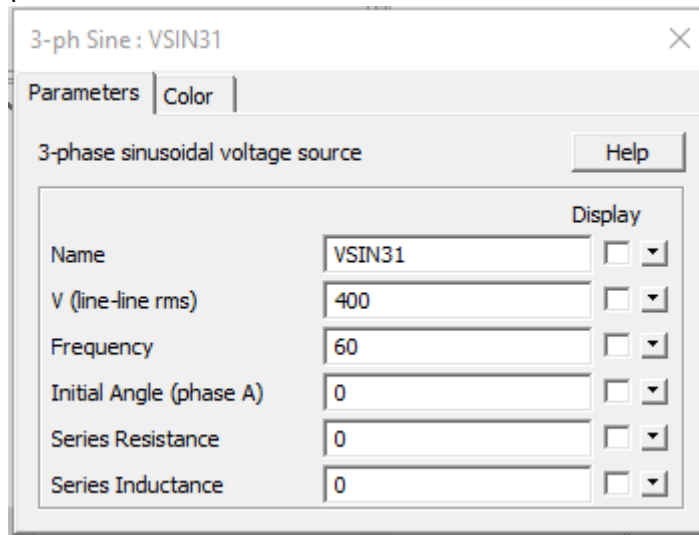


Figure 32: Les paramètres du réseau sur PSIM

### ➤ Les paramètres du moteur :

Le réglage des paramètres du moteur qu'on va utiliser dans toutes les simulations est le suivant :

Résistance du stator	$R_s=0.4\Omega$
Inductance de fuite du stator	$L_s=0$
Résistance du rotor	$R_r=0.28\Omega$
Inductance du rotor	$L_r=5.5\text{mH}$
Inductance magnétisante	$L_m=50\text{mH}$
Moment d'inertie du rotor	$0.19\text{kg.m}^2$

Parameter	Value	Display
Name	IM1	<input checked="" type="checkbox"/>
Rs (stator)	0.4	<input type="checkbox"/>
Ls (stator)	0	<input type="checkbox"/>
Rr (rotor)	0.28	<input checked="" type="checkbox"/>
Lr (rotor)	5.5m	<input type="checkbox"/>
Lm (magnetizing)	50m	<input type="checkbox"/>
No. of Poles P	6	<input type="checkbox"/>
Moment of Inertia	0.19	<input type="checkbox"/>
Torque Flag	1	<input type="checkbox"/>
Master/Slave Flag	1	<input type="checkbox"/>

Figure 33: Les paramètres du moteur asynchrone sur PSIM.

➤ **Les paramètres de la charge :**

Nous allons utiliser une charge ayant un couple résistant de 50N.m et un moment d'inertie de 0.8kg.m2 :

Parameter	Value	Display
Name	MLOADT1	<input type="checkbox"/>
Constant Torque	50	<input type="checkbox"/>
Moment of Inertia	0.8	<input type="checkbox"/>

Figure 34: Les paramètres de la charge sur PSIM

3. La simulation du démarrage direct :

➤ **A vide :**

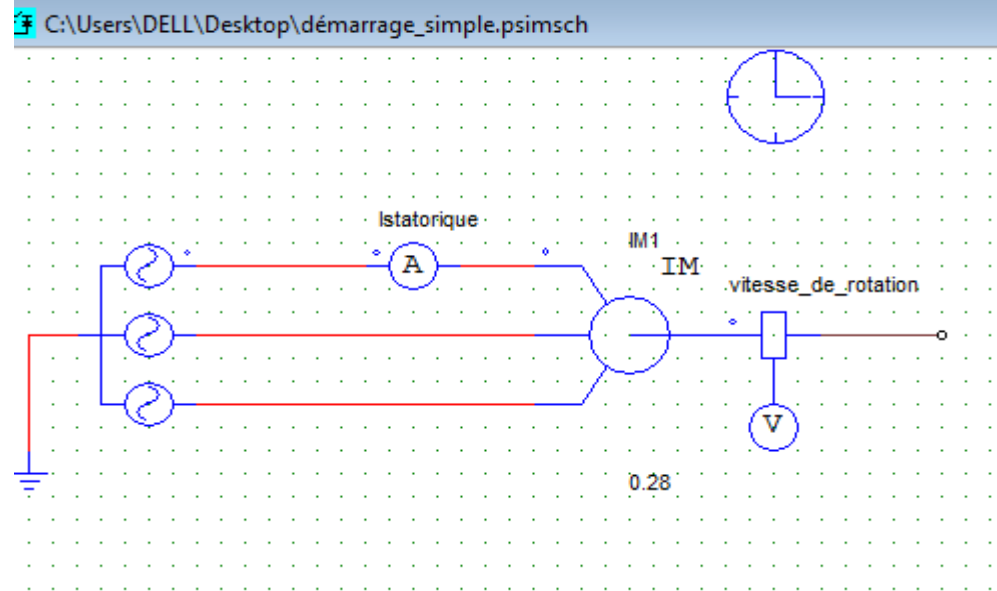


Figure 35: Le moteur asynchrone à cage d'écureuil à vi

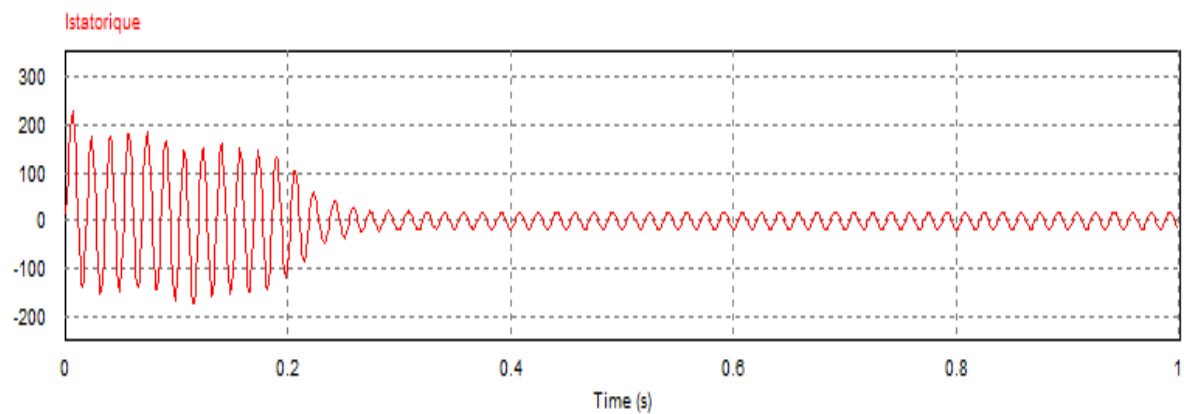
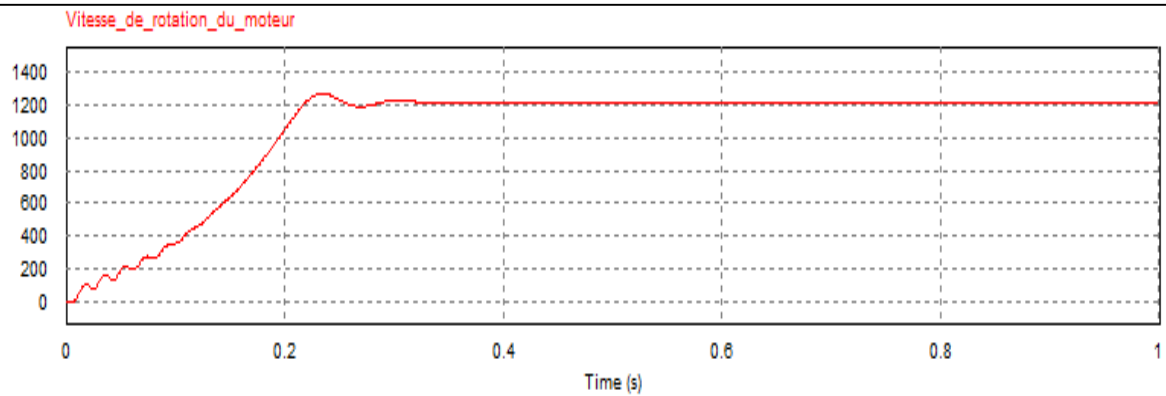
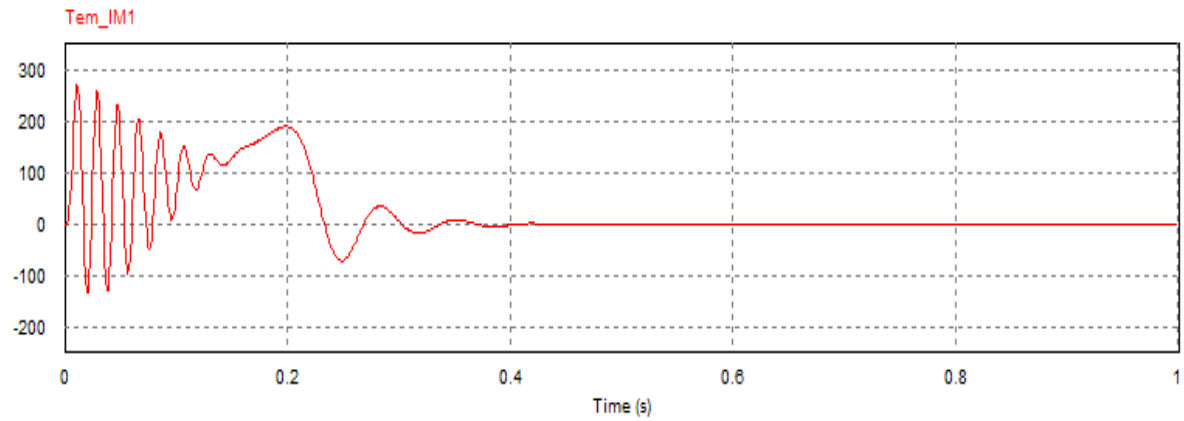


Figure 36 : Le courant statorique à vide.



**Figure 37 : La courbe de vitesse de rotation à vide.**



**Figure 38: La courbe du couple électromagnétique à vide.**

➤ **En charge :**

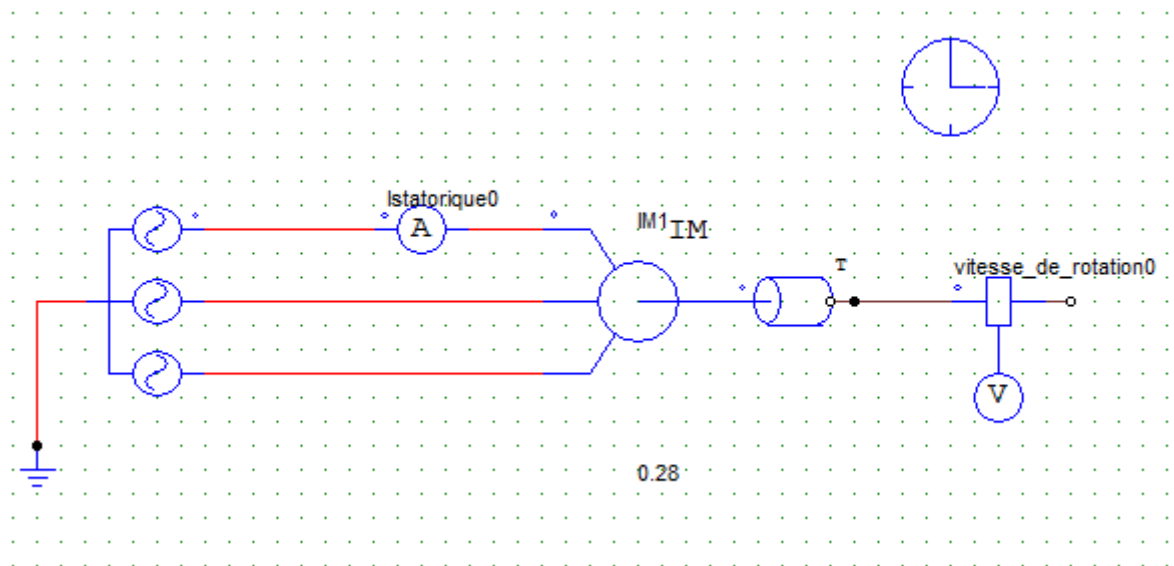


Figure 39: Le moteur asynchrone à cage d'écureuil en charge.

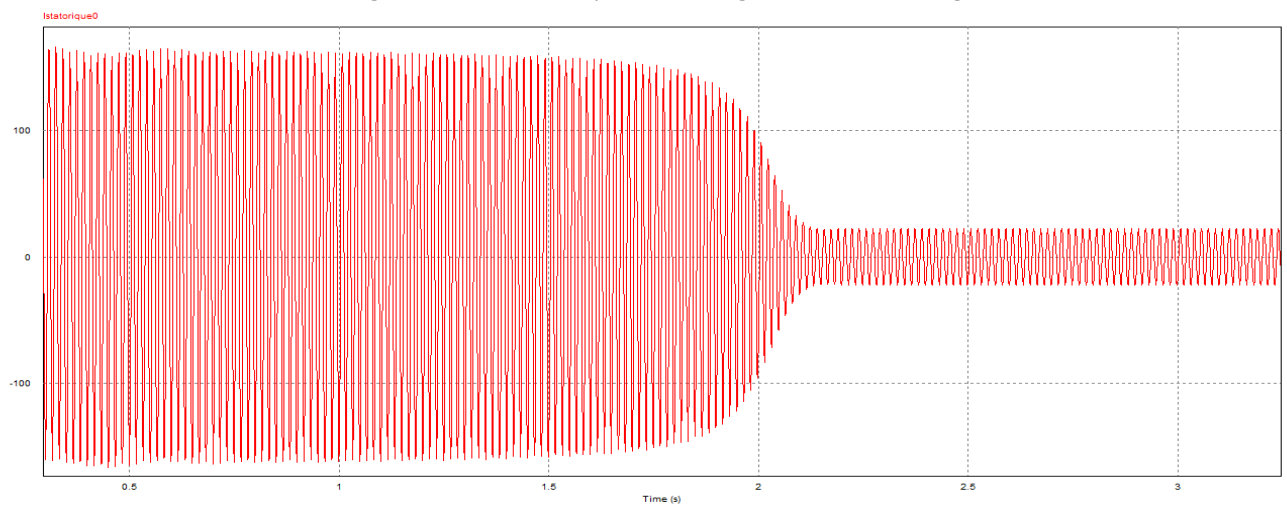


Figure 40: La courbe du courant statorique en charge.

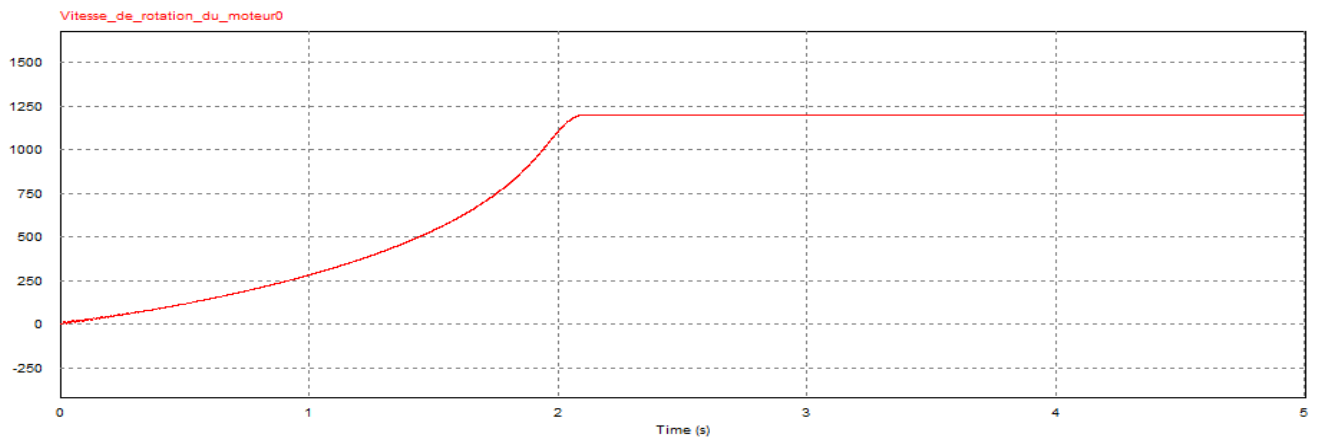


Figure 41: La courbe de vitesse de rotation en charge.

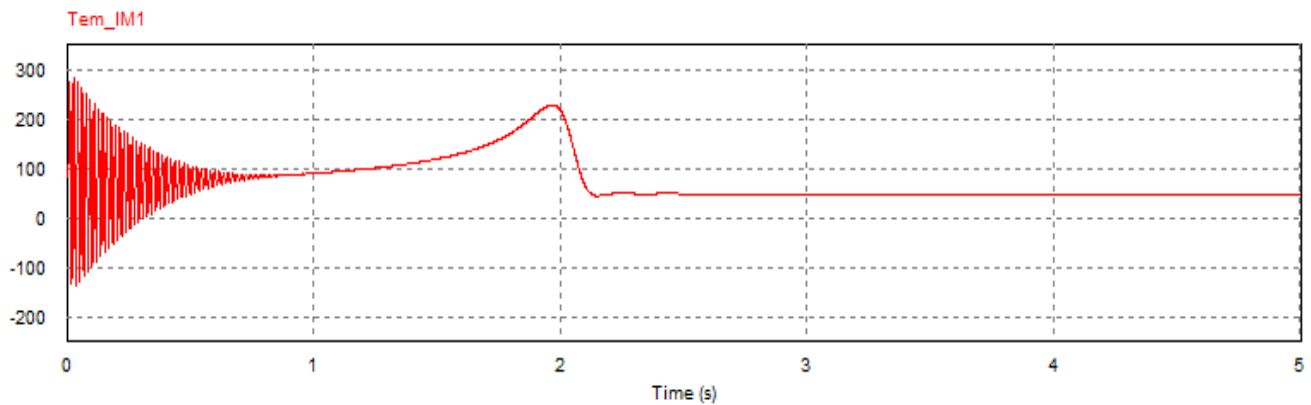


Figure 42: Le couple électromagnétique en charge.

#### 4. Simulation de variateur de vitesse :

Dans cette simulation nous allons utiliser le même réseau et le même moteur utilisés précédemment dans la simulation du démarrage direct. Le variateur de vitesse contient généralement un redresseur, un filtre et un onduleur commandé.



### ➤ Le redresseur du variateur :

Cette étage est constitué des diodes, s'agit d'un montage PD3 permet ainsi la conversion de la tension alternative au continue (AC/DC) :

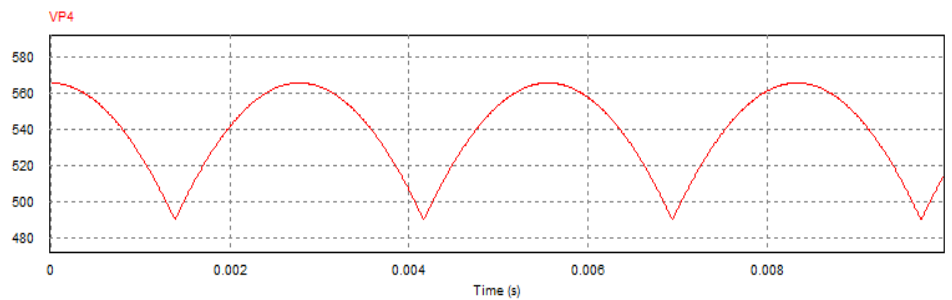
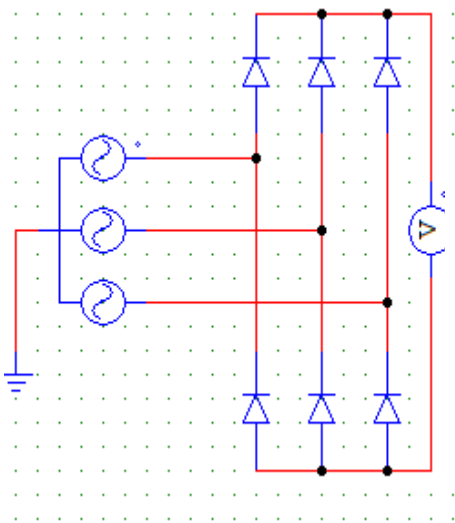


Figure 43: Le redresseur du variateur et la courbe visualisant sa sortie.

### ➤ Le filtre du variateur :

Ce filtre installé à la sortie du redresseur et constitué d'une capacité de 1F permet le filtrage de la tension de sortie du pont redresseur.

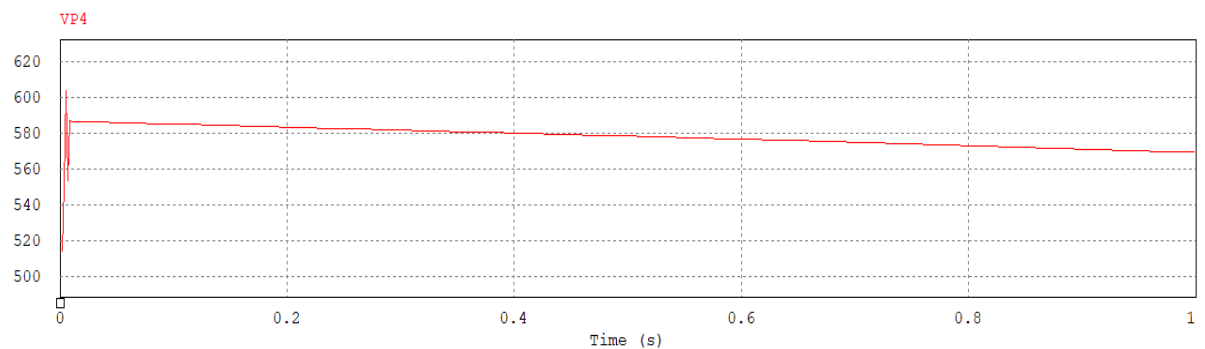
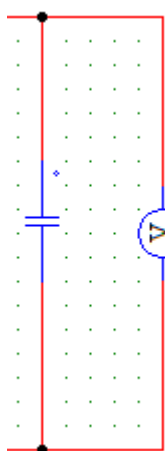


Figure 44: le filtre au niveau du variateur de vitesse et la courbe visualisant sa sortie.

### ➤ La commande MLI :

La stratégie MLI permet d'imposer à la machine des ondes de tensions à amplitudes et fréquences variables à partir du réseau standard. La commande MLI plus répandue est appelée sinus-triangle. Cette technique repose sur la comparaison d'un signal haute fréquence appelée porteuse avec un signal de basse référence, l'image de la tension désirée à la sortie du convertisseur tout en éliminant les harmoniques.

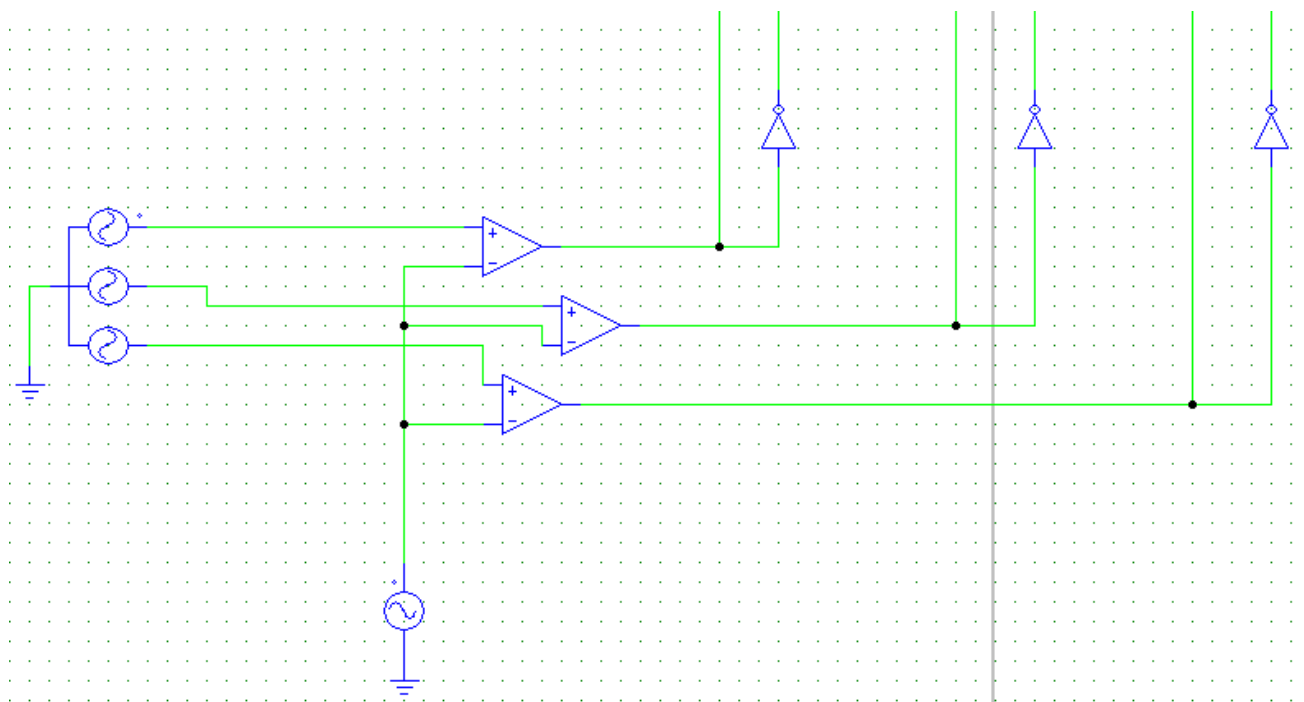


Figure 45: La porteuse et les signaux de références.

### ➤ Le variateur de vitesse entier :

Le variateur de vitesse contient de même un onduleur qui sert à convertir la tension continue en une tension alternative en imposant, en commutation forcée, une forme de tension déterminée au récepteur quel que soit le courant absorbé. L'onduleur est capable de régler la fréquence et l'amplitude des grandeurs de sortie à l'aide de la commande MLI.

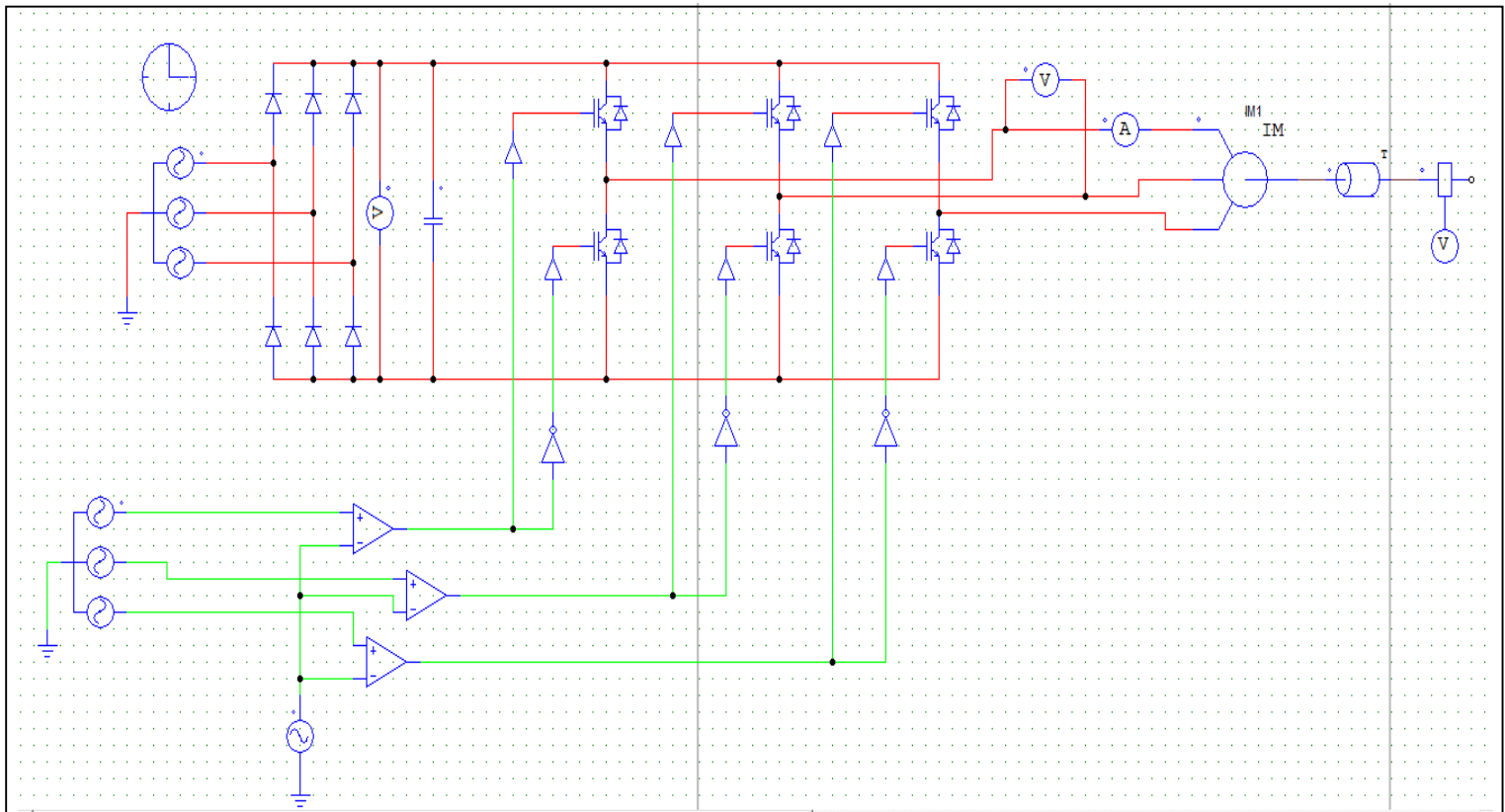


Figure 46: Le variateur de vitesse branché avec le moteur asynchrone triphasé.

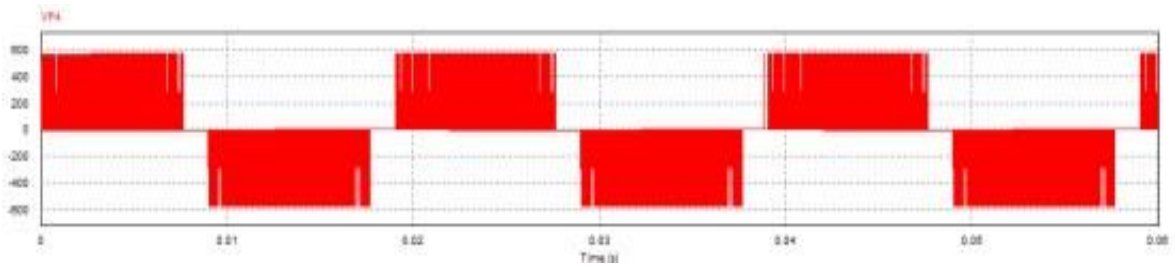
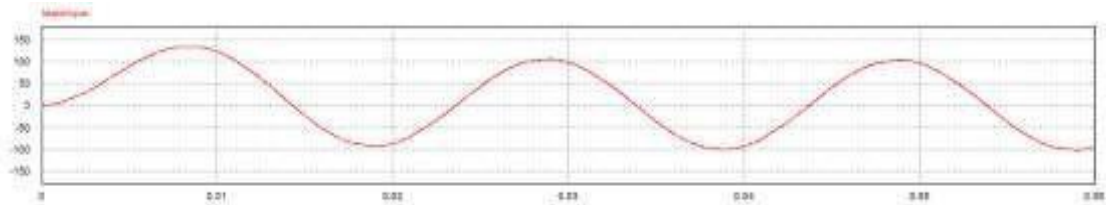
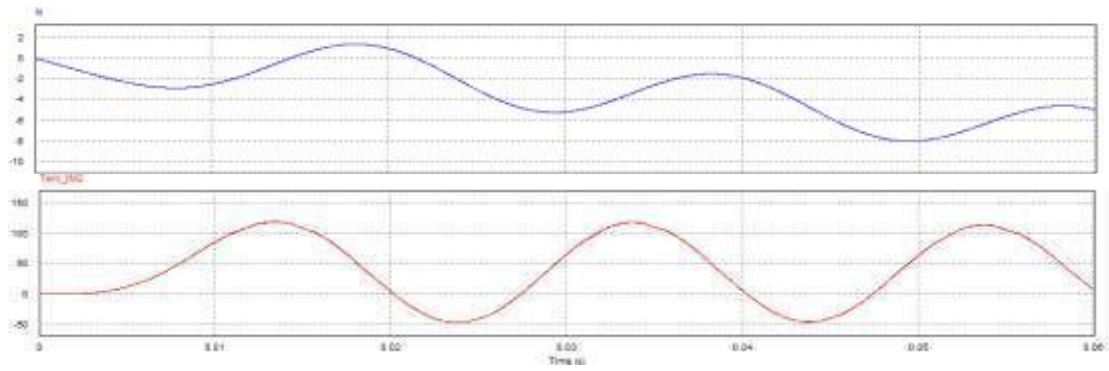


Figure 47: La tension à la sortie du variateur de vitesse.



**Figure 48: La courbe visualisant le courant statorique.**



**Figure 49: La courbe de la vitesse de rotation du moteur.**

**Figure 50: La courbe du couple électromagnétique.**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

La machine asynchrone est de plus en plus utilisée dans l'industrie puisqu'elle demeure une solution technologique et économique lorsque la vitesse d'entraînement du récepteur mécanique doit rester quasiment constante malgré les variations du couple résistant. Cette machine robuste nécessite très peu d'entretien et sa durée de vie est presque illimitée.

Dans ce rapport nous avons mené une étude sur les différents types des démarreurs de la machine asynchrone, dans un premier temps nous avons abordé le principe de fonctionnement de la machine asynchrone et sa constitution, puis nous avons élaboré les types desdits démarreurs, leurs principes, ainsi que leurs schémas (fonctionnels, de puissance et de commande) et enfin leurs avantages et leurs inconvénients. Concernant les applications industrielles, nous avons cité quelques exemples d'application ou l'utilisation de la machine asynchrone est indispensable.

La simulation sur l'environnement Simulink/Matlab nous a permis de bien comprendre le comportement du moteur asynchrone à cage d'écureuil et mettre en œuvre les résultats théoriques sur le démarrage direct et le démarrage par un variateur de vitesse.