



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière : électrotechnique
Option : Machines électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
KEBAILI Hocine

Le : mercredi 25 avril 2018

Détection du défaut de cassure de barres rotoriques d'un moteur asynchrone triphase pour différentes vitesses de rotation

Jury :

Mr. KHLILI Fatiha	MAA	Université de Biskra	Président
Mr. YAHIA Khaled	MCA	Université de Biskra	Encadreur
Mr. CHARROUF Omar	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2017 – 2018

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique

Filière : électrotechnique

Option : Machines électrique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**Détection du défaut de cassure de barres rotoriques d'un
moteur asynchrone triphasé pour différentes vitesses de rotation**

Présenté par :

Kebaili Hocine

Avis favorable de l'encadreur :

Yahia Khaled

signature

Avis favorable du Président du Jury

Khlili Fatiha

Signature

Cachet et signature

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électrotechnique
Option : **Machines électrique**

Thème :

**Détection du défaut de cassure de barres rotoriques d'un
moteur asynchrone triphasé pour différentes vitesses de rotation**

Proposé par : Yahia Khaled

Dirigé par : Yahia Khaled

Chapitre I

Généralités sur la machine asynchrone triphasée

Chapitre II

Les Variateurs de Vitesse

Chapitre III

Résultats expérimentaux du diagnostic du défaut de cassure de barres rotoriques d'un MAS alimenté par un variateur de vitesse

Résumé

Ce travail de master traite de la détection et du diagnostic des défauts de cassure de barres rotorique dans les moteurs asynchrones alimentés par un variateur de vitesse avec un commande scalaire ($V/f = \text{constant}$) en boucle ouverte.

La transformée de Fourier rapide (*TFR*) est une technique largement utilisée pour le diagnostic des défauts dans la machine asynchrone. Elle donne de bons résultats pour des fonctionnements à forte puissance ou à couple constant mais des difficultés apparaissent pour les fonctionnements à couple de charge, vitesse de rotation et tensions d'alimentation variables.

ملخص

يتناول هذا العمل اكتشاف وتشخيص عيوب كسر قضيب الدوار في المحركات غير المتزامنة، التي تعمل بمحرك مغير السرعة مع التحكم القياسي ($V / f = \text{ثابت}$) في الحلقة المفتوحة. تحويل فورييه السريع (FFT) هو تقنية مستخدمة على نطاق واسع لتشخيص الأعطال في الآلة غير المتزامنة. إنه يعطي نتائج جيدة للعمليات ذات باستطاعة كبيرة أو عزم الدوران الثابت ولكن هناك صعوبات تنشأ للعمليات ذات عزم التحميل المتغير وسرعة الدوران وتوترات التغذية المتغير.

Sommaire

Dédicace

Remerciements

Résumé

Liste des symboles

Liste des figures

Introduction générale..... 1

Chapitre I

Généralités sur la machine asynchrone triphasée

I.1. Introduction..... 3

I.2. Constitution de la machine asynchrone..... 3

I.3. Machine asynchrone à cage 4

 I.3.1. Le stator..... 5

 I.3.2 Le rotor..... 6

I.4. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage..... 7

I.5. Les avantages des machines asynchrones 8

I.6. Types des défauts et leurs causes 9

I.6.1. Défauts électriques 9

 I.6.1.1. Défauts du stator..... 9

 I.6.1.2. Défauts du rotor 10

I.6.2. Défauts mécaniques 10

 I.6.2.1. Défauts de roulements 10

 I.6.2.2. Défauts d'excentricité 11

I.7. Méthodes de diagnostic sans modèle analytique	13
I.7.1. Méthode par traitement de signal	13
I.7. 2. Méthode par intelligence artificielle (IA).	13
I.8. Méthodes de détection des défauts ou Techniques de surveillance	13
I.8.1. Analyse de la signature du courant statorique (MCSA)	14
I.8.2. Analyse du couple électromagnétique	14
I.8.3. Analyse par mesure de la température	14
I.8.4. Analyse du flux	15
I.8.5. Analyse des signaux vibratoires et acoustiques	15
I.9. Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée	15
I.10. Conclusion	16

Chapitre II

Les variateurs de vitesse

II.1.Introduction	17
II.2. Principe	17
II.3. Fonction des variateurs de vitesse	19
II.3.1. L'accélération contrôlée	20
II.3.2. La décélération contrôlée.....	20
II.3.3. La variation et la régulation de vitesse	21
II.3.4. L'inversion du sens de marche.....	22
II.3.5. Le freinage d'arrêt	22
II.4. Convertisseurs Statiques	23

II.4.1. Les redresseurs	23
II.4.1.1. Le redresseur commande	24
II.4.1.2. Le redresseur non commandé	24
II.4.2. Le circuit intermédiaire	25
II.4.2.1. Le circuit intermédiaire à courant continu variable	26
II.4.2.2. Le circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable.....	26
II.4.2.3. Le circuit intermédiaire à tension variable.....	27
II.4.3. Les onduleurs	27
II.5. Modulation de largeur d'impulsion MLI (PWM)	28
II.6. Les avantages et Les inconvénients d'un variateur de vitesse	28
II.6.1. Les avantages d'un variateur de vitesse	28
II.6.2. Les inconvénients d'un variateur de vitesse	29
II.7. Le circuit de commande	29
II.7.1. la commande $U/f = Cst$ (Scalaire)	30
II.7.2. La commande vectorielle de tension (ou de flux).....	32
II.8. Les avantages et Les inconvénients des La commande vectorielle de flux	33
II.8.1. Les avantages	33
II.8.2. Les inconvénients	33
II.9. Photo de stage	34
II.9.1. variateur de vitesse VLT 5000 et 2800.....	34
II.9.2. Câblage de variateur de vitesse VLT 2800.....	35
II.9.3. Armoire de variateur de vitesse	36
II.10. CONCLUSION	37

Chapitre III

Résultats expérimentaux du diagnostic du défaut de cassure de barres rotoriques d'un MAS alimenté par variateur de vitesse

III.1. Introduction	38
III.2. Analyse du courant stator	38
III.3. Transformée de Fourier Rapide (FFT)	38
III.4. La programmation	39
III.4.1. Programme de converti .Data à .mat	39
III.4.2. Programme de FFT	39
III.5. Motors Asynchrone triphasé 1KW avec un variateur de vitesse	40
III.5.1. État sain	40
III.5.1.1. fréquence F = 20 HZ	40
a) À vide	40
b) charge = 1.6 Nm.....	41
c) charge = 6.6 Nm.....	41
III.5.1.2. fréquence F = 30 HZ	42
a) À vide	42
b) La charge Cr = 3.6 Nm	42
c) La charge Cr = 6.6 Nm	43
III.5.1.3. fréquence F = 40 HZ	43
a) À vide	43
b) La charge Cr = 1.6 Nm	44
c) La charge Cr = 6.6 Nm	44
III.5.1.4. fréquence F = 50 HZ	45
a) À vide	45

b) La charge $C_r = 3.6 \text{ Nm}$	45
c) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$	46
III.5.2. Une Barre Cassée	46
III.5.2.2. fréquence $F = 30 \text{ HZ}$	47
a) La charge $C_r = 3.6 \text{ Nm}$	47
b) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$	47
III.5.2.3. fréquence $F = 50 \text{ HZ}$	48
a) La charge $C_r = 3.6 \text{ Nm}$	48
b) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$	48
III.5.2.4. Comparaison	49
III.5.3. Deux Barres Cassées	51
III.5.3.1. fréquence $F = 20 \text{ HZ}$	51
a) La charge $C_r = 1.6 \text{ Nm}$	51
b) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$	52
III.5.3.2. fréquence $F = 40 \text{ HZ}$	52
a) La charge $C_r = 1.6 \text{ Nm}$	52
b) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$	53
III.5.3.3. Comparaison	53
III.6. CONCLUSION	55
Conclusion générale	56
Bibliographie	
Annexe	

Dédicaces

Je dédie Mon Travail avant tous A Mes Chers Parents, Mon PERE qui ne cesse pas de M'encourager, et qui Ma toujours soutenu, Ma Jolie MERE symbol de sacrifice et qui est. tout pour Moi, pour Sa Tendresse profond « Que Dieu Me les Protègent ».

À Mes chers Frères: abd razzak, youcef.

À Mes chers sœurs: Habiba, Soraya , wafia ,.... Etc.

À Ma chère princesse: H. I

À Toute Ma famille Kebaili, Mes collègues, Mes Amis

À Toute les personnes que j'ai oubliées et que je n'ai pas

Citées

K. Hocine

Remerciement

Qu'il me soit d'abord permis de remercier et d'exprimer ma gratitude envers Dieu de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'étude.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma reconnaissance envers mon promoteur **Mr. Khaled Yahia**, professeur à l'université de Biskra pour la confiance qu'il m'a prodigué, pour ses encouragements continus, pour le suivi de près de mon travail, pour ses conseils judicieux, ses observations et son assistance pour mener à bien ce travail.

Je remercie vivement et très profondément :

- ✓ Madame **Khilili Fatiha**, maître de conférences au département d'électrotechnique de l'université de Biskra, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ma mémoire de master.

- ✓ Monsieur **Charrouf Omar**, maître de conférences au département d'électrotechnique de l'université de Biskra, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ma mémoire de master.

Je remercie tous les enseignants de l'institut d'électrotechnique de l'université de Biskra qui ont participé à ma formation pendant le cycle de formation.

K. Hocine

I.1. Introduction

Les moteurs asynchrones triphasés sont maintenant largement utilisés dans des applications à vitesse variable. Ils peuvent faire l'objet de commandes de types scalaires ($U/f = \text{constant}$) ou vectoriels. Ces machines ont la réputation d'être robustes et adaptées à des applications des fortes puissances. Malgré les qualités évoquées, il n'est pas rare que ces moteurs présentent quelques défaillances émanant d'un vieillissement prématuré.

Dans ce chapitre, nous allons commencer par présenter certaines notions de base concernant les activités de maintenance et diagnostic puis, nous exposerons brièvement les différents constituants de la machine asynchrone à cage, tout en évoquant les divers défauts qui peuvent affectés ces constituants. Enfin, nous étalerons les méthodes les plus usitées en diagnostic [16].

I.2. Constitution du moteur asynchrone triphasé à cage

Bien que la paternité des machines asynchrones soit attribuée à plusieurs chercheurs, il est admis cependant qu'en 1889, Mikhaïl Dolivo Dobrovolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891. Il existe cependant plusieurs types de machines. Progressivement ces machines prennent de l'ampleur du fait de leur simplicité d'utilisation et d'entretien, de leurs robustesses et leurs faibles prix de revient. Notre étude porte sur un type de machines en l'occurrence la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil. La machine asynchrone triphasée souvent appelée moteur à induction est un dispositif électromécanique qui comprend un stator et un rotor. Le stator est une partie fixe où se trouvent les enroulements liés à la source. Le rotor est une partie mobile qui est monté sur l'axe de rotation, comme illustré dans la Figure I.1 [1].

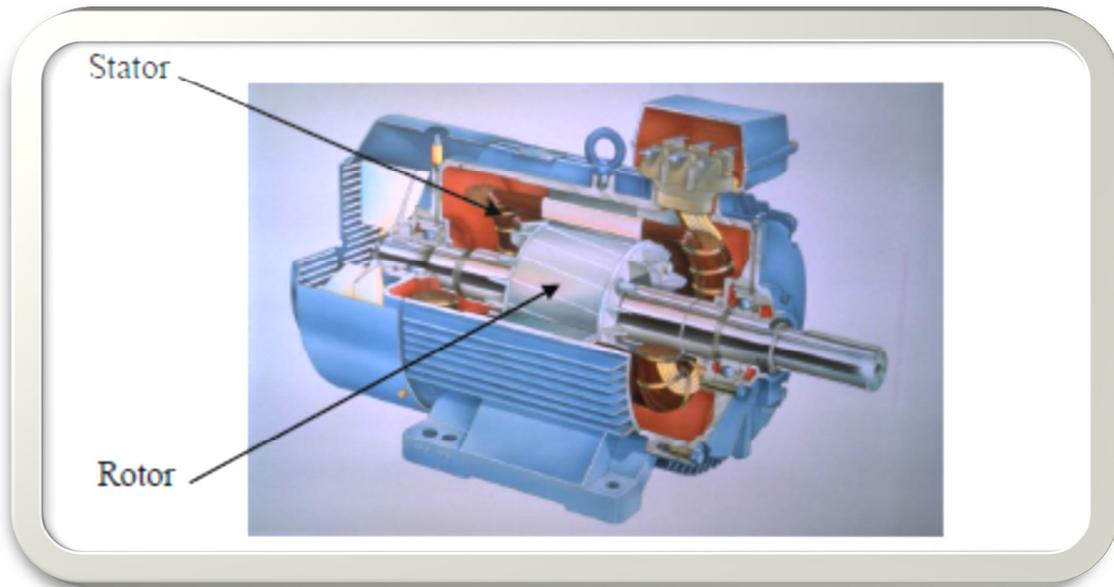


Figure I.1 : Structure de la machine asynchrone triphasée à cage.

I.3. Machine asynchrone à cage

La machine asynchrone à cage, très appréciée dans les applications industrielles par sa grande robustesse électromécanique, son faible cout et sa très bonne standardisation, impose des structures de contrôle spécifiques et complexes pour être utilisée dans des systèmes d'entraînement à vitesse variable performants. Ces systèmes d'entraînement intègrent l'alimentation, le convertisseur statique, la machine et la commande indispensable au fonctionnement de l'ensemble. La figure I.2 représente le schéma principale de la machine asynchrone à cage.

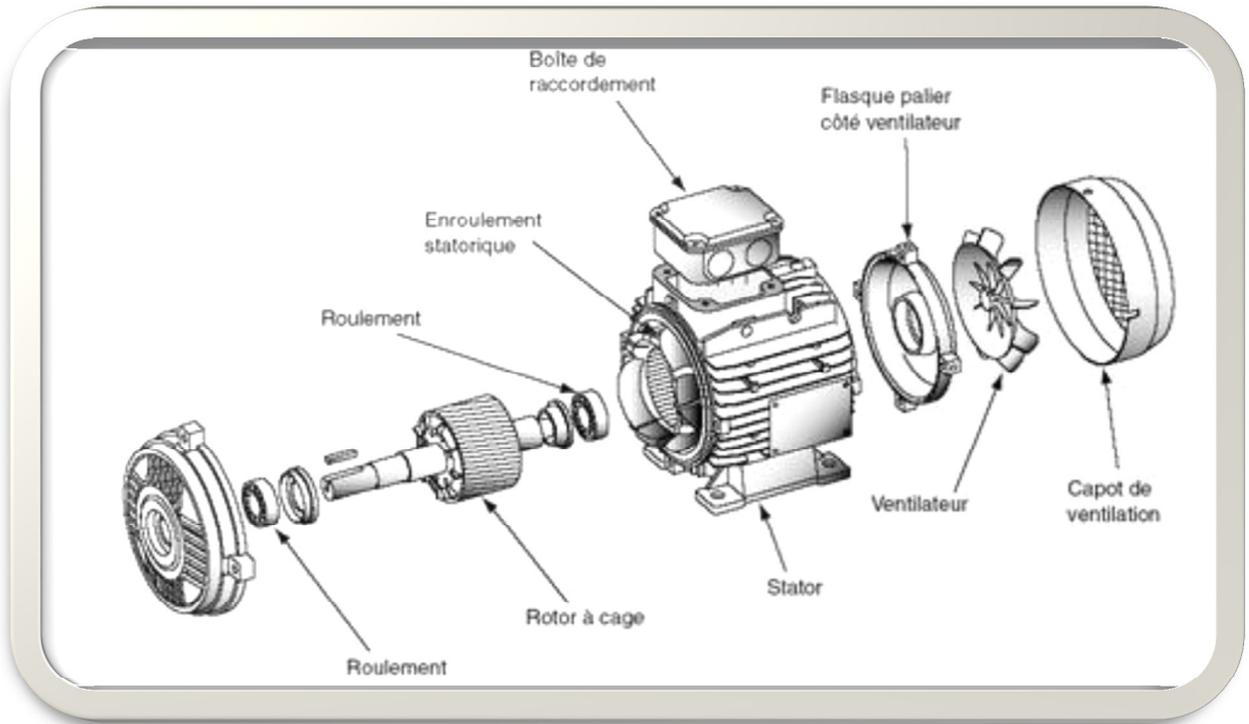


Figure I.2 : le schéma principale de la machine asynchrone à cage.

I.3.1. Le stator

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilement de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine (figure I.3). Le bobinage statorique peut se décomposer en deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer, le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobine permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant la circulation judicieuse des courants d'un conducteur d'encoche à l'autre. L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une [2].



Figure I.3 : Le stator.

I.3.2. Rotor

Le circuit rotorique est constitué de barres conductrices régulièrement réparties entre deux couronnes métalliques formant les extrémités, le tout rappelant la forme d'une cage d'écureuil. Bien entendu, cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique analogue à celui de la machine à rotor bobiné.

Les conducteurs sont réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre préformées et frettées dans les tôles du rotor. La figure I.4 illustre un rotor à cage.

Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus aisé à construire que le moteur à rotor bobiné est par conséquent d'un prix de revient inférieur et a une robustesse intrinsèquement plus grande. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service. [3]

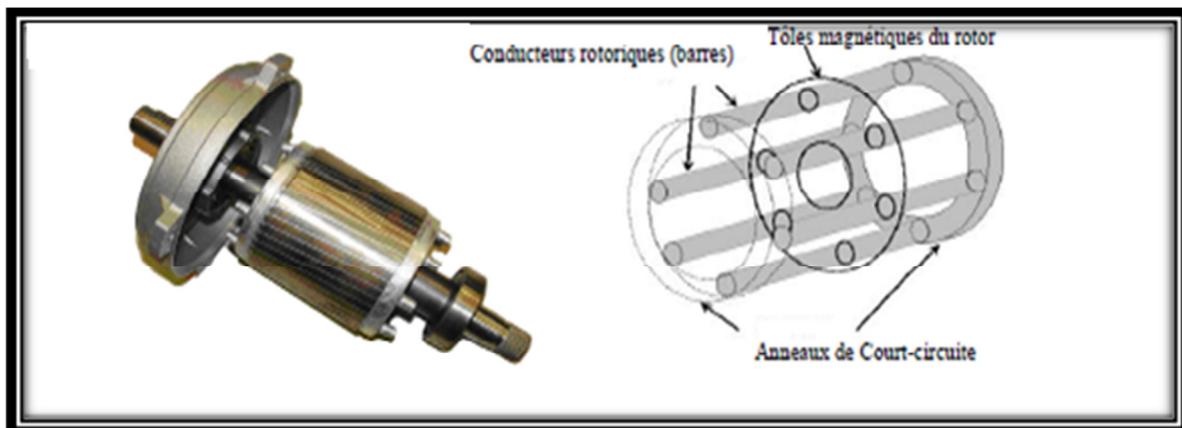


Figure I.4 : Rotor à cage d'écureuil d'une machine asynchrone.

I.4. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant, crée par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique, la vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme $N1 = \frac{60*f}{p}$

L'enroulement au rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît (loi de Faraday $e = \frac{d\phi}{dt}$) qui crée des courants rotorique, ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux : loi de Lenz. Le rotor se met donc à tourner (N) pour tenter de suivre le champ statorique. Sur les moteurs asynchrones triphasés, le champ tournant est produit par trois bobinages fixes géométriquement décalés de 120° , et parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique, les trois champs alternatifs qu'ils produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante. 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 (C'est-à-dire lorsque $N=N1$). En effet, dans ce cas, le champ serait immobile par rapport au rotor et les courants s'annulent de même que le couple qu'ils produisent et la machine n'est plus entraînée [4, 5].

La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée vitesse de glissement.

Le glissement d'une machine asynchrone est donné par l'expression :

$$g = \frac{(N1 - N)}{N1} * 100\%$$

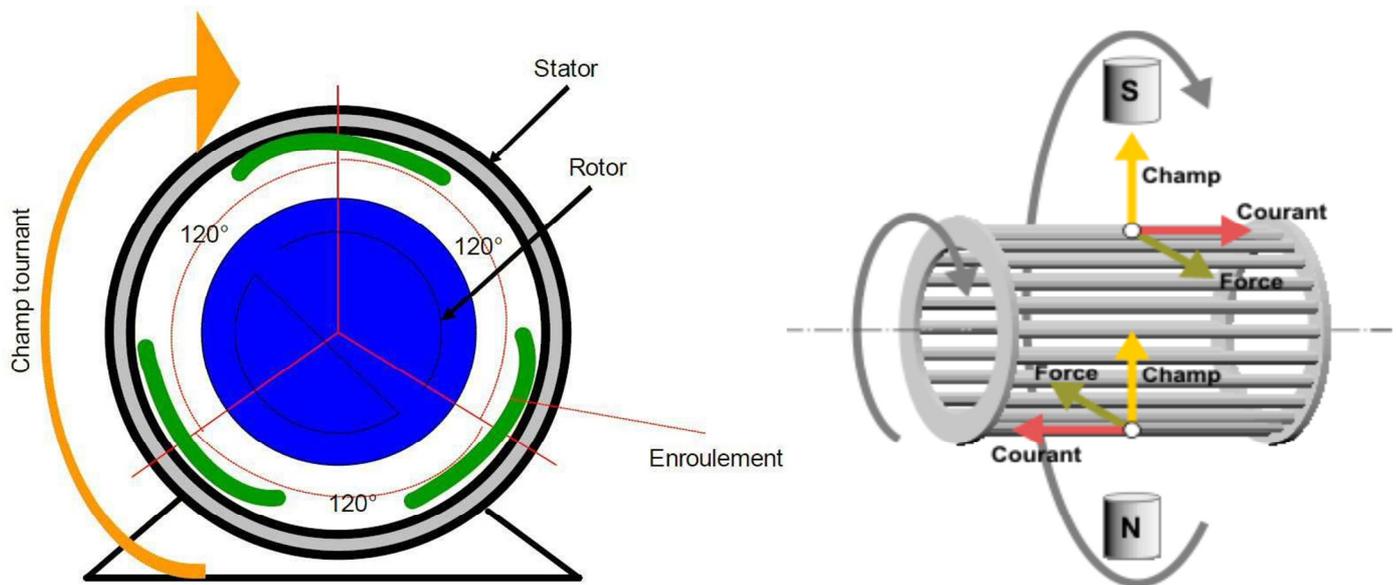


Figure I.5: Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage.

I.5. Les avantages des machines asynchrones

Les machines asynchrones sont caractérisées par les avantages suivants : [6].

- Structure simple,
- Robustes et faciles à construire,
- Utilisées dans la puissance moyenne et élevés,
- Reliées directement aux réseaux industriels à tension et à fréquence fixes,
- Alimentées par des convertisseurs de fréquence pour qu'elles tournent à vitesse variable,
- Utilisées pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse variable.

I.6. Types des défauts et leurs causes

Les défauts et leurs causes sont nombreux et les plus répandus sont identifiés. Les défauts peuvent être subdivisés en deux catégories mécaniques et électriques. Ces défauts exigent, ainsi, une attention particulière car, dans certain cas, ils causent l'arrêt intempestif de la machine.

I.6.1. Défauts électriques

I.6.1.1. Défauts du stator

L'armature statorique, munie de son bobinage est une partie de la machine qui subit beaucoup de contraintes et dont les effets sont plus importants à cause de la complexité de la structure et la fragilité de certaines parties telles que les isolants. La quasi totalité de ces défauts sont dus à la dégradation de l'isolant, ils se manifestent sous la forme :

- * D'un court-circuit entre spires.
- * D'un court-circuit entre deux phases.
- * D'un court-circuit entre phase et carcasse.

Ces défauts sont causés suite aux enchainements de dégradation de l'isolant et ils provoquent un déséquilibre des courants des trois phases et par conséquent à une dégradation de l'effet mécanique de la machine.

Ci-dessous des images prises dans un atelier de menuiserie. Figure I.6 bobinage du stator complètement grillé dû à une surtension [7].



Figure I.6 : Stator d'un moteur asynchrone complètement grillé.

I.6.1.2. Défaits du rotor

Les défauts du rotor bobiné sont les mêmes que ceux du stator. Pour le rotor à cage les défauts les plus rencontrés peuvent être, voir figure I.7 comme :

- * Rupture d'une barre rotorique (ou éventuellement plusieurs barres).
- * Rupture de l'anneau de court circuit

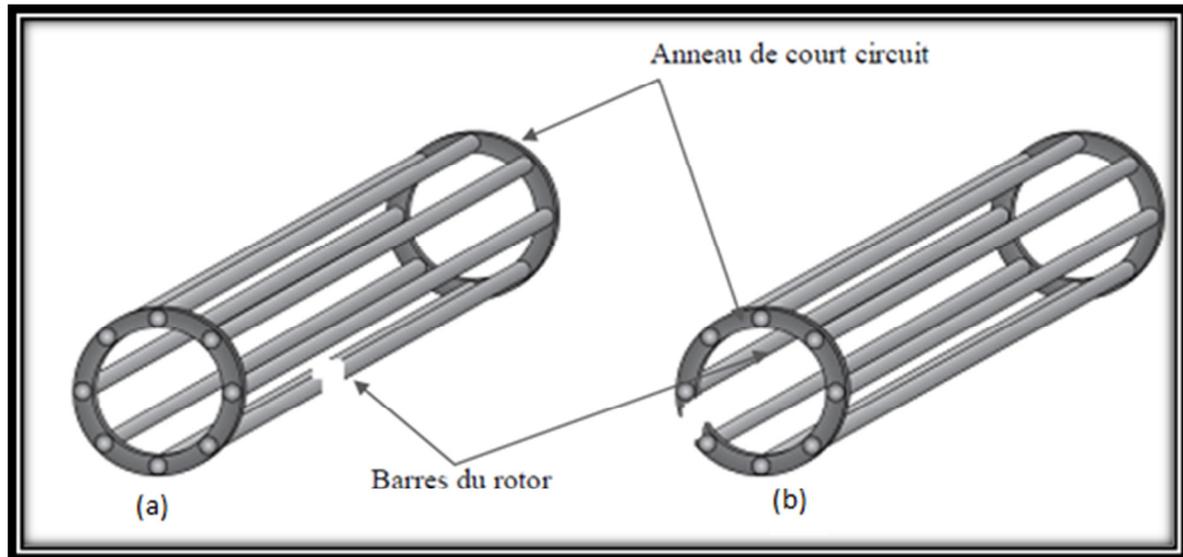


Figure I.7 : Les défauts du rotor à cage : (a) Rupture de barres

(b) Rupture d'anneau de court circuit.

I.6.2. Défaits mécaniques

Plus de 40% de défauts des moteurs asynchrones sont des défauts mécaniques. Ces défauts peuvent être des défauts de roulements (d'excentricité) .

I.6.2.1. Défaits de roulements

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface électromécanique entre le stator et le rotor. En outre, ils représentent l'élément de maintien de l'axe de la machine permettant d'assurer une bonne rotation du rotor. L'auteur présente la plupart des défauts survenant dans les roulements des moteurs à induction ainsi que les raisons de leur vieillissement. Comme, il a été présenté, précédemment figure I.8, ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est, généralement, lié à l'usure du roulement et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement [8].

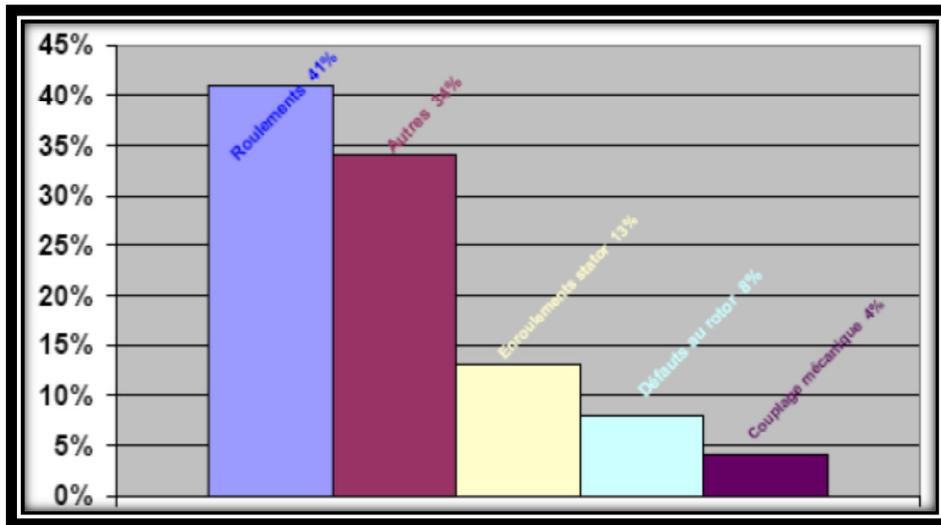


Figure I.8 : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances.

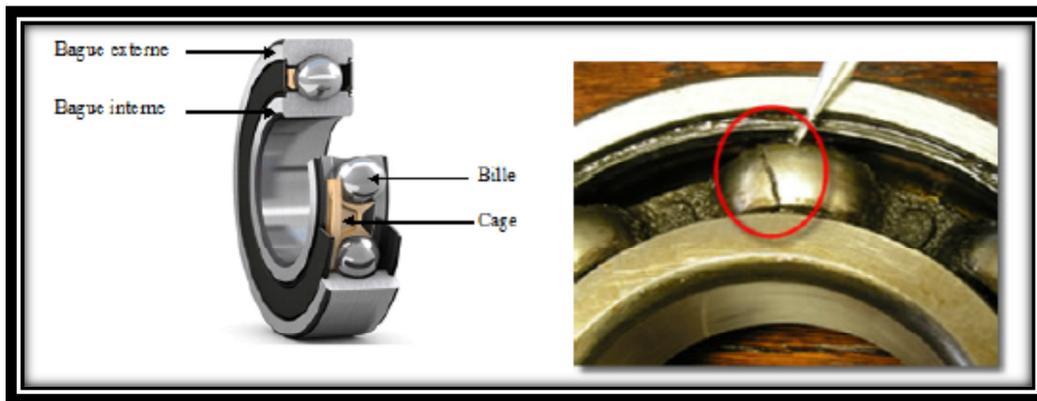


Figure I.9 : le roulement à bille.

I.6.2.2. Défauts d'excentricité

Les conséquences des défauts mécaniques se manifestent généralement au niveau de l'entrefer par des défauts d'excentricité.

L'excentricité, décentrement du rotor par rapport au stator, d'une machine électrique est un phénomène qui évolue dans le temps et qui existe dès sa fabrication.

Le point ultime de l'excentricité est le frottement du stator sur le rotor, qui est synonyme de destruction rapide de la machine.

Trois catégories d'excentricité sont généralement distinguées comme donnée par la figure I.9 :

* **L'excentricité statique** : l'axe de rotation du rotor est fixe mais ne coïncide pas avec celui du stator, dont la cause principale est un défaut de centrage des flasques.

* **L'excentricité dynamique** : le rotor possède un axe de rotation qui tourne autour de l'axe géométrique du stator. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes.

* **L'excentricité dynamique** : le rotor possède un axe de rotation qui tourne autour de l'axe géométrique du stator. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes.

* **L'excentricité mixte** : la plus fréquente, est la combinaison des deux cas su-présentés [7].

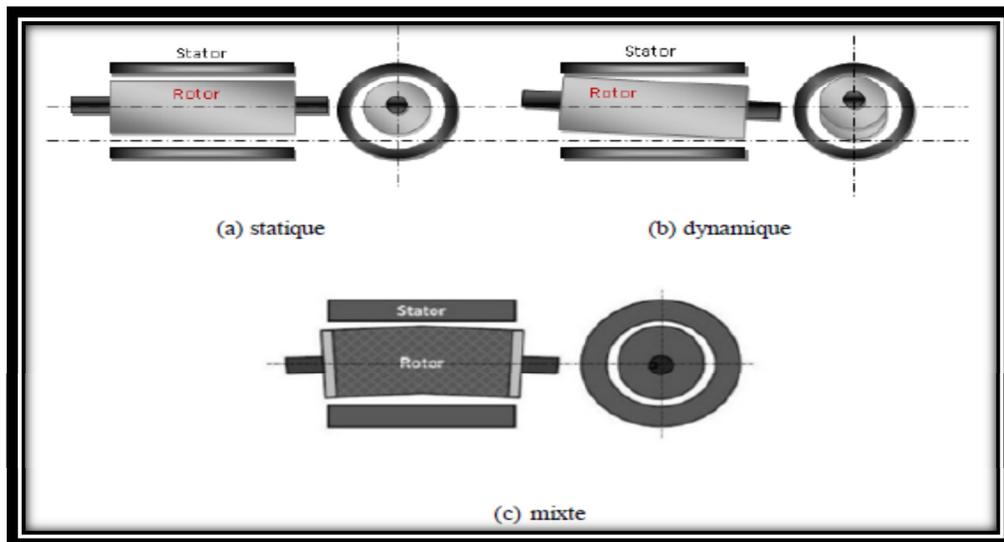


Figure I.10 : Défauts d'excentricité.

Une analyse vibratoire, une analyse par ultrasons, une analyse fréquentielle des courants absorbés ou simplement une analyse visuelle de l'arbre de la machine permettent de détecter ces types de défaillance. Nous pouvons trouver dans la littérature des ouvrages très complets qui traitent ces divers problèmes.

I.7.Méthodes de diagnostic sans modèle analytique

Ces méthodes ne nécessitent pas forcément de modèle précis du système mais reposent plutôt sur une reconnaissance de signatures. Les signatures de défauts, obtenues par modélisation ou par relevé expérimental, sont généralement classées dans une base de données qui seront exploitées ultérieurement par analyse signal ou par système expert (classification, reconnaissance de forme...) [13].

I.7.1.Méthode par traitement de signal

Ces méthodes ne nécessitent de signatures. Les signatures de défauts, obtenues par modélisation ou par mesure sur maquette, sont généralement classées dans une base de données. L'analyse est réalisée par une interprétation du type signal ou par système expert...

Les défauts étudiés par ces méthodes de diagnostic sont :

- Les ruptures de barres ou de portions d'anneaux au rotor.
- Les courts-circuits entre spires au stator.
- L'excentricité statique et dynamique [14].

I.7.2.Méthode par intelligence artificielle (IA)

L'intelligence artificielle imite l'intelligence humaine, inspirée des phénomènes de la nature, heuristique et évolutionnaire, est de plus en plus utilisée dans le domaine de la supervision et du diagnostic, elle a permis d'augmenter l'efficacité et la fiabilité du diagnostic. Elles exploitent les signatures avec ou sans modèle pour réaliser la supervision et le diagnostic du système. Elles ne nécessitent pas de modèle précis du système. Une véritable mutation des recherches vers ce genre de technique pour augmenter l'efficacité du diagnostic et la détection des défauts. En fait, l'Intelligence Artificielle comprend diverses techniques qui sont exploitées dans le domaine du diagnostic, (les réseaux de neurones) [7].

I.8. Méthodes de détection des défauts ou Techniques de surveillance

Pour détecter les défauts suscités, différentes techniques de surveillance, pour les moteurs à induction, ont été développées par différents chercheurs, en utilisant différents paramètres de la machine. Elles peuvent être décrites comme suit.

I.8.1. Analyse de la signature du courant statorique (MCSA)

Pour extraire de manière précise les informations relatives aux défauts, les recherches ont été particulièrement dirigées vers le spectre des courants statoriques pour deux raisons. Les courants sont faciles à mesurer, ils fournissent des informations sur de nombreux défauts. Mais la mesure des signaux puis leurs traitements dans le domaine spectral « FFT » ne peuvent servir, en terme d'identification, que si les composantes fréquentielles définies pour chaque défaut sont connues. Outre cette limitation, cette méthode nécessite un nombre suffisant de points d'acquisition pour garantir une précision fréquentielle minimale. Cette technique est généralement utilisée durant le régime permanent de la machine [14].

I.8.2. Analyse du couple électromagnétique

L'utilisation de ce signal peut s'avérer un bon choix pour la détection des défauts de charge. En effet, les variations du couple de charge vont induire des variations du flux et du courant dans la machine. De même la torsion de l'arbre, entraîne l'apparition d'harmoniques dans le spectre du couple [15].

I.8.3. Analyse par mesure de la température :

un capteur peut être monté sur l'enroulement ou noyé (intégré) dans l'isolant ou placé dans la plaque à bornes est un bon indicateur de la surchauffe de la machine qui est un signe de défauts, Figure I.11 . En plus, récemment des techniques par visualisation des images thermiques par infrarouge sont utilisées pour le diagnostic des différents défauts, Figure : I.12 [7].

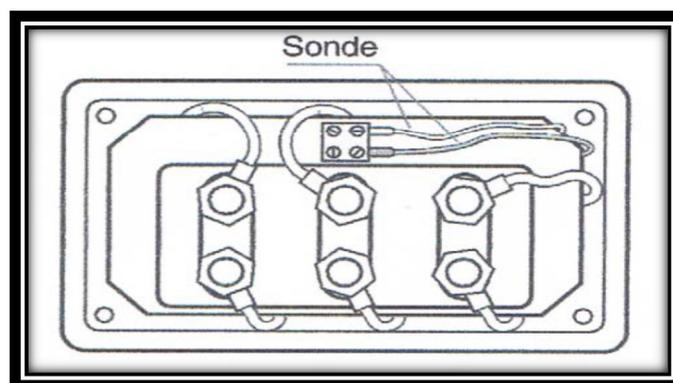


Figure I.11 : capteur de température dans une plaque à bornes.

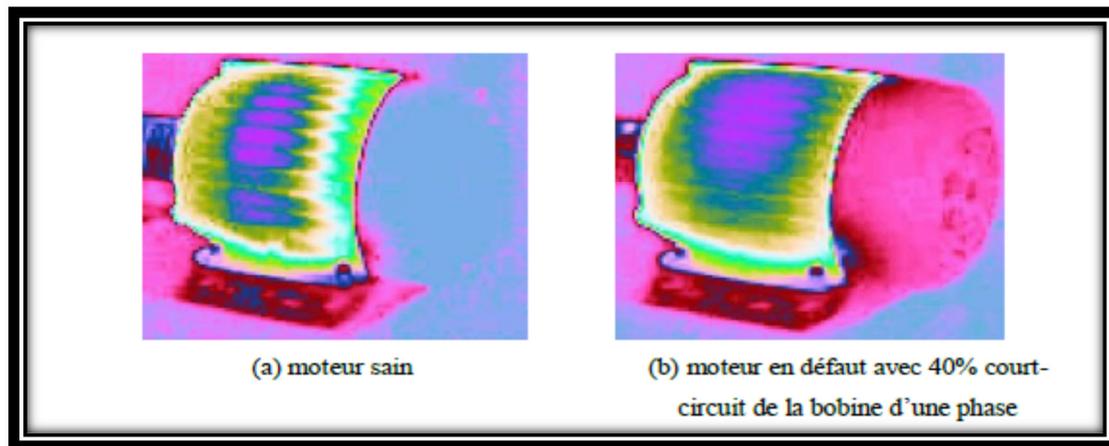


Figure I.12 : techniques par visualisation des images thermiques.

I.8.4. Analyse du flux

Tout déséquilibre quel qu'il soit, magnétique, mécanique, électrique ou bien encore électromagnétique, situé au rotor ou au stator, peut affecter la conversion électromécanique et la répartition de champ dans et hors de la machine. Des études ont donc été menées pour extraire de la mesure des flux d'entrefer, axial ou de fuite des signatures caractéristiques de certains défauts. Pour cela, des bobines exploratrices sont placées à l'extérieur de la machine, parallèlement et perpendiculairement à l'axe du rotor [15].

I.8.5. Analyse des signaux vibratoires

L'analyse des défaillances des moteurs électriques par les signaux vibratoires et acoustiques permet une détection de quasiment tous les défauts, notamment ceux mécaniques, pouvant se produire sur le processus. Cette analyse peut être réalisée à partir de capteurs, généralement des accéléromètres, placés sur les paliers dans les directions verticales, axiales et radiales [15].

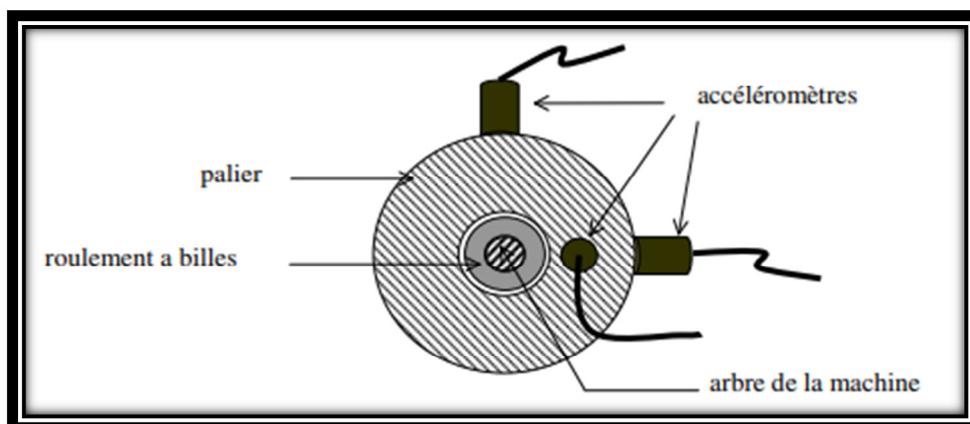


Figure I.13 : mesures vibratoires sur machine asynchrone.

I.9. Diagnostic par l'analyse de la puissance instantanée

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans les moteurs asynchrones, a fait l'objet des nombreux travaux. Il est clair que le niveau d'informations portées par le signal de la puissance est plus grand que celui donné par le courant d'une seule phase, ce qui représente l'avantage de cette méthode par rapport aux autres. Cette méthode est utilisée pour la détection des défauts mécaniques ou encore les défauts électriques tels que les courts circuits entre spires statoriques. Dans cette direction, M. Drif et al. ont démontré l'efficacité de l'utilisation de la puissance apparente pour la détection d'un défaut d'excentricité [16].

I.10. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté la machine asynchrone et ses différents constituants, ainsi que les avantages et les inconvénients de cette machine. En deuxième partie nous avons présenté le défaut et leur cause, enfin nous avons observé la méthode de diagnostic de défaut de machine et leur différentes techniques d'analyse.

Le chapitre suivant traitera le variateur de vitesse pour varier la vitesse d'un moteur à courant alternatif.

II.1.Introduction

La plupart des moteurs tournent à vitesse constante, Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, sur une longue période de recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait appel à des variateurs de vitesse électroniques.

L'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteurs à courant alternatif. Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion (MLI) et les transistors bipolaires à grille isolée (IGBT).

II.2. Principe

Les variateurs de vitesse standards, traditionnellement utilisés dans l'industrie, présentés à la Figure II.1, sont composés de deux convertisseurs connectés par un étage intermédiaire continu (bus DC), constitué de condensateurs. Cette topologie permet d'assurer une conversion indirecte de type AC/DC/AC Figure II.2. Le premier convertisseur est un redresseur à diodes, non commandable, très robuste et peu coûteux. Il génère une tension continue aux bornes du bus DC, à partir d'un réseau d'entrée monophasé (pour les faibles puissances) ou triphasé (pour les plus fortes puissances). Cet étage intermédiaire continu est connecté à un onduleur de tension triphasé, commandé en Modulation de Largeur d'Impulsions (MLI), permettant ainsi de faire varier l'amplitude et la fréquence du fondamental des tensions qui seront appliquées au moteur, on à la figure II.3 et figure II.4 prend dans le stage [10].

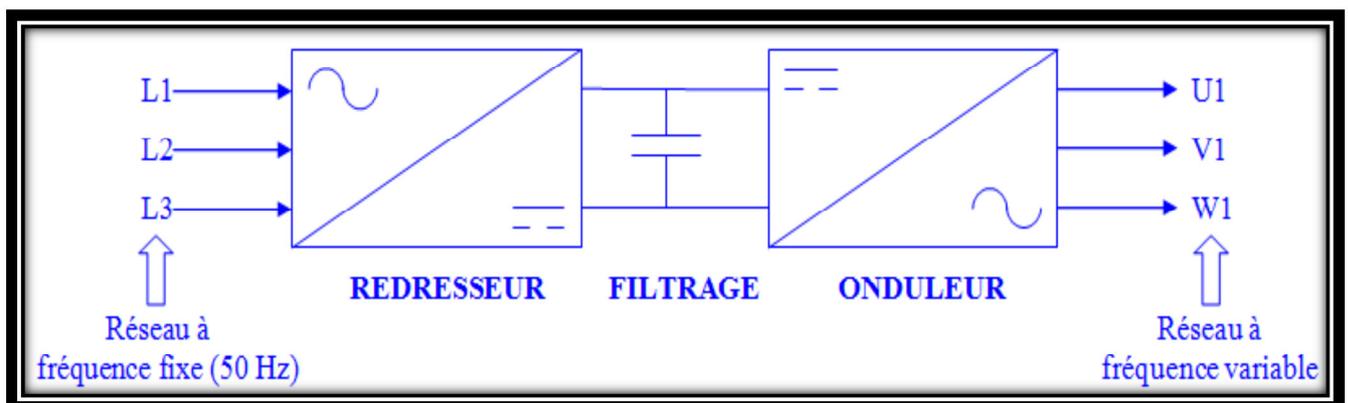


Figure II.1 : principe de variateur de vitesse.

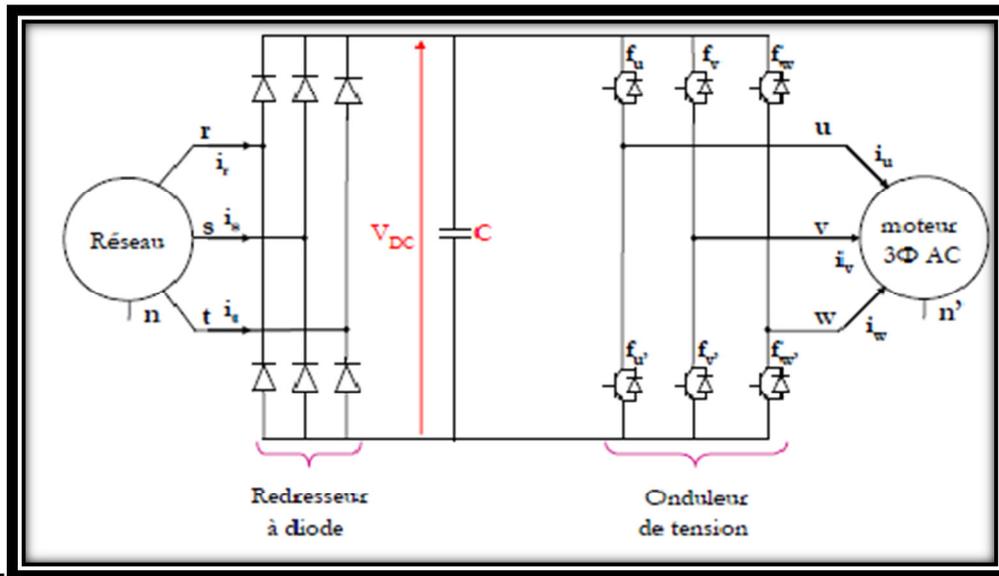


Figure II.2 : topologie des variateurs de vitesse standards.



Figure II.3 : variateurs de vitesse Danfoss VLT 5000.



Figure II.4 : variateurs de vitesse Danfoss VLT 2800.

II.3. Fonction des variateurs de vitesse

Au niveau des ascenseurs, parmi la multitude de possibilités de fonctions qu'offrent les variateurs de vitesse actuels, on épinglera :

- l'accélération contrôlée,
- la décélération contrôlée,
- la variation et la régulation de vitesse,
- l'inversion du sens de marche,
- le freinage d'arrêt [12].

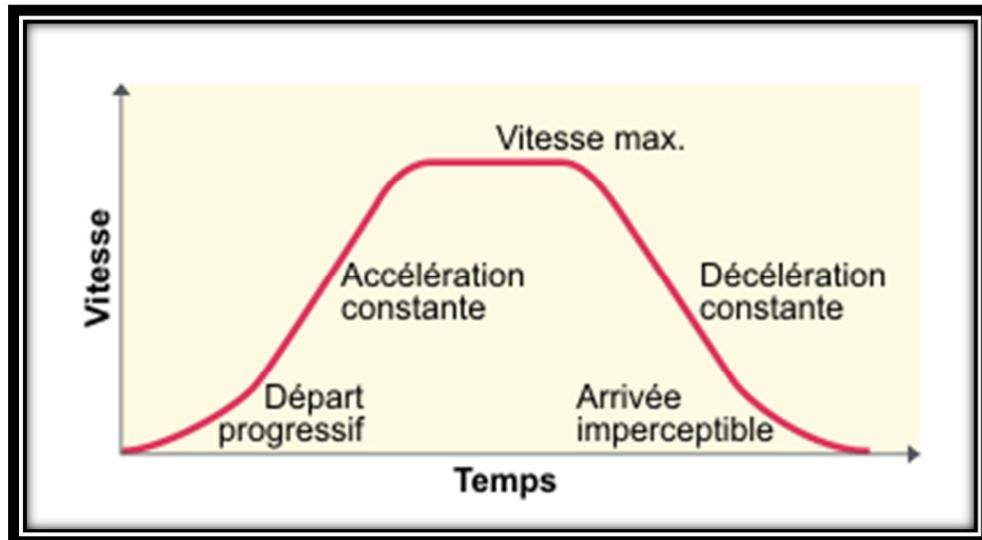


Figure II.5 : Fonction des variateurs de vitesse.

II.3.1. L'accélération contrôlée

Le profil de la courbe de démarrage d'un moteur d'ascenseur est avant tout lié au confort des utilisateurs dans la cabine. Il peut être soit linéaire ou en forme de "s". Ce profil ou "rampe" est la plupart du temps ajustable en permettant de choisir le temps de mise en vitesse de l'ascenseur [12].

II.3.2. La décélération contrôlée

Les variateurs de vitesse permettent une décélération contrôlée sur le même principe que l'accélération. Dans le cas des ascenseurs, cette fonction est capitale dans le sens où l'on ne peut pas se permettre de simplement mettre le moteur hors tension et d'attendre son arrêt complet suivant l'importance du couple résistant (le poids du système cabine/contre-poids varie en permanence); Il faut impérativement contrôler le confort et la sécurité des utilisateurs par le respect d'une décélération supportable, d'une mise à niveau correcte, ...

On distingue, au niveau du variateur de vitesse deux types de freinage :

- En cas de décélération désirée plus importante que la décélération naturelle, le freinage peut être électrique soit par renvoi d'énergie au réseau d'alimentation, soit par dissipation de l'énergie dans un système de freinage statique.
- En cas de décélération désirée moins importante que la décélération naturelle, le moteur peut développer un couple moteur supérieur au couple résistant de l'ascenseur et continuer à entraîner la cabine jusqu'à l'arrêt [12].

II.3.3. La variation et la régulation de vitesse

Parmi les fonctionnements classiques des variateurs de vitesse, on distingue :

- La variation de vitesse proprement dite où la vitesse du moteur est définie par une consigne d'entrée (tension ou courant) sans tenir compte de la valeur réelle de la vitesse du moteur qui peut varier en fonction de la charge, de la tension d'alimentation, ... On est en boucle "ouverte" (pas de feedback) Figure II.6 [12].

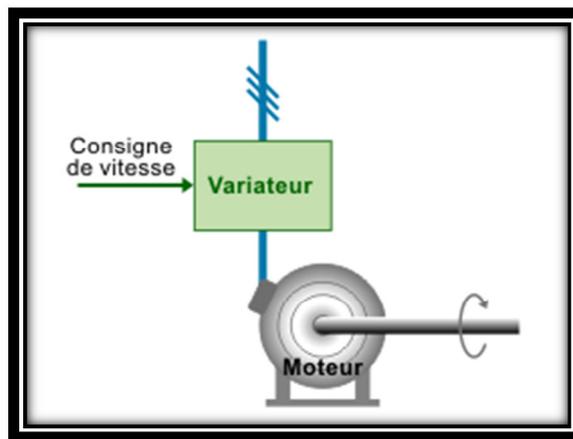


Figure II.6 : Boucle ouverte.

- La régulation de vitesse où la consigne de la vitesse du moteur est corrigée en fonction d'une mesure réelle de la vitesse à l'arbre du moteur introduite dans un comparateur. La consigne et la valeur réelle de la vitesse sont comparées, la différence éventuelle étant corrigée. On est en boucle "fermée" Figure II.7 [12].

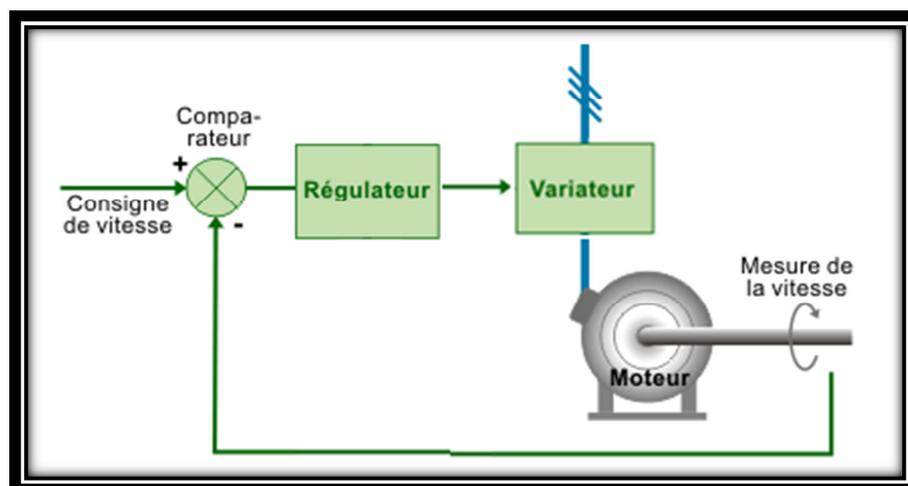


Figure II.7 : Boucle fermée.

II.3.4. L'inversion du sens de marche

Sur la plupart des variateurs de vitesse, il est possible d'inverser automatiquement le sens de marche. L'inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur de l'ascenseur s'effectue :

- soit par inversion de la consigne d'entrée,
- soit par un ordre logique sur une borne,
- soit par une information transmise par une connexion à un réseau de gestion [12].

II.3.5. Le freinage d'arrêt

C'est un freinage de sécurité pour les ascenseurs :

- Avec des moteurs asynchrones, le variateur de vitesse est capable d'arrêter le courant continu au niveau des enroulements statoriques et par conséquent stopper net le champ tournant; la dissipation de l'énergie mécanique au niveau du rotor du moteur (danger d'échauffement important).
- Avec des moteurs à courant continu, le freinage s'effectue au moyen d'une résistance connectée sur l'induit de la machine [12].

II.4. Convertisseurs Statiques

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter la source d'énergie électrique à un récepteur donné. Suivant le type de machine à commander et suivant la nature de la source de puissance (monophasée ou triphasée), on distingue plusieurs familles de convertisseurs statiques [11].

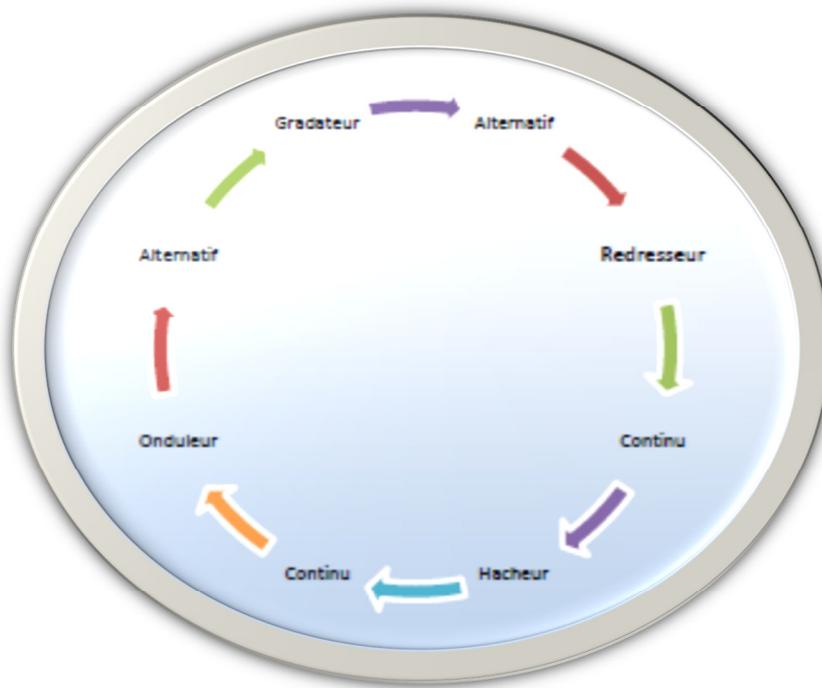


Figure II.8 : familles de convertisseurs statiques.

II.4.1. Les redresseurs

Est un convertisseur destiné à alimenter une charge qui nécessite de l'être par une tension ou un courant continu à partir d'une source alternative. L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension.

Cette opération se réalise par l'utilisation :

- soit d'un pont de diodes, le redresseur est "non-commandé",
- soit d'un pont de thyristors, alors le redresseur est commandé [9].

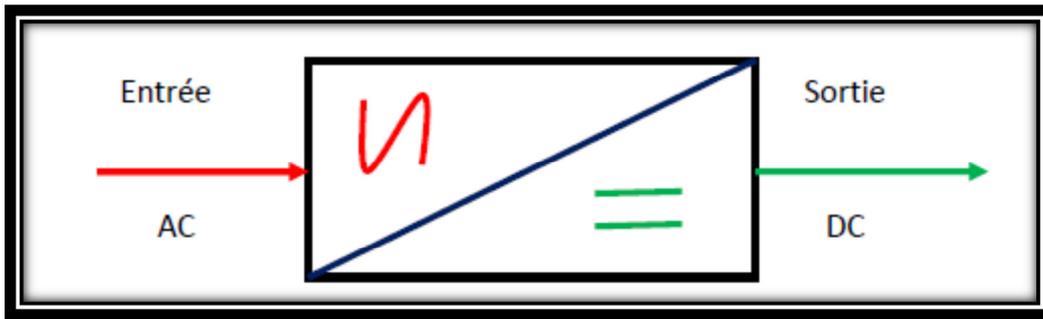


Figure II.9 : symboles des redresseurs

II.4.1.1. Le redresseur commande

Dans les redresseurs commandés, les diodes sont remplacées par des thyristors pour commander la puissance voulue aux bornes du récepteur [11].

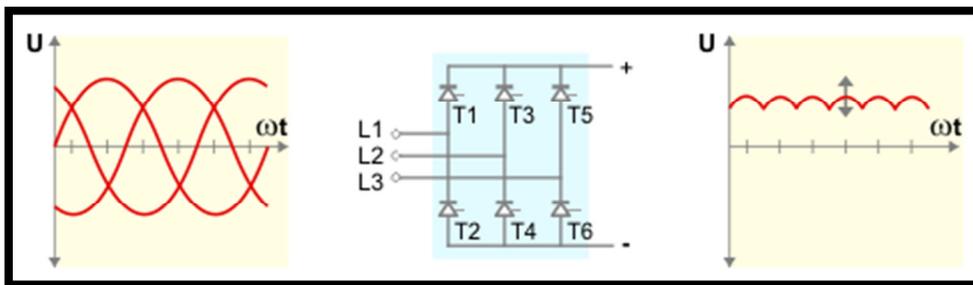


Figure II.10 : redresseurs commandés

II.4.1.2. Le redresseur non commandé

Comme le montre la figure ci-dessous, des deux alternances d'une tension monophasée alternative (positive et négative), seule l'alternance positive passe à travers la diode entre les électrodes couramment appelées "anode" et "cathode"; on dit que la diode est "passante".

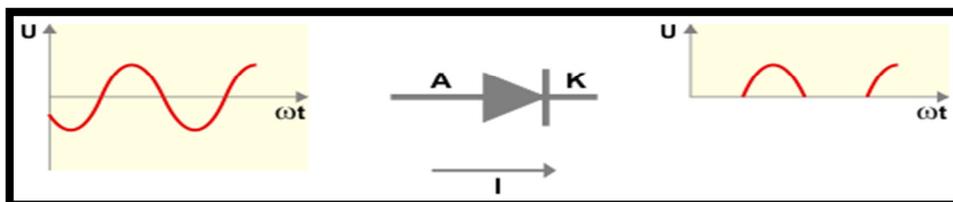


Figure II.11 : fonctionnement de la diode

Pour obtenir une tension continue à la sortie du redresseur, il est nécessaire de trouver un système qui permette d'exploiter les deux alternances; c'est le pont de diodes. Dans un redresseur triphasé non-commandé, le pont de diodes permet, comme le montre la

Figure II.12 , de générer une tension continue en redressant l'alternance négative de chaque une des trois tensions composées. On voit que la tension de sortie n'est pas tout à fait continue et comporte une ondulation résiduelle [12].

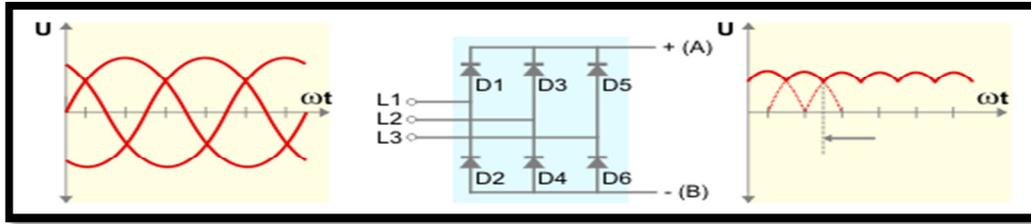


Figure II.12 : redresseurs non-commandés

La tension à ondulation résiduelle sortant du redresseur a une valeur moyenne de l'ordre de 1.35 fois la tension du réseau.

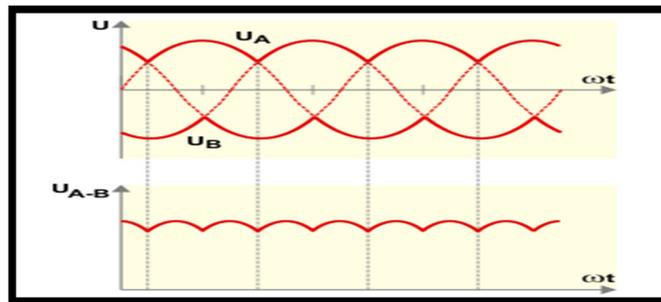


Figure II.13 : tension à ondulation résiduelle.

II.4.2. Le circuit intermédiaire

Ce circuit joue plusieurs rôles suivant les options prises sur le type de variateur dont principalement le lissage en courant ou en tension du signal de sortie du redresseur et le contrôle du niveau de tension ou de courant d'attaque de l'onduleur. Il peut aussi servir à :

- découpler le redresseur de l'onduleur,
- réduire les harmoniques,
- stocker l'énergie due aux pointes intermittentes de charge.

On différencie le circuit intermédiaire à :

1. A courant continu variable lors du redresseur est commandé (variation de la tension de sortie du redresseur).
2. tension continue variable ou constante lorsque le réparateur est passé ou pas.
3. tension variable lorsque le redresseur est non-commandé [12].

II.4.2.1. Le circuit intermédiaire à courant continu variable

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les variateurs à source de courant. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage "passe bas" (filtration des basses fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle. En d'autres termes la bobine transforme la tension de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en un courant continu [12].

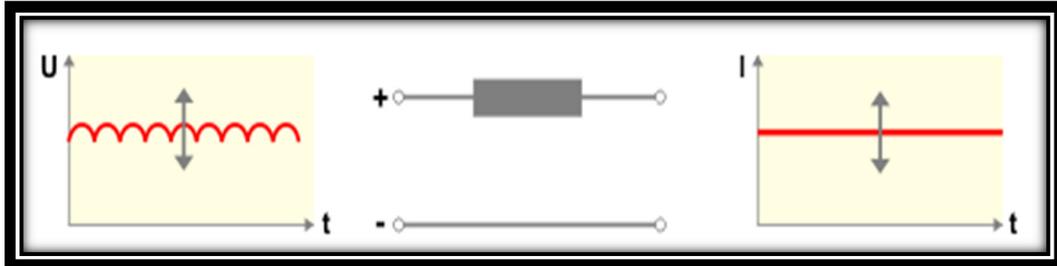


Figure II.14 : Circuit intermédiaire à courant continu variable

II.4.2.2. Le circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les variateurs à source de tension. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage "passe bas" (filtration des basses fréquences) et d'un condensateur "passe haut" (filtration des hautes fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle.

Pour un redresseur commandé, le circuit intermédiaire transforme la tension de sortie à ondulation résiduelle du redresseur en tension continue d'amplitude variable.

Pour un redresseur non-commandé, la tension à l'entrée de l'onduleur est une tension continue dont l'amplitude est constante.

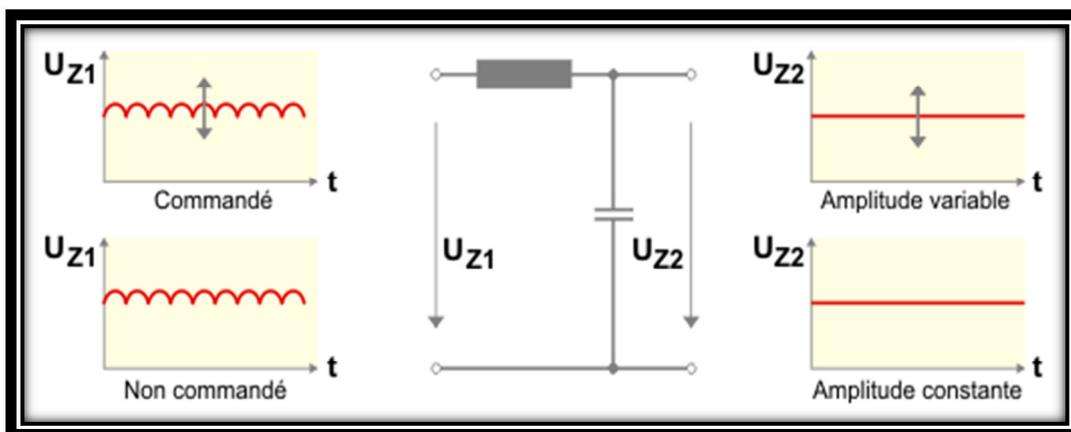


Figure II.15 : Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable.

II.4.2.3. Le circuit intermédiaire à tension variable

À l'entrée du filtre est ajouté un hacheur composé d'un transistor et d'une diode "roue libre". Dans ce cas, le circuit intermédiaire transforme la tension continue de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en une tension carrée lissée par le filtre. Il en résulte la création d'une tension variable suivant que le pilote du hacheur rende le transistor "passant" ou pas [12].

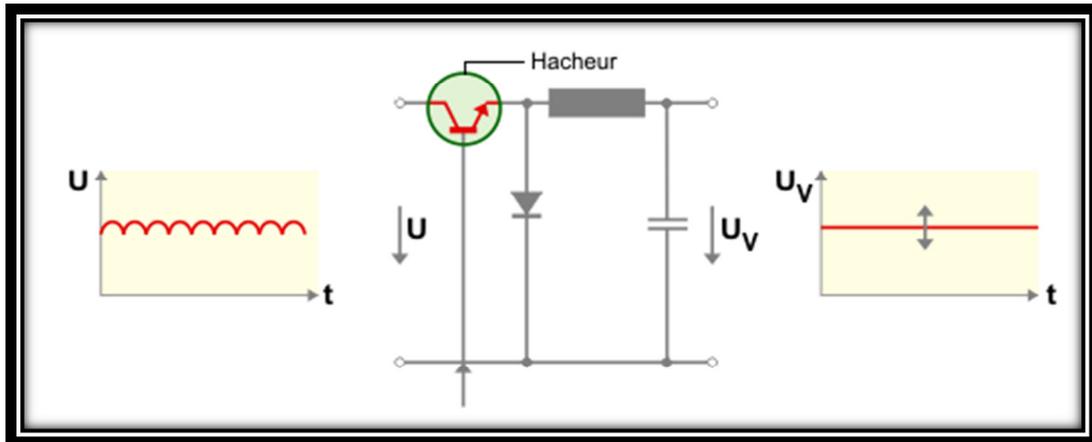


Figure II.16 : Circuit intermédiaire à tension variable.

II.4.3. Les onduleurs

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques continu-alternatif permettant de fabriquer une source de tension alternative à partir d'une source de tension continue

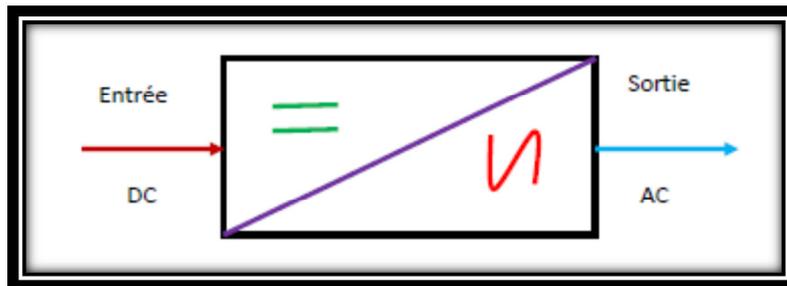


Figure II.17 : symboles des onduleurs.

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue : source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW) [11].

II.5. Modulation de largeur d'impulsion MLI (PWM)

Cette technique est très populaire dans l'industrie. Le principe de cette technique est expliqué dans la figure 10. La comparaison d'une onde sinusoïdale de fréquence f_r et d'amplitude A_r appelée onde de référence avec une autre onde triangulaire de fréquence f_p nettement supérieur à f_r et d'amplitude A_p nous donne les points d'intersections qui déterminent les instants de commutation des interrupteurs. Il en résulte un temps d'impulsion "passante" ou "non-passante" variable reconstituant un courant sinusoïdal en sortie du variateur de vitesse [19].

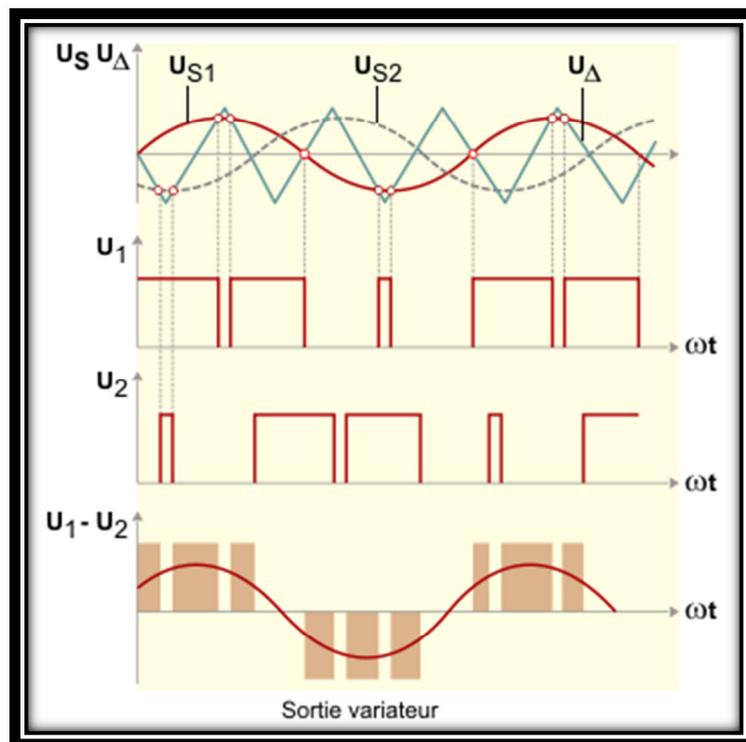


Figure II.18 : Principe PWM à commande par sinusoïde.

II.6. Les avantages et Les inconvénients d'un variateur de vitesse

II.6.1. Les avantages d'un variateur de vitesse

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage ;
- amélioration du facteur de puissance ;
- précision accrue de la régulation de vitesse ;
- prolongement de la durée de service du matériel entraîné ;

- diminution de la consommation d'électricité. De nouveaux variateurs de vitesse plus performants peuvent éviter l'interruption des procédés en cas de perturbation du réseau de courte durée [18].

II.6.2. Les inconvénients d'un variateur de vitesse

- Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde dans le réseau électrique.
- Cette dégradation de l'onde peut perturber les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique ne mesure pas l'immunité.
- Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries de condensateurs.
- Les effets néfastes peuvent se manifester par la défaillance des équipements électriques (surchauffeurs moteurs, des câbles et des transformateurs), par la dégradation de l'isolation des moteurs commandés ou par l'interruption des procédés (fusibles grillés) [18].

II.7. Le circuit de commande

Le circuit de commande ne fait pas partie du circuit puissance du variateur de vitesse. Ce circuit doit garantir quatre fonctions essentielles :

1. La commande des semi-conducteurs du variateur de vitesse.
2. L'échange d'informations de commande, de régulation et d'analyse avec les périphériques.
3. Le contrôle des défauts (interprétation et affichage).
4. La protection du variateur de vitesse et du moteur.

La venue des microprocesseurs a permis d'accroître la vitesse d'exécution des informations de commande et de régulation du circuit de commande vis à vis des autres circuits (circuit intermédiaire, onduleur, ...).

Le circuit de commande est donc en mesure de déterminer le schéma optimum d'impulsions des semi-conducteurs pour chaque état de fonctionnement du moteur par rapport à la charge, au réseau, aux consignes de commande.

La régulation de vitesse de moteurs triphasés à courant alternatif évolue selon deux principes de commandes différents :

- la commande U/f (Scalaire),
- la commande vectorielle de flux (*VVC : Voltage Vector Control*).

Ces principes déterminent la manière de programmation des algorithmes de commande et de régulation des variateurs de vitesses. Les deux méthodes présentent des avantages en fonction des exigences spécifiques des performances (couple, vitesse, ...) et de la précision de l'entraînement [12].

II.7.1. la commande U/f = Cst (Scalaire)

La commande U/f se base sur la mesure de grandeurs scalaires (valeurs d'amplitude en tension et en fréquence). C'est le système de commande de base des variateurs de fréquence standards [12]. La commande en U/f se justifie à partir du schéma équivalent classique de la machine asynchrone, La figure II.19 représente le schéma équivalent par phase d'une machine asynchrone. Le flux est créé par le courant circulant dans l'inductance magnétisante L_m . Les performances optimales du moteur sont obtenues si le flux, et donc le courant magnétisant, est maintenu sensiblement constant sur toute la gamme de vitesse. Le courant magnétisant peut être calculé par l'expression :

$$I_d = \frac{E_s}{L_m * \omega}$$

avec $E_s = V_s - (R_s + L_s * \omega) I$ En négligeant $(R_s + L_s * \omega) I$

on obtient :

$$I_d = \frac{V_s}{\omega} \frac{I}{L_m} = \frac{V_s}{f} \frac{I}{2\pi * L_m}$$

Le courant magnétisant peut donc être maintenu constant en maintenant le rapport $\frac{V_s}{f}$ sensiblement constant.

Toutefois, à des fréquences et des tensions faibles, le terme $(R_s + L_s * \omega) I$ ne peut plus être négligé, et en particulier le terme $R_s I$. Pour maintenir le flux constant, quelle que soit

la charge du moteur et donc quel que soit le courant absorbé, le maintien d'un rapport $\frac{V_s}{f}$ constant n'est pas suffisant [17].

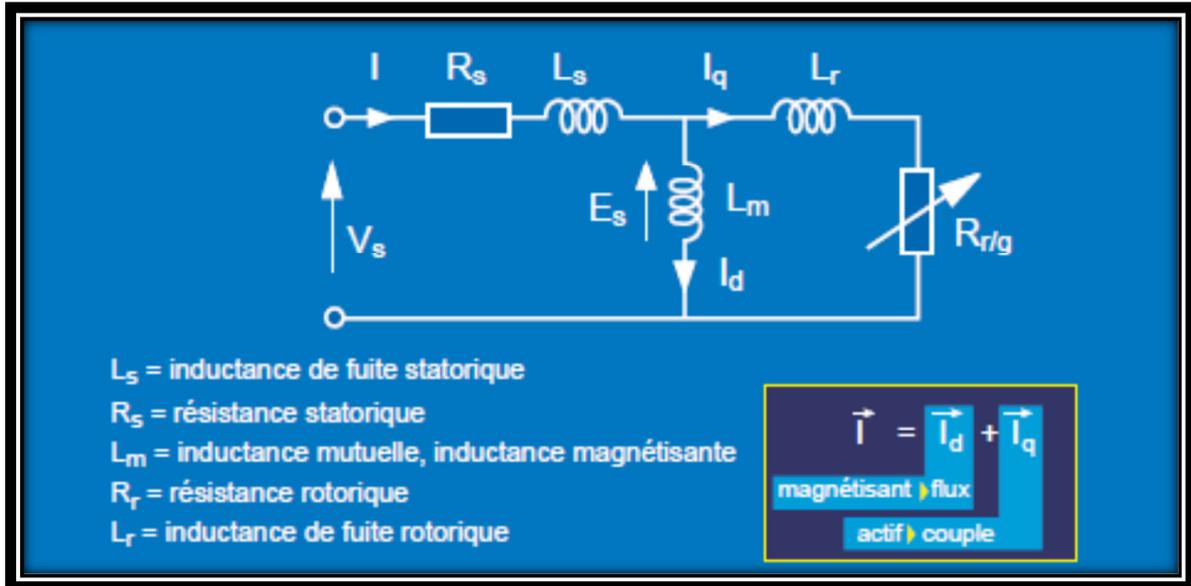


Figure II 19 : Le schéma équivalent du moteur asynchrone.

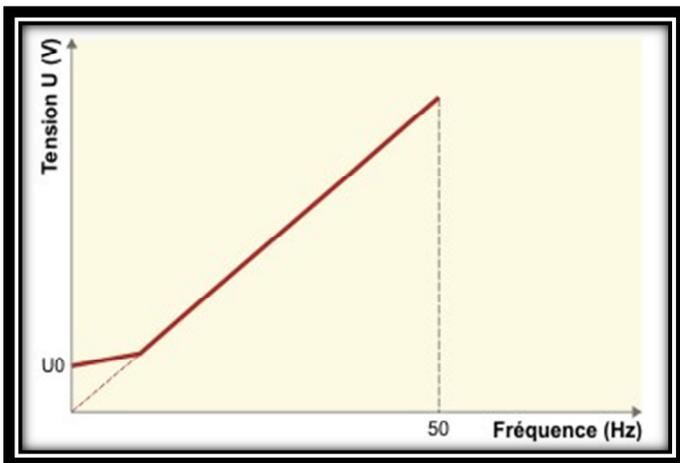


Figure II 20 : Fonctionnement U/f constant.

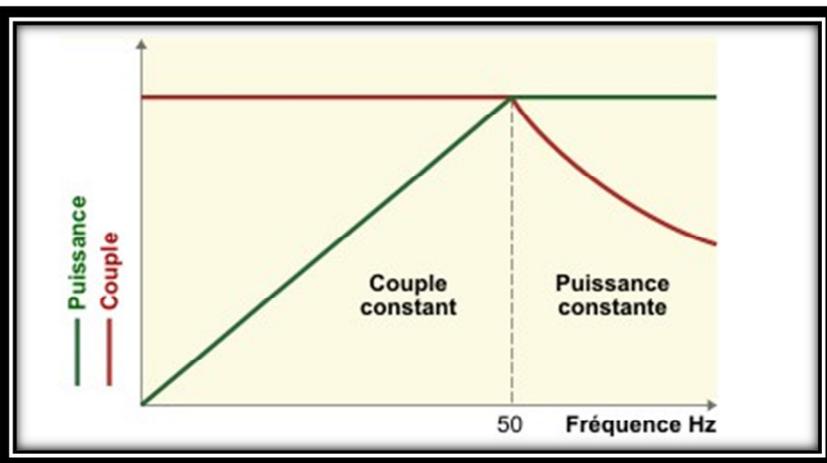


Figure II 21 : Fonctionnement à couple constant

Sous une fréquence de 50 Hz.

La figure II. 21 et figure II. 22 montrent les profils des courbes du couple en fonction de la vitesse pour différents rapports U/f :

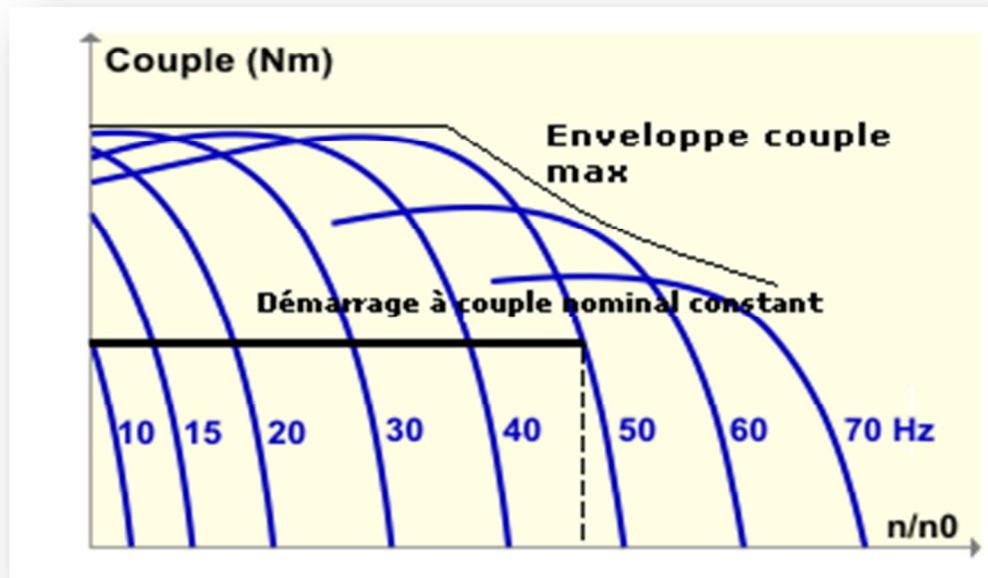


Figure II.22 : Fonctionnement à couple constant.

II.7.2. La commande vectorielle de tension (ou de flux)

Pour ce type de commande, il est nécessaire de fournir des indications précises sur les paramètres du moteur (codage de la plaque signalétique). La commande vectorielle en tension agit selon le principe de calcul de la magnétisation optimale du moteur à différentes charges à l'aide des paramètres de compensation pour contrôler le glissement et la charge du moteur. Comme le nom de l'indique, la commande vectorielle dans la tension travaille avec les vecteurs de tension à vide et de compensation par rapport à la variation de la charge. La commande à champ orienté travaille avec les valeurs des courants actifs, de magnétisation (flux) et du couple. Un certain modèle mathématique approprié, il est possible de déterminer le couple nécessaire au moteur en fonction des vecteurs du flux statorique et du courant rotorique et ce qui optimise et règle le champ magnétique et la vitesse du moteur en fonction de la charge [12].

II.8. Les avantages et Les inconvénients des La commande vectorielle de flux

II.8.1. Les avantage

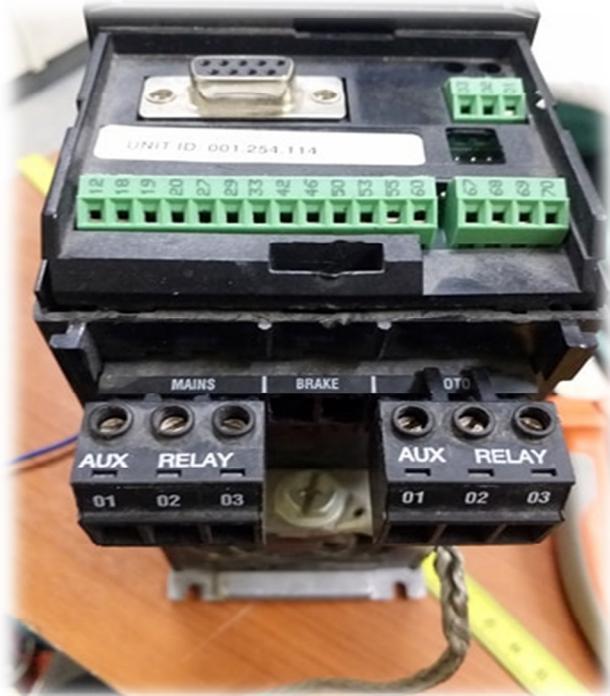
- bonne réaction aux variations de charge.
- régulation précise de la vitesse.
- couple intégral à vitesse nulle.
- performance semblable aux entraînements à courant continu.
- réaction rapide aux variations de vitesse et large plage de vitesses (1/100).
- meilleure réaction dynamique aux variations de sens de rotation.
- une seule stratégie de commande pour toute la plage de vitesse est nécessaire [12].

II.8.2. Les inconvénients

- nécessite de connaître les caractéristiques précises du moteur [12].

II.9. Photo de stage

II.9.1. variateur de vitesse VLT 5000 et 2800

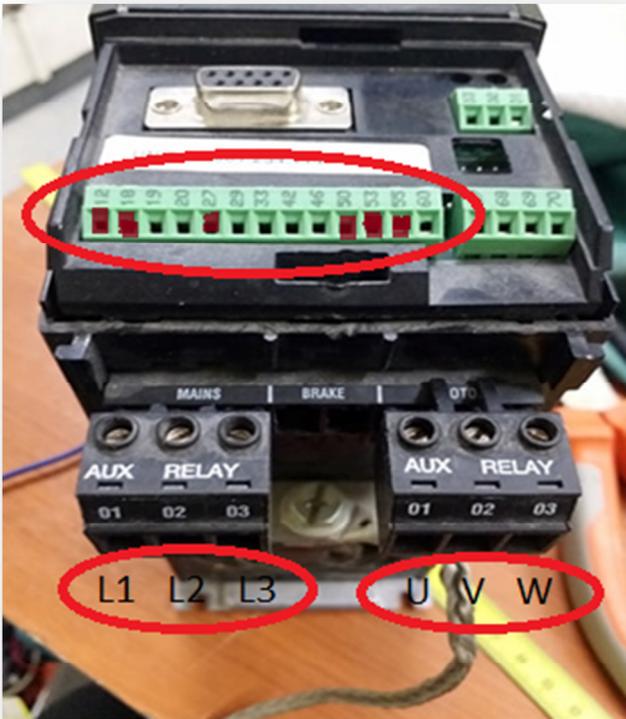
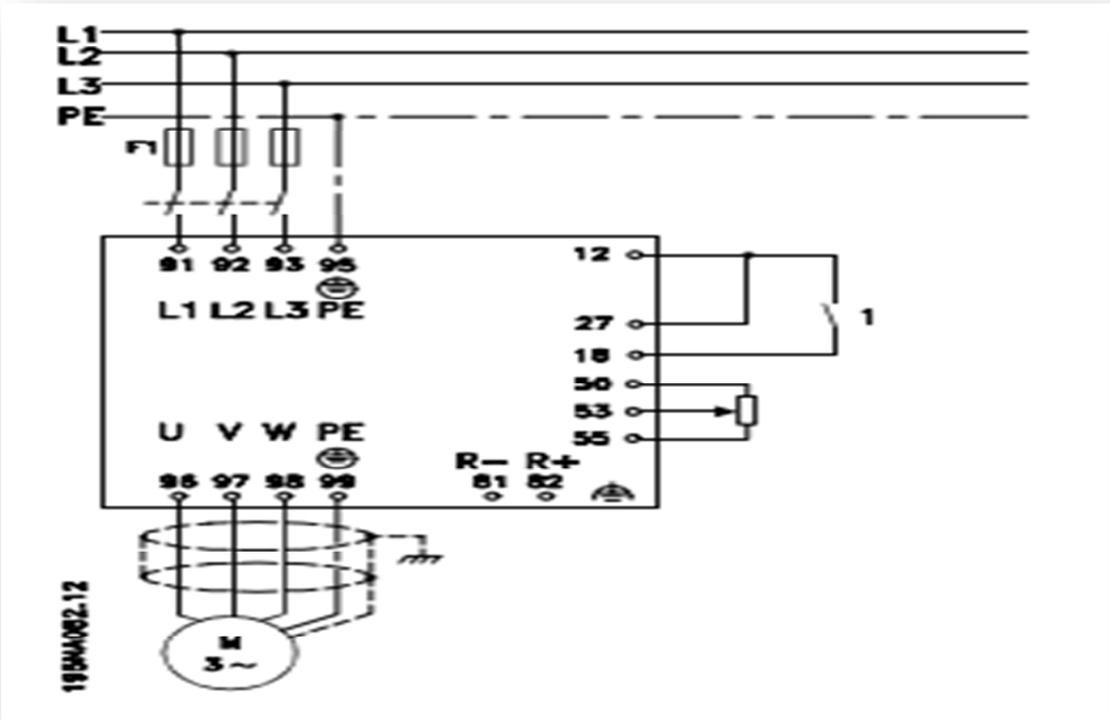


380-4800V

F= 50/60 Hz

I=1.9A

II.9.2. Câblage de variateur de vitesse VLT 2800



II.9.3. Armoire de variateur de vitesse



II.10. CONCLUSION

Dans Ce chapitre nous avons étude variateur de vitesse premièrement on à étude le principe de variateur de vitesse avec leur fonctionnement, deuxièmement nous avons présente le convertisseur statique, qu'il est la composant du variateur de vitesse, enfin nous avons observé les commande de variateur de vitesse, ainsi nous avons présenté des photos de stage.

III.1. Introduction

Le défaut de cassure de barres rotorique dans les moteurs asynchrones alimentés par le réseau a été étudié en détail pour des conditions de régime permanent. La méthode de l'analyse spectrale utilisant la TFR a été largement rapportée dans la littérature et elle est considérée comme une technique de référence de diagnostic de défauts des moteurs asynchrone alimentés directement par le réseau. Cependant, quand un moteur asynchrone triphasé est alimenté par un variateur de vitesse (convertisseur de fréquence) constitué d'un redresseur, un filtre et un onduleur à MLI, ses courants, tensions et couple électromagnétique.

Ce chapitre présente une étude expérimentale du diagnostic de défaut de cassures de barres rotorique avec deux cassures de barres, d'un moteur asynchrone entraîné par un variateur de vitesse avec un commande scalaire ($V/f = \text{constant}$) en boucle ouverte.

Le but principal de ce travail est d'étudier expérimentalement la capacité de la TFR de diagnostiquer la présence d'une barre rotorique cassée sous différentes vitesses et niveaux de la charge. La TFR sera utilisée pour l'analyse des signaux du courant statorique de moteur.

III.2. Analyse du courant stator

La signature fréquentielle spécifique au défaut "barres cassées" est la forte modulation des harmoniques du courant par la fréquence de glissement. Dans cette analyse fréquentielle, il est préférable de faire une étude globale sur les courants. Il est vrai qu'un défaut rotor est visible sur le spectre des trois courants de ligne. Mais faire une FFT sur chaque courant risque d'être pénalisant en temps de calcul. C'est pour cela que nous avons opté pour l'analyse spectrale de la combinaison des trois courants, traduite par la composante symétrique direct I_s [20].

III.3. Transformée de Fourier Rapide (FFT)

La transformée de Fourier rapide (TFR) est une technique largement utilisée pour la détection des défauts dans les machines asynchrones Elle donne de bons résultats pour des fonctionnements à forte puissance ou à couple constant [21].

En effet, il est très connu que le filtrage de la composante de fréquence fondamentale du courant d'alimentation du moteur peut affecter aussi les composantes latérales $(1 \pm 2g) f$ pour le cas de défaut de cassure de barres rotorique.

III.4. La programmation

III.4.1. Programme de converti .Data à .mat

```
clc
essai=crt_ten_ce_w_d_36ch_2;
T=essai.X.Data;
ia=essai.Y(1,1).Data;
ib=essai.Y(1,2).Data;
ic=essai.Y(1,3).Data;
va=essai.Y(1,5).Data;
vb=essai.Y(1,6).Data;
vc=essai.Y(1,7).Data;

ce=essai.Y(1,8).Data;
clear
```

III.4.2. Programme de FFT

```
tail_fft=10000*10;
tail_fenetre=tail_fft;
%% CALCUL DE LA FFT DU SIGNAL %%
fe=10000;          %fréquence d'échantillonn,k,, ,age.

%Le spectre du courant:
[B,F,t]=specgram(ia,tail_fft,fe,hanning(tail_fenetre),1);
ab=abs(B);          %L'amplitude de la FFT
ab_nor=ab/(max(max(ab))); %Normalisation par rapport au
maximum:
ab_nor_lo=20*log10(ab_nor); % echelle logarithmique.
ab_nor=2*ab/length(ab);
ab_nor=ab_nor*100/max(ab_nor);
figure(2)
plot(F,ab_nor,'r');hold on;grid on;
clear
```

III.5. Motors Asynchrone triphasé 1KW avec un variateur de vitesse

III.5.1. État sain

La figure (III.1,...III.12) représente les spectres du courant statorique i_a correspondant à un moteur asynchrone sain alimenté par le variateur de vitesse à différents charge ($C_r= 0\text{Nm}$, 1.6Nm , 3.6Nm et 6.6Nm). Il est remarqué que l'analyse spectrale des courants confirme l'état sain du moteur par l'absence de composantes latérales $(1 \pm 2g) f$.

III.5.1.1. fréquence $F = 20 \text{ HZ}$

a) À vide

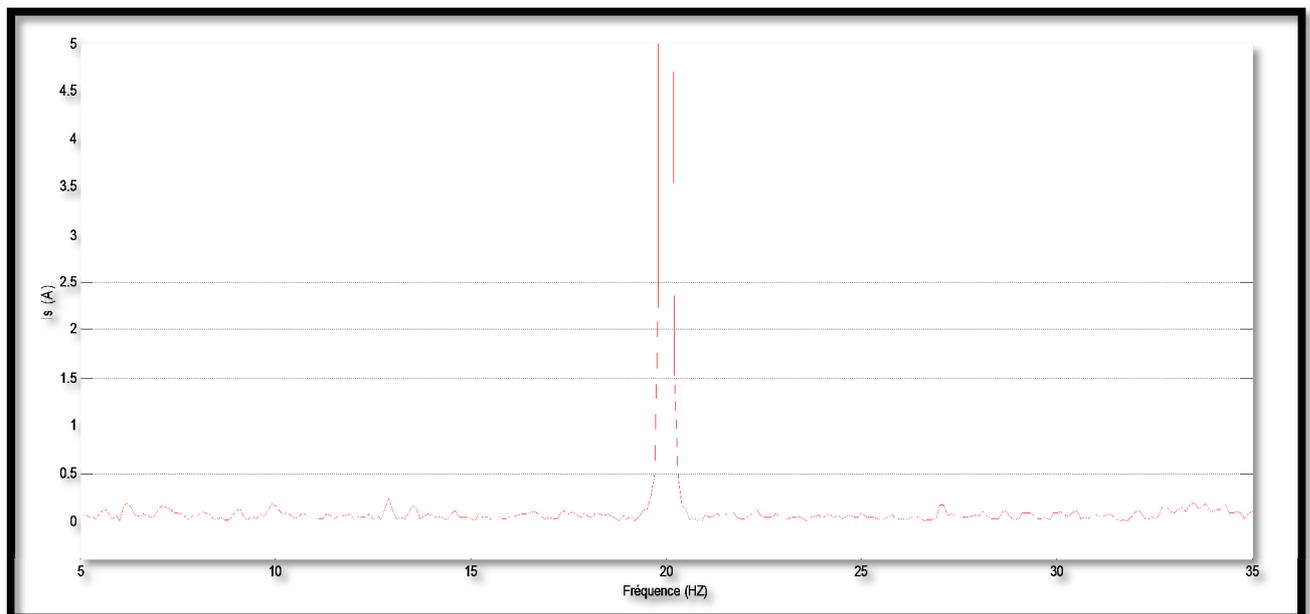


Figure III.1 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, à vide.

b) charge = 1.6 Nm

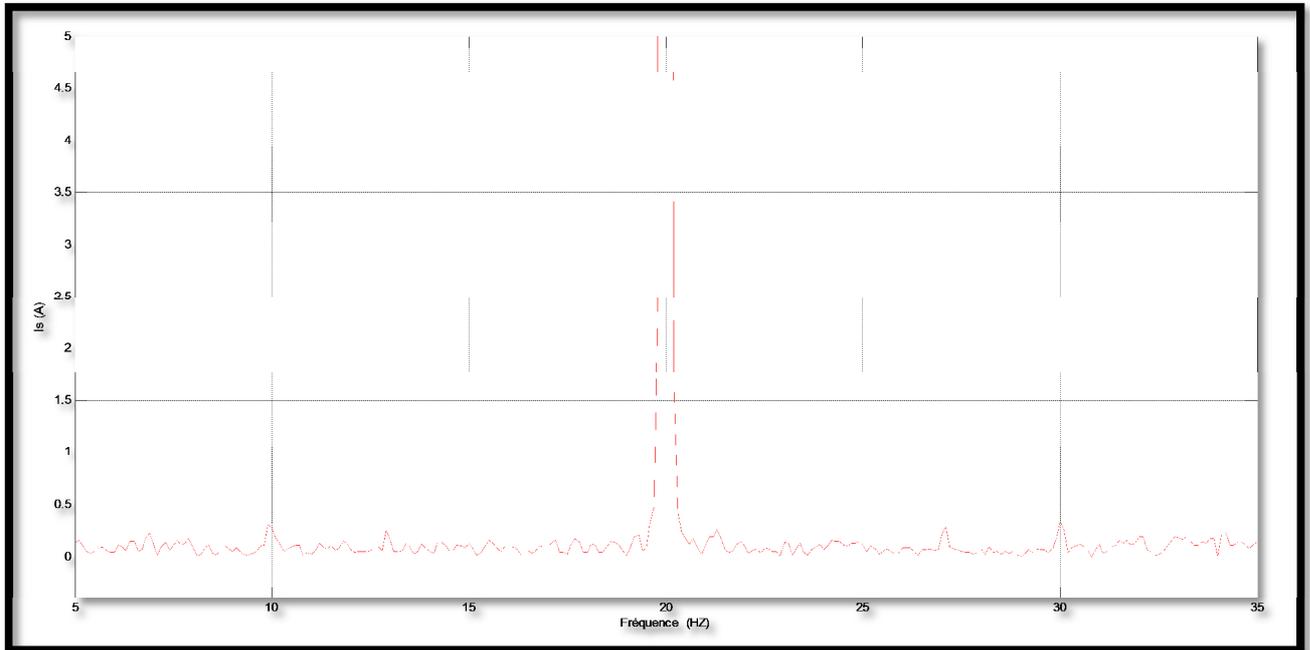


Figure III.2 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 HZ, la charge $C_r=1.6$.

c) charge = 6.6 Nm

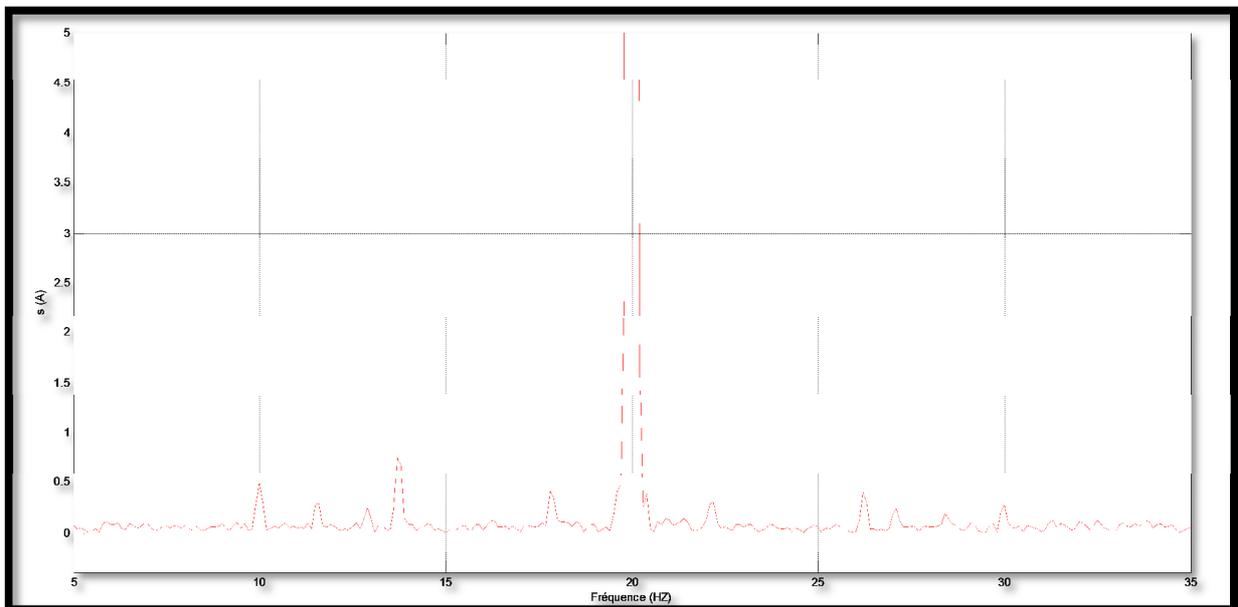


Figure III.3 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $C_r=6.6$.

III.5.1.2. fréquence $F = 30$ HZ

a) À vide

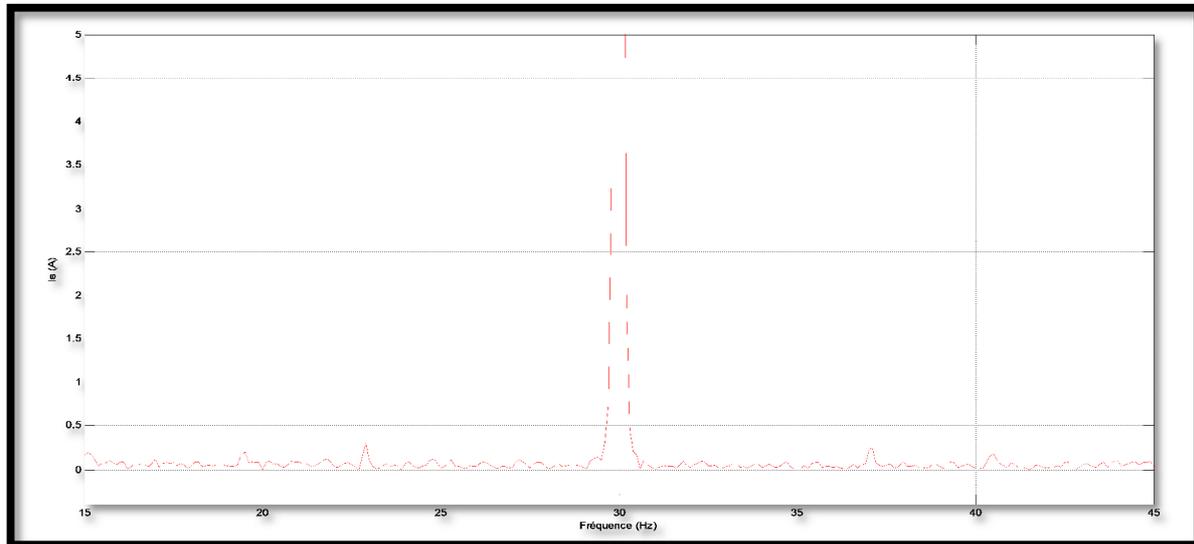


Figure III.4 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, à vide.

b) La charge $C_r = 3.6$ Nm

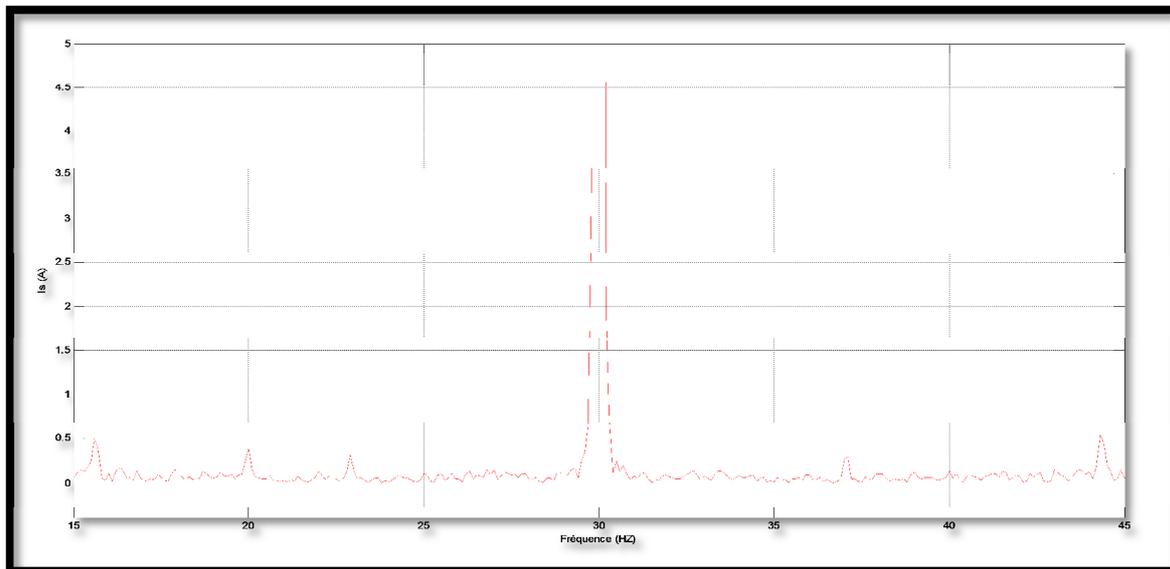


Figure III.5 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=3.6$.

c) La charge $Cr = 6.6 \text{ Nm}$

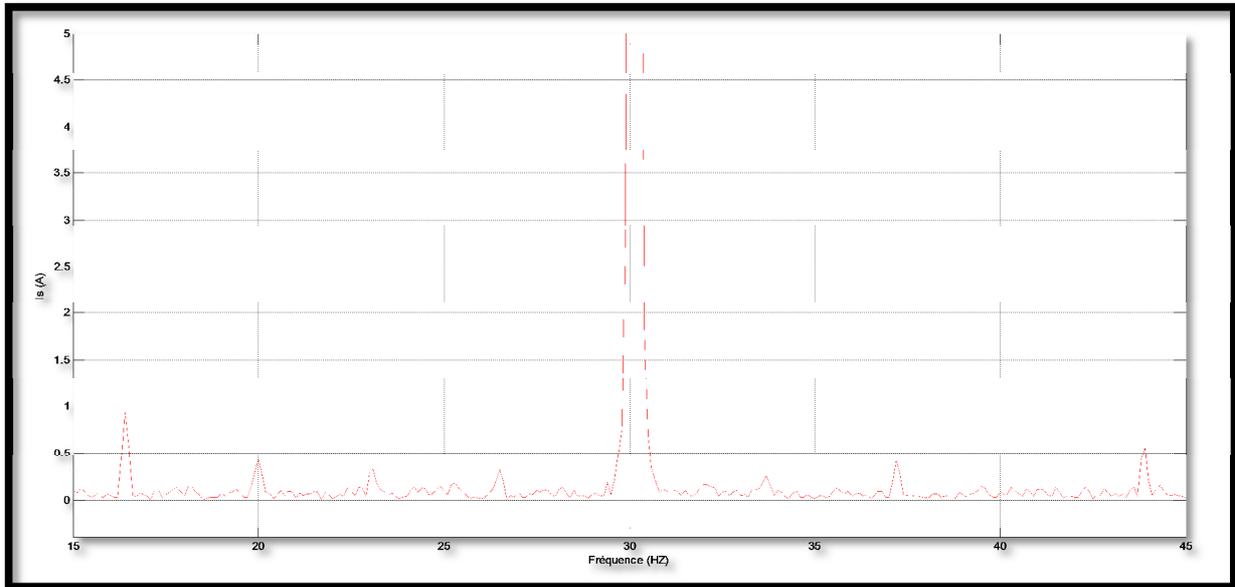


Figure III.6 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $Cr=6.6$.

III.5.1.3. fréquence $F = 40 \text{ HZ}$

a) À vide

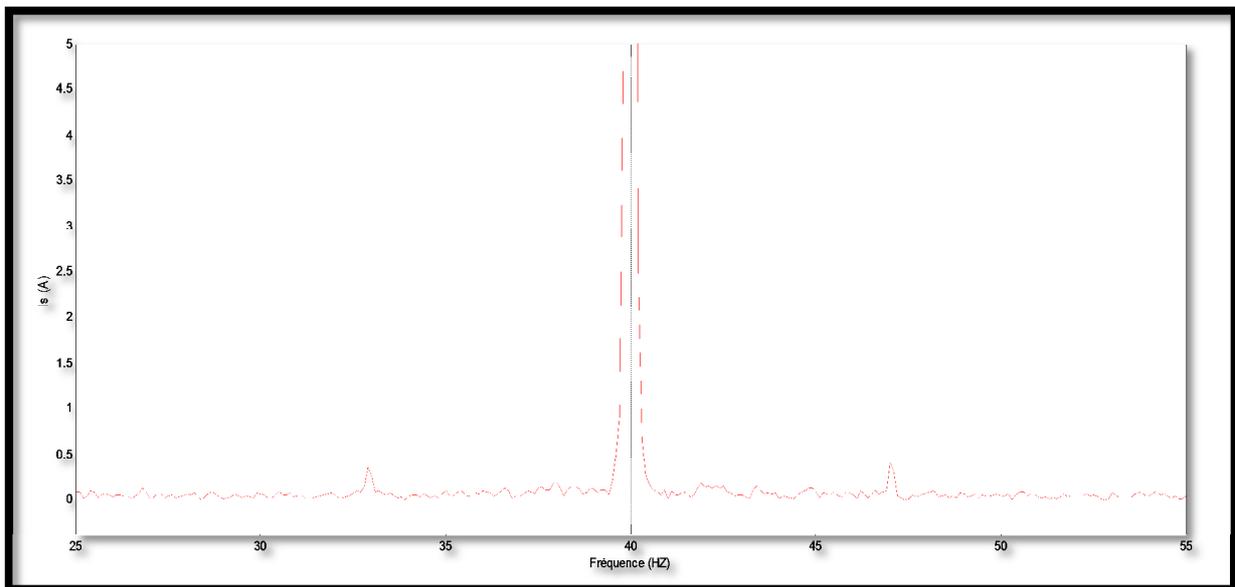


Figure III.7 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz.

b) La charge $C_r = 1.6 \text{ Nm}$

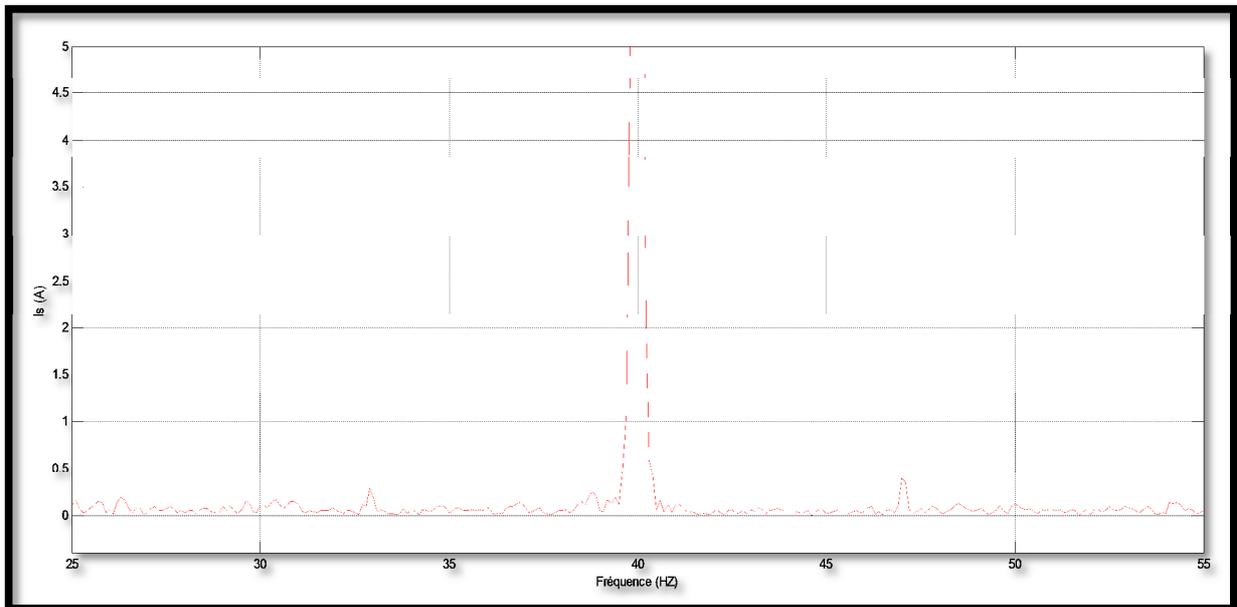


Figure III.8 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=1.6$.

c) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$

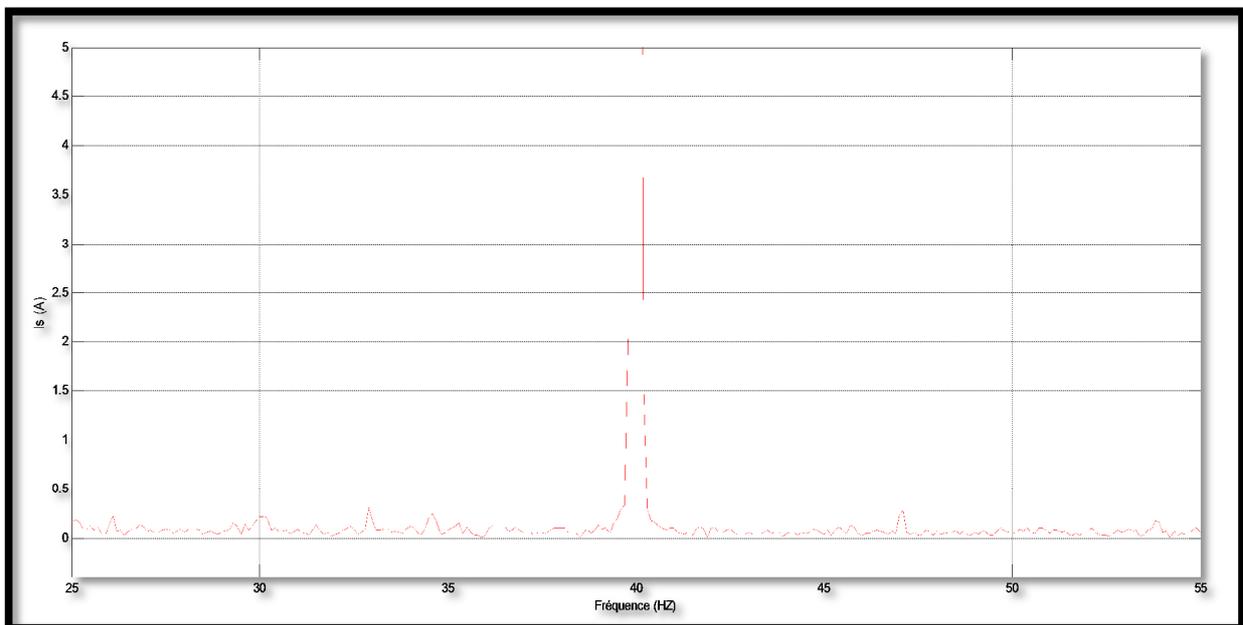


Figure III.9 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=6.6$.

III.5.1.4. fréquence $F = 50$ HZ

a) À vide

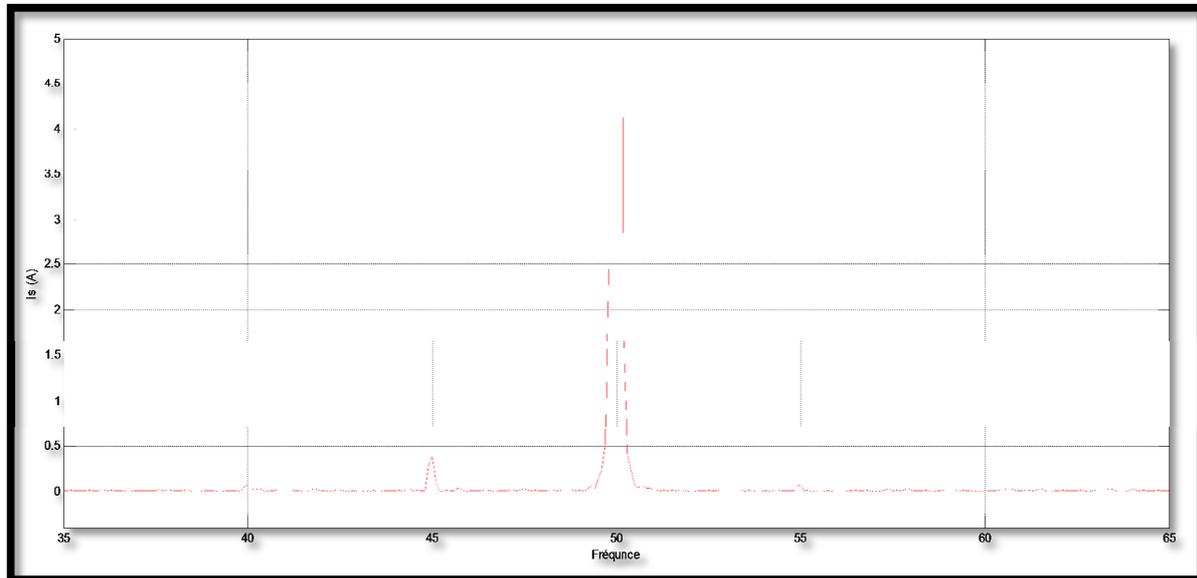


Figure III.10 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 HZ.

b) La charge $C_r = 3.6$ Nm

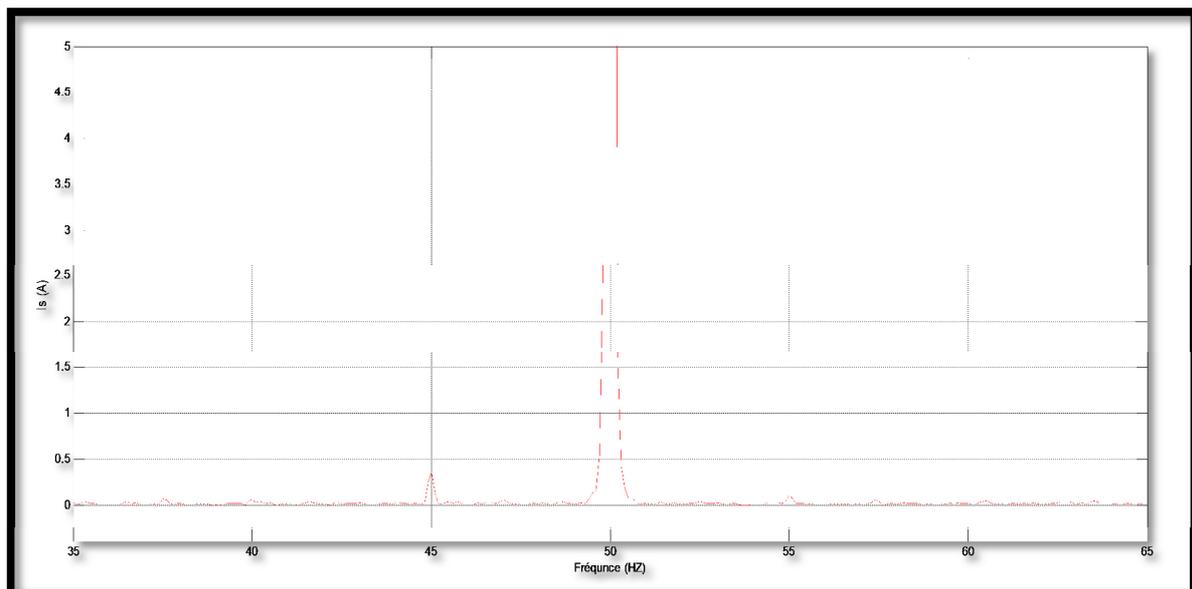


Figure III.11 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=3.6$.

c) La charge $Cr = 6.6 \text{ Nm}$

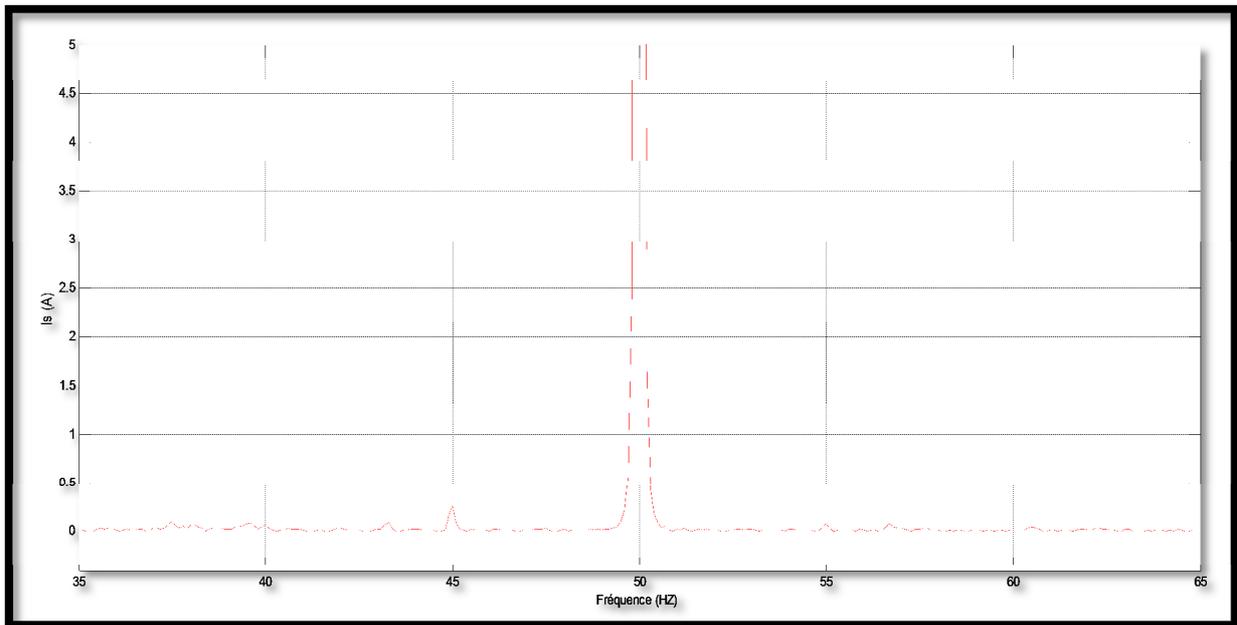


Figure III.12 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $Cr=6.6$.

III.5.2. Une Barre Cassée

La présence des composantes latérales $(1 \pm 2g) f$ dans les spectres des figures (III.13,...III.16), pour un moteur asynchrone alimenté par le variateur de vitesse que donné à défronce fréquence ($F= 30\text{HZ}$ et 50HZ) démontre l'existence des barres cassées au rotor, en particulier à charge défronce ($Cr= 3.6$ et 6.6Nm).

L'augmentation des composantes latérales $(1 \pm 2g) f$ est importante comparé à ses valeurs à l'état sain, Spectres du courant statorique i_a du moteur avec une barre cassée et la charge $Cr=3.6$ et 6.6Nm , alimenté par le variateur de vitesse donne la fréquence 50 Hz et 30 Hz .

III.5.2.2. fréquence $F = 30$ HZ

a) La charge $Cr = 3.6$ Nm

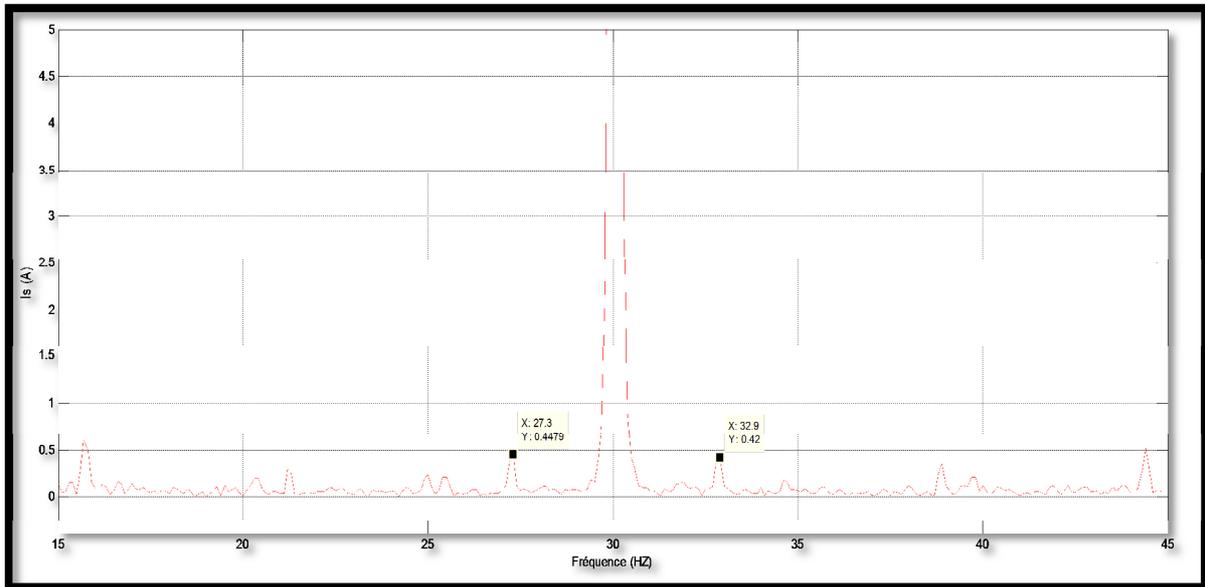


Figure III.13 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $Cr=3.6$ et $g=4.8\%$.

b) La charge $Cr = 6.6$ Nm

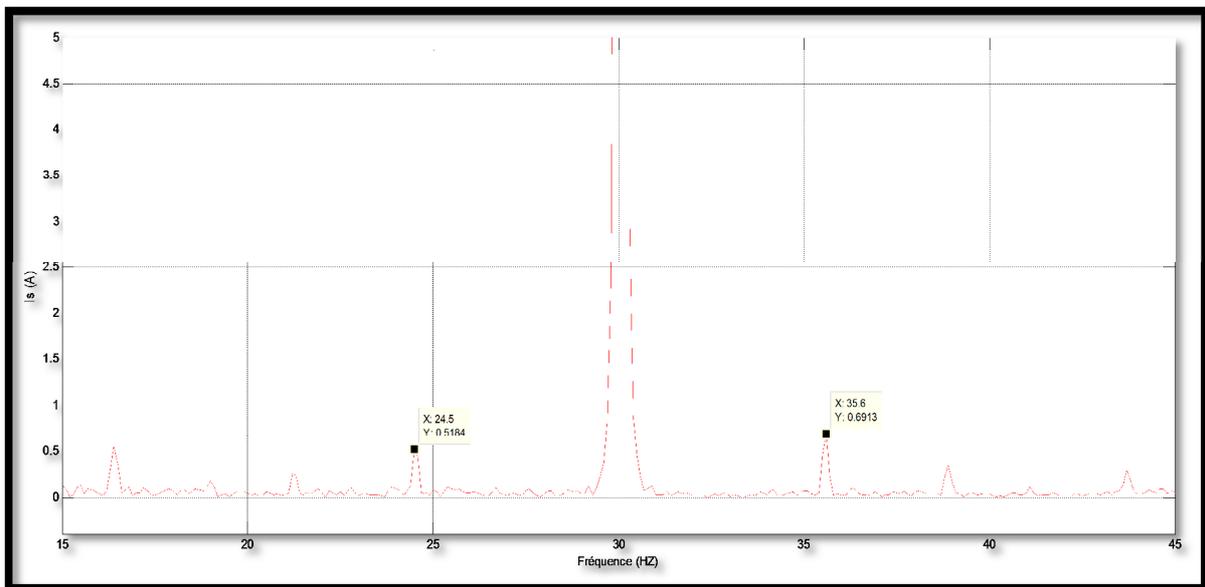


Figure III.14 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=9.3\%$.

III.5.2.3. fréquence $F = 50$ HZ

a) La charge $Cr = 3.6$ Nm

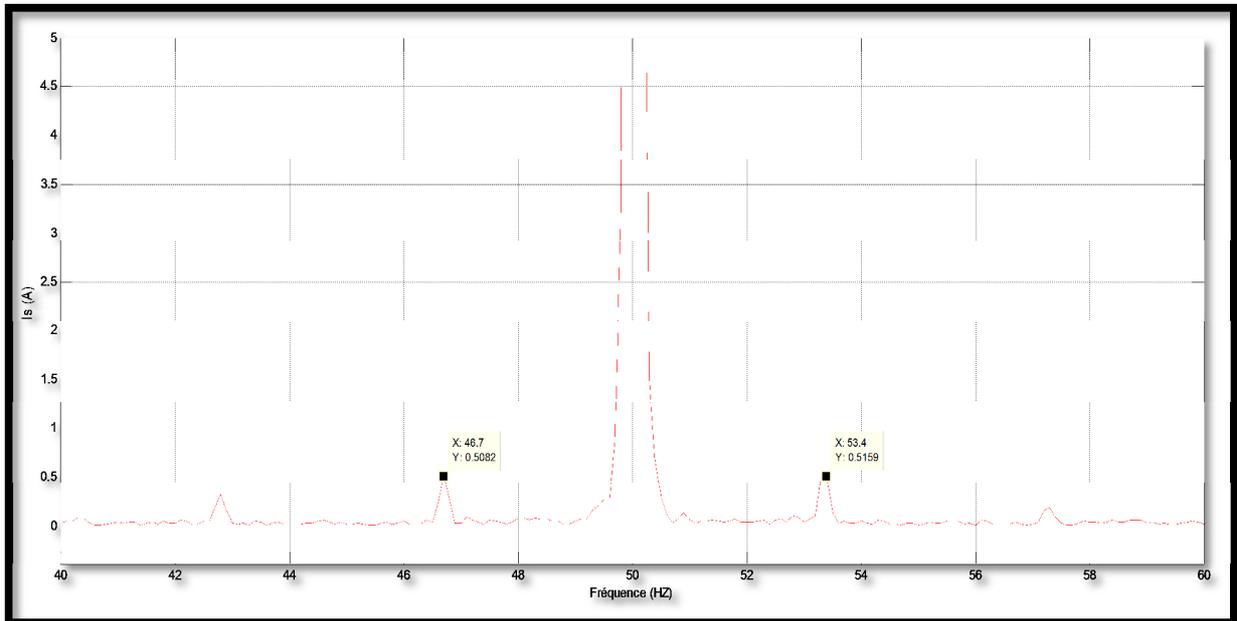


Figure III.15 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $Cr=3.6$ et $g=3.4\%$.

b) La charge $Cr = 6.6$ Nm

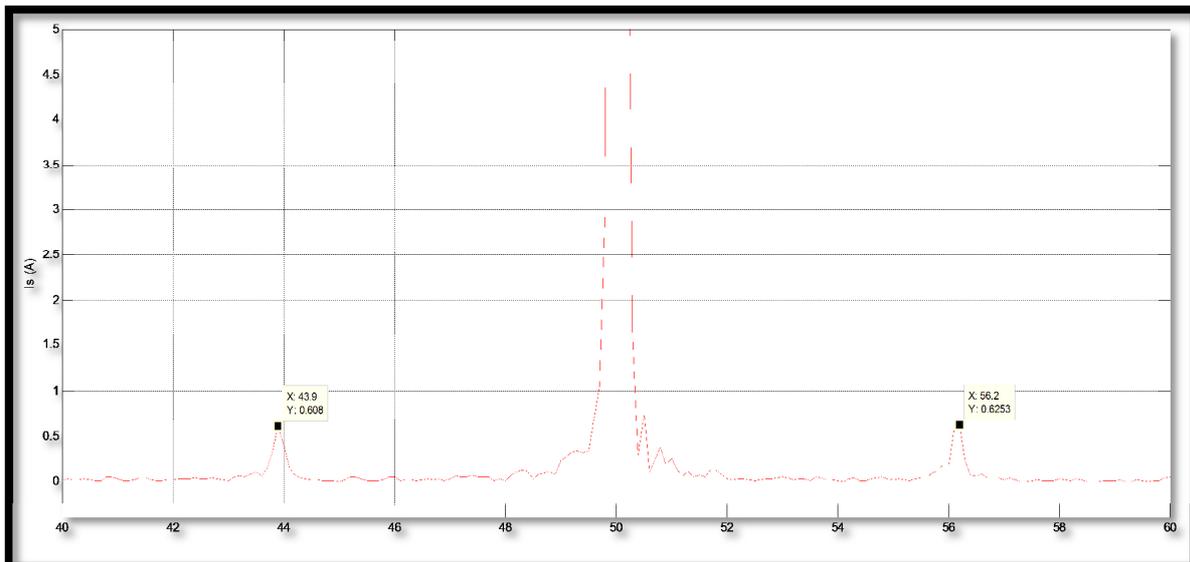


Figure III.16 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=6.2\%$.

III.5.2.4. Comparaison

Comparé à ses valeurs à l'état sain avec deux barre cassée sous la charge 6.6Nm et 3.6Nm dans la fréquence 30HZ et 50HZ.

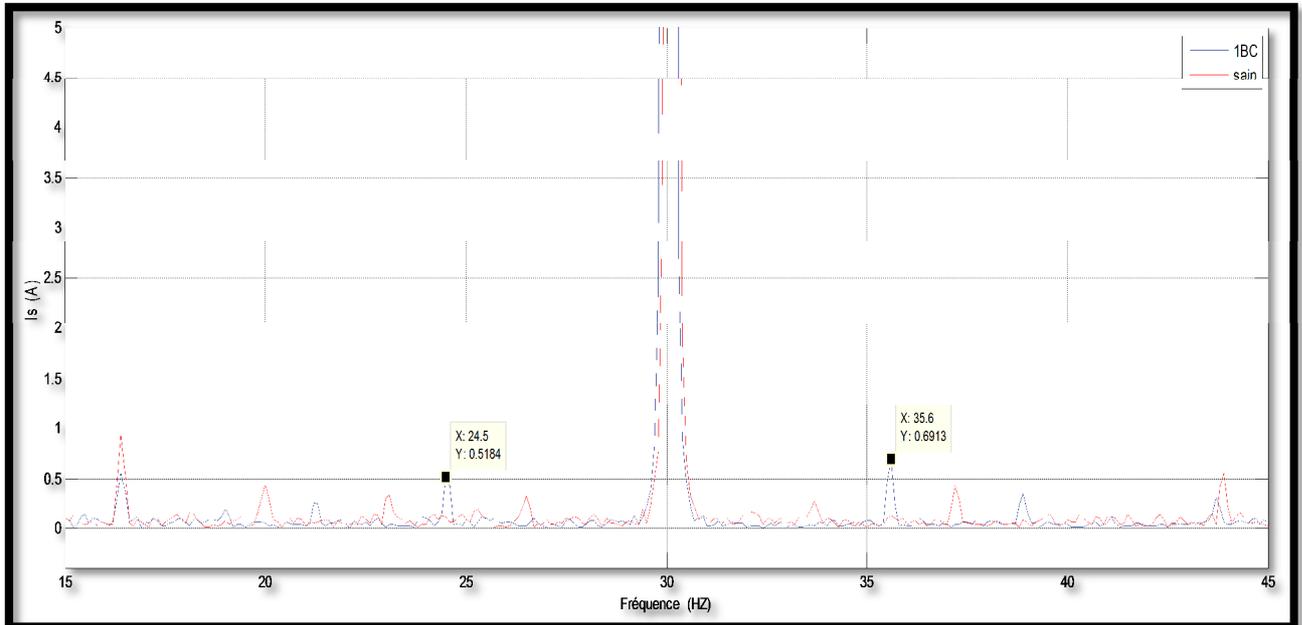


Figure III.17 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=9.3\%$.

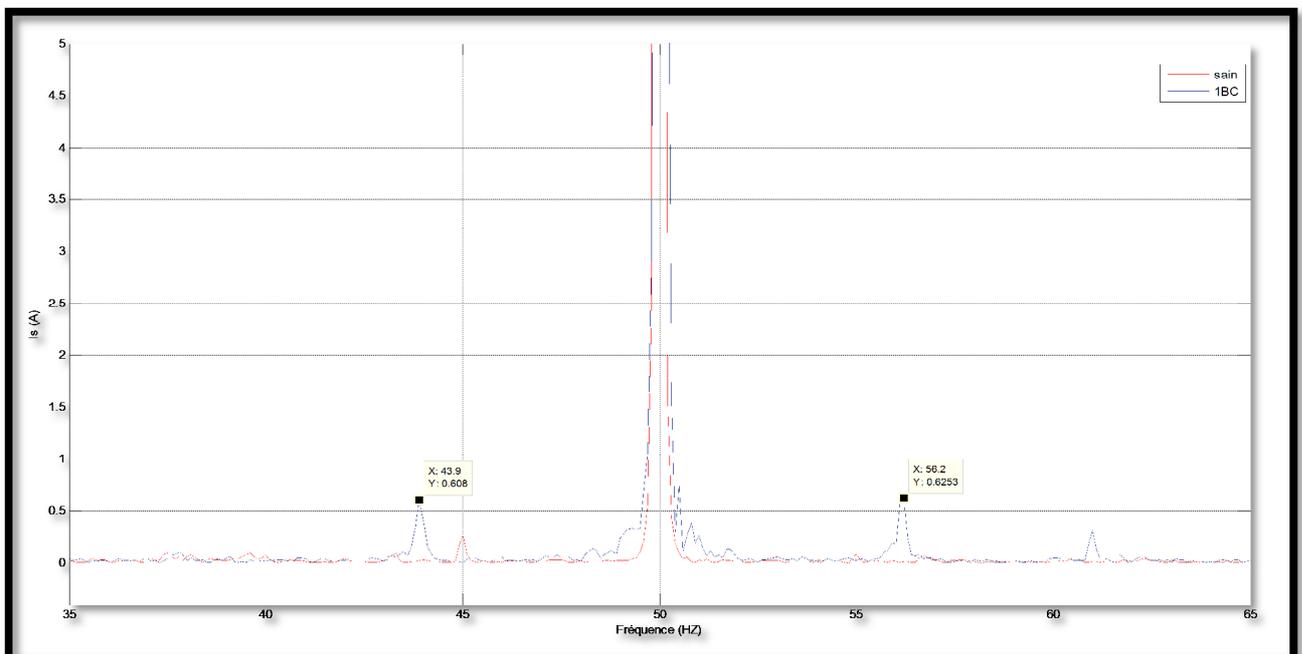


Figure III.18 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=6.2\%$.

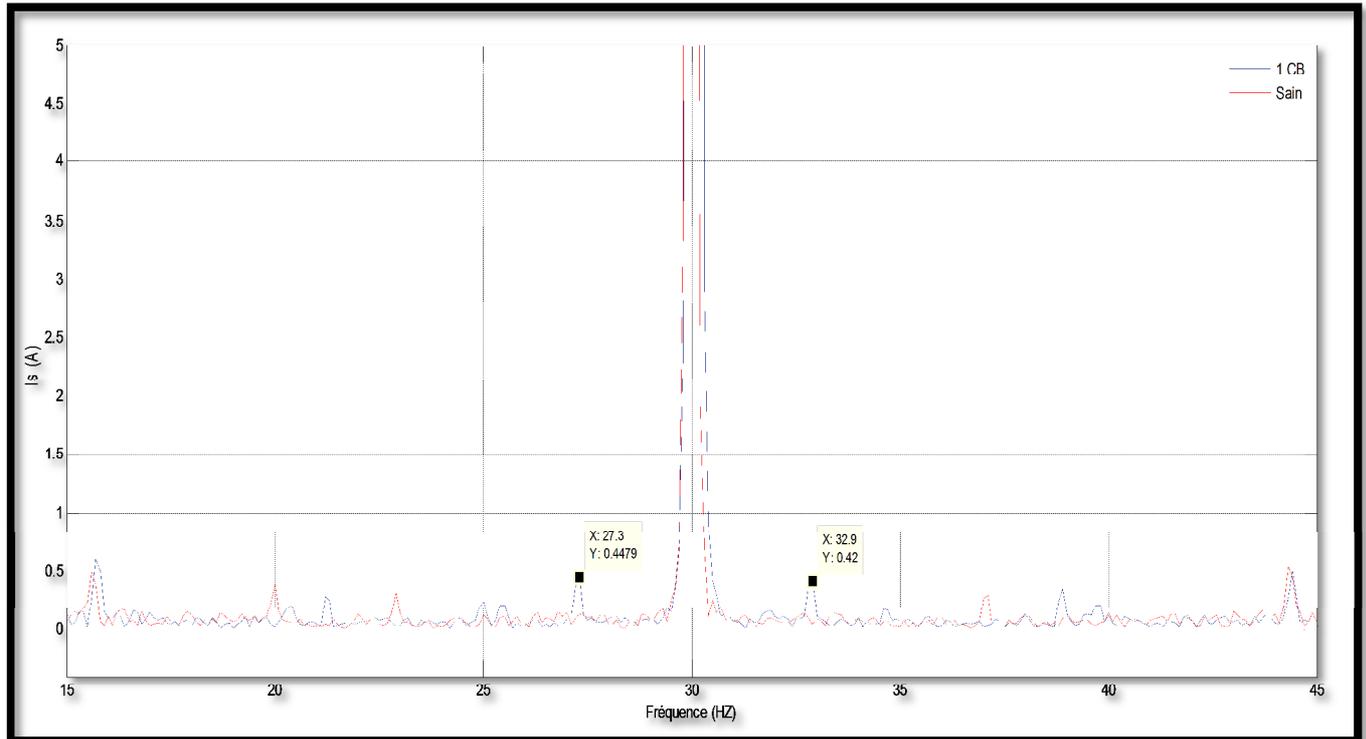


Figure III.19 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $Cr=3.6$ et $g=4.8\%$.

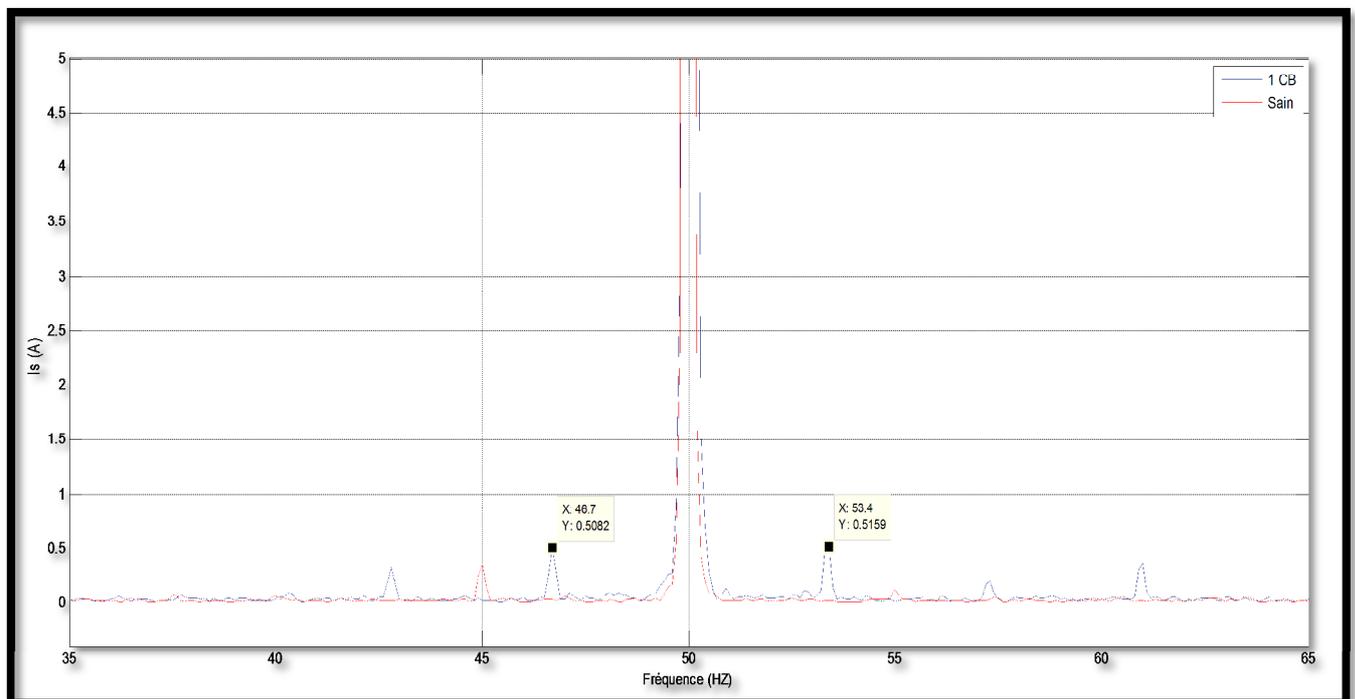


Figure III.20 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $Cr=3.6$ et $g=3.4\%$.

❖ Interprétation du résultat

- Nous avons observé que nous correspondons les figures de l'état sain à la deuxième éta qu'il y a un défaut dans la fréquence $f_s = (1 \mp 2g) \times f$ alors nous remarquons qu'il y a une cassure de barre.
- Lorsque nous augmentons la fréquence et la charge, nous observons que le défaut augmente.

III.5.3. Deux Barres Cassées

La présence des composantes latérales $(1 \pm 2g) f$ dans les spectres des figures souvent, pour un moteur asynchrone alimenté par le variateur de vitesse que donné à différence de fréquence ($F = 20\text{ Hz}$ et 40 Hz) démontre l'existence de deux barres cassées au rotor, en particulier à charge variable ($C_r = 1.6$ et 6.6 Nm).

L'augmentation des composantes latérales $(1 \pm 2g) f$ est importante comparée à ses valeurs à l'état sain et Spectres du courant statorique i_a du moteur avec deux barres cassées et la charge $C_r = 6.6$ et 1.6 Nm de la charge, alimenté par le variateur de vitesse donne la fréquence 40 Hz et 20 Hz .

III.5.3.1. fréquence $F = 20\text{ Hz}$

a) La charge $C_r = 1.6\text{ Nm}$

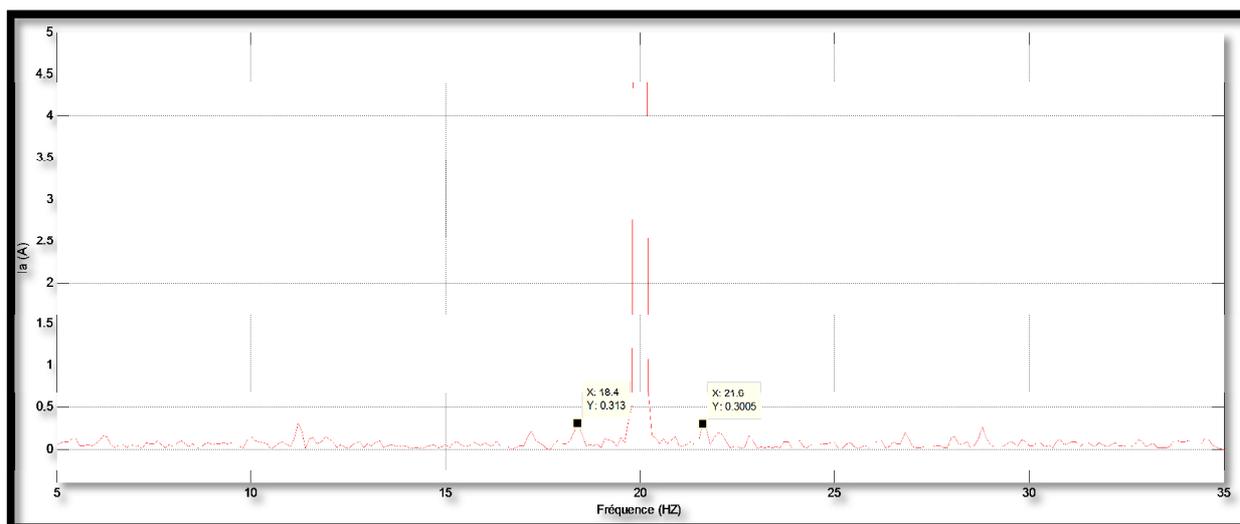


Figure III.21 : Spectres du courant statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $C_r = 1.6$ et $g = 3.2\%$.

b) La charge $C_r = 6.6$ Nm

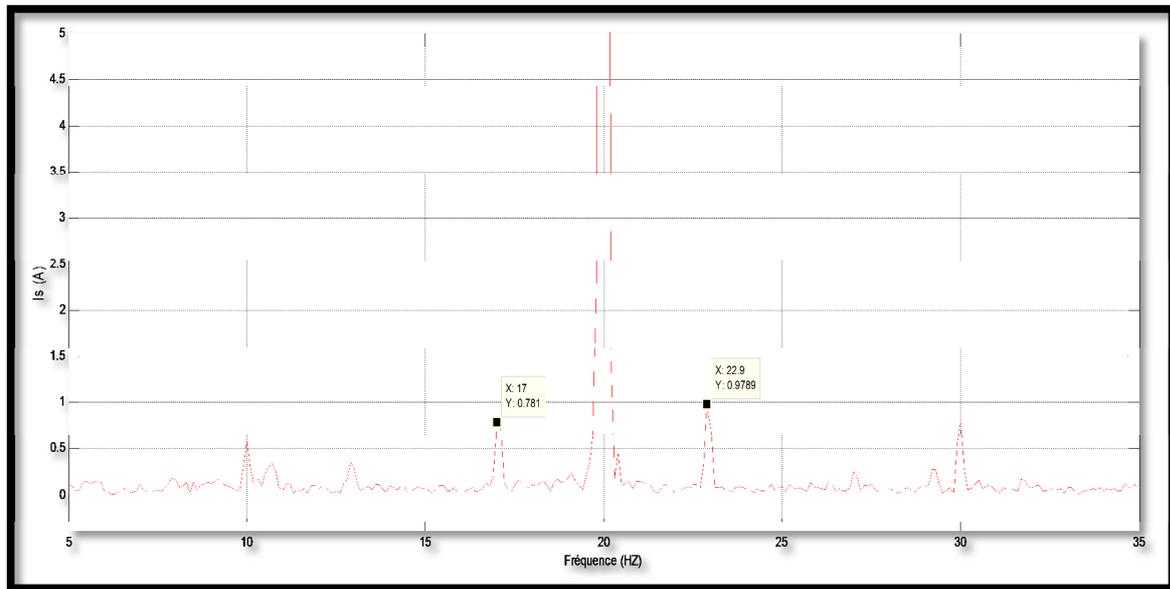


Figure III.22 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=7.2\%$.

III.5.3.2. fréquence $F = 40$ HZ

a) La charge $C_r = 1.6$ Nm

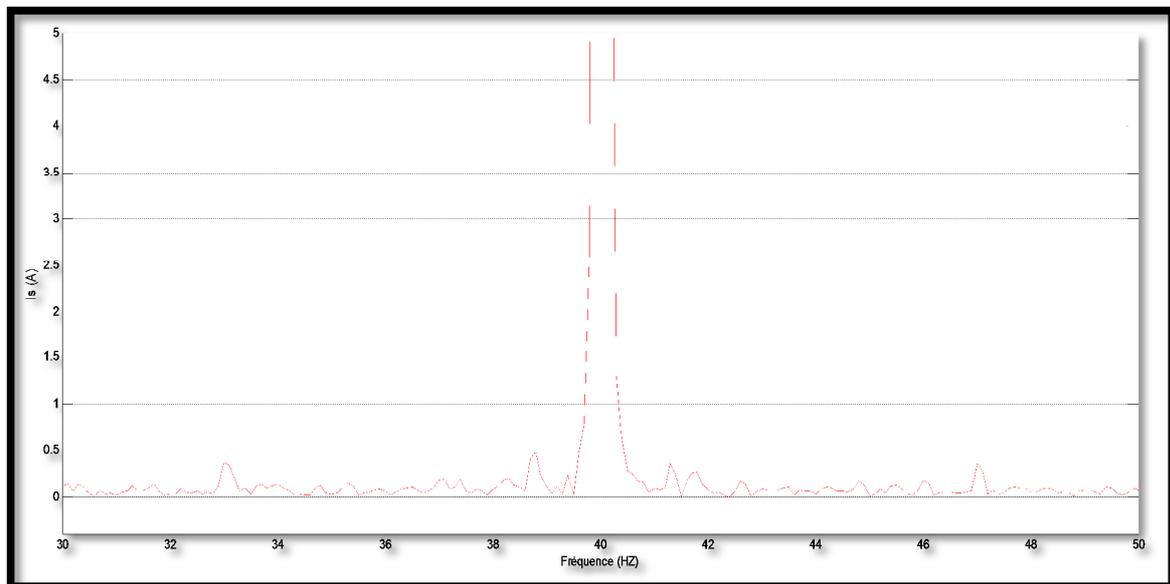


Figure III.23 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=1.6$ et $g=1.6\%$.

b) La charge $C_r = 6.6 \text{ Nm}$

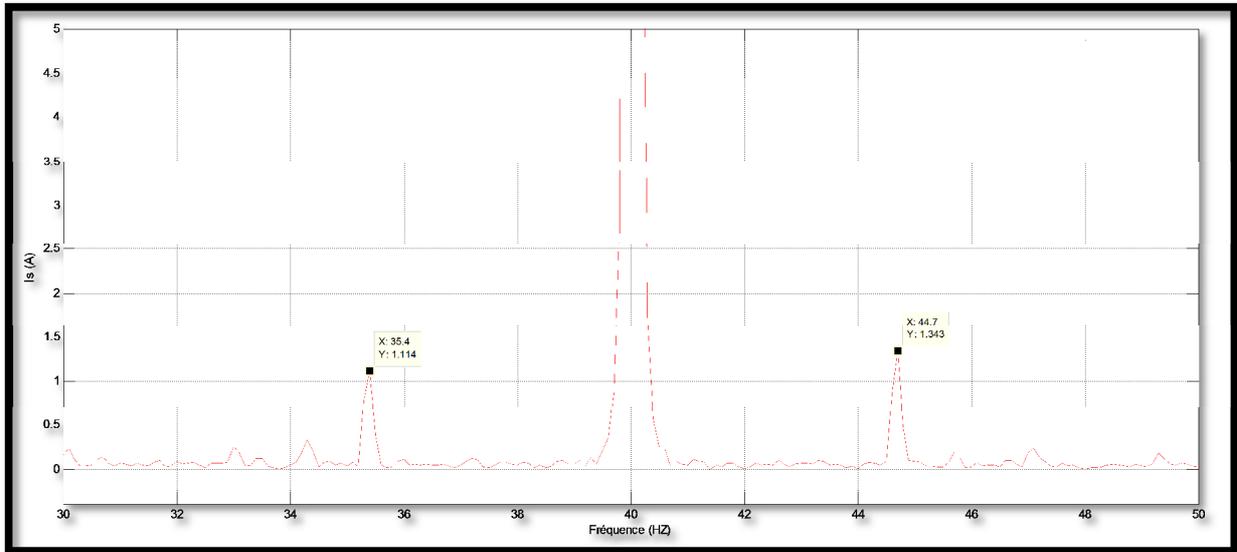


Figure III.24 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=5.8\%$.

III.5.3.3. Comparaison

Comparé à ses valeurs à l'état sain avec deux barre cassée sous la charge 6.6Nm et 1.6Nm dans la fréquence 20HZ et 40HZ.

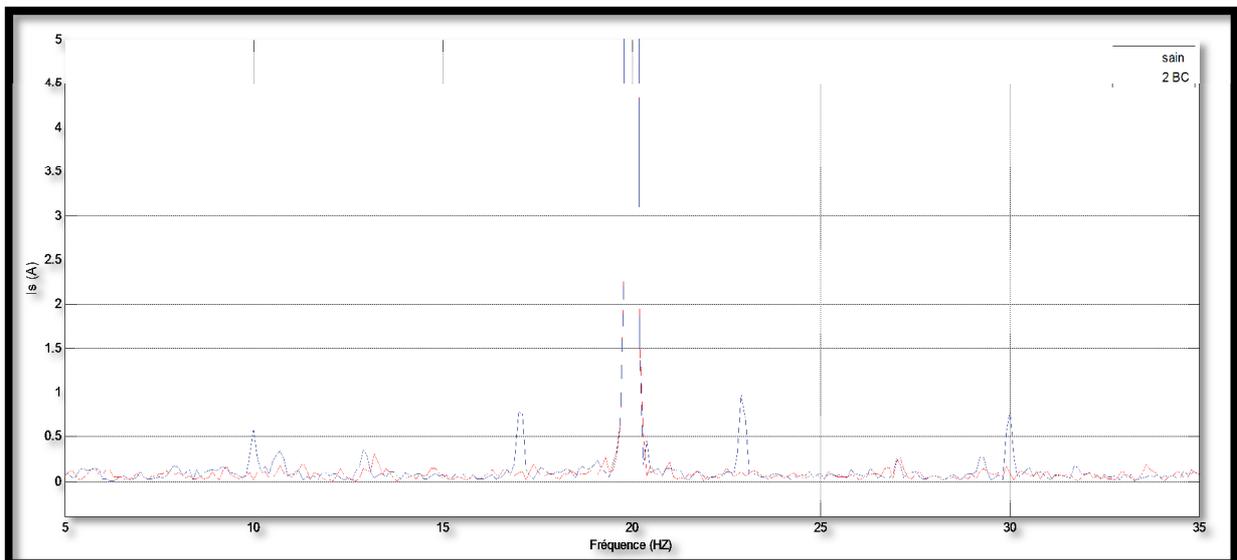


Figure III.25 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=7.2\%$.

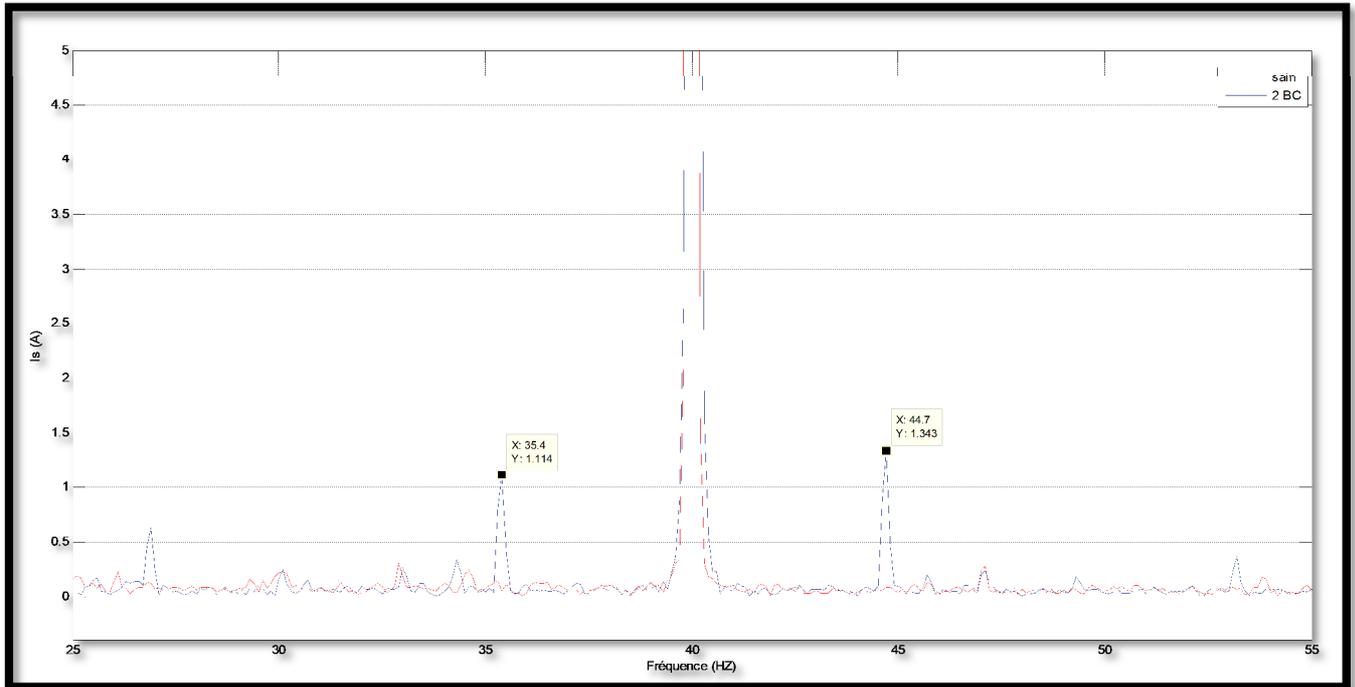


Figure III.26 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=5.8\%$.

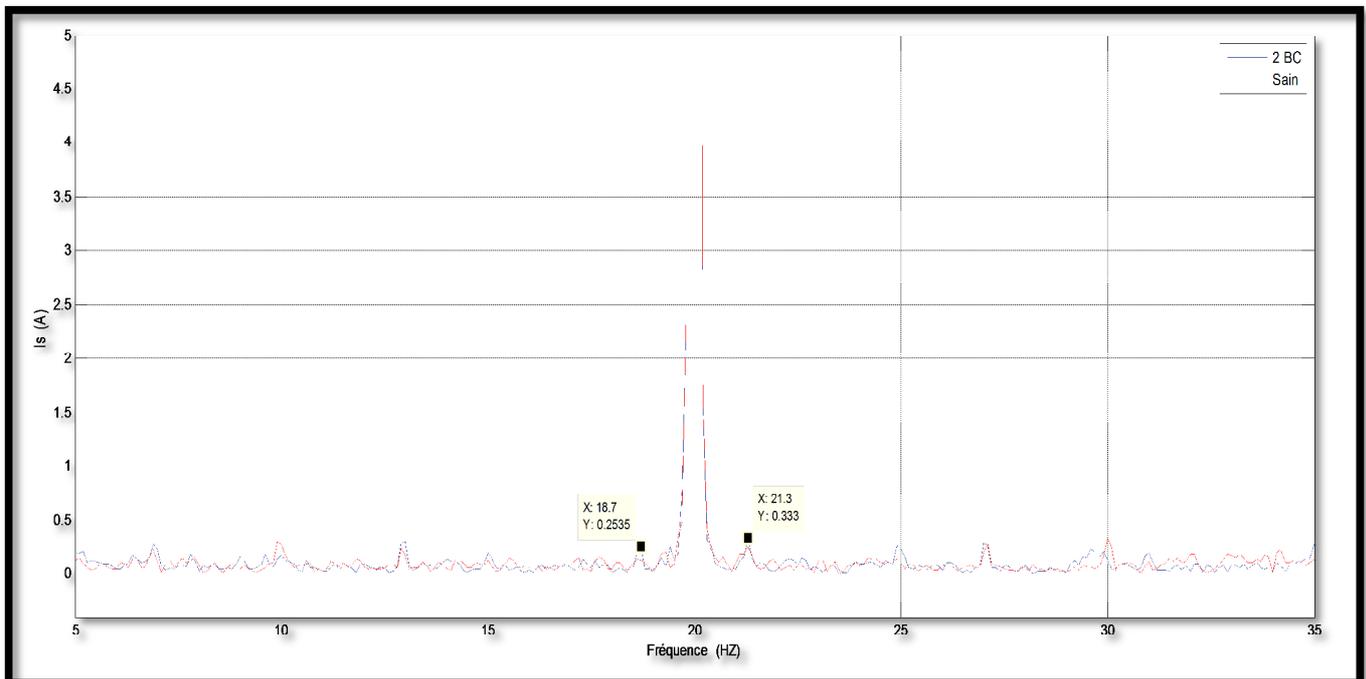
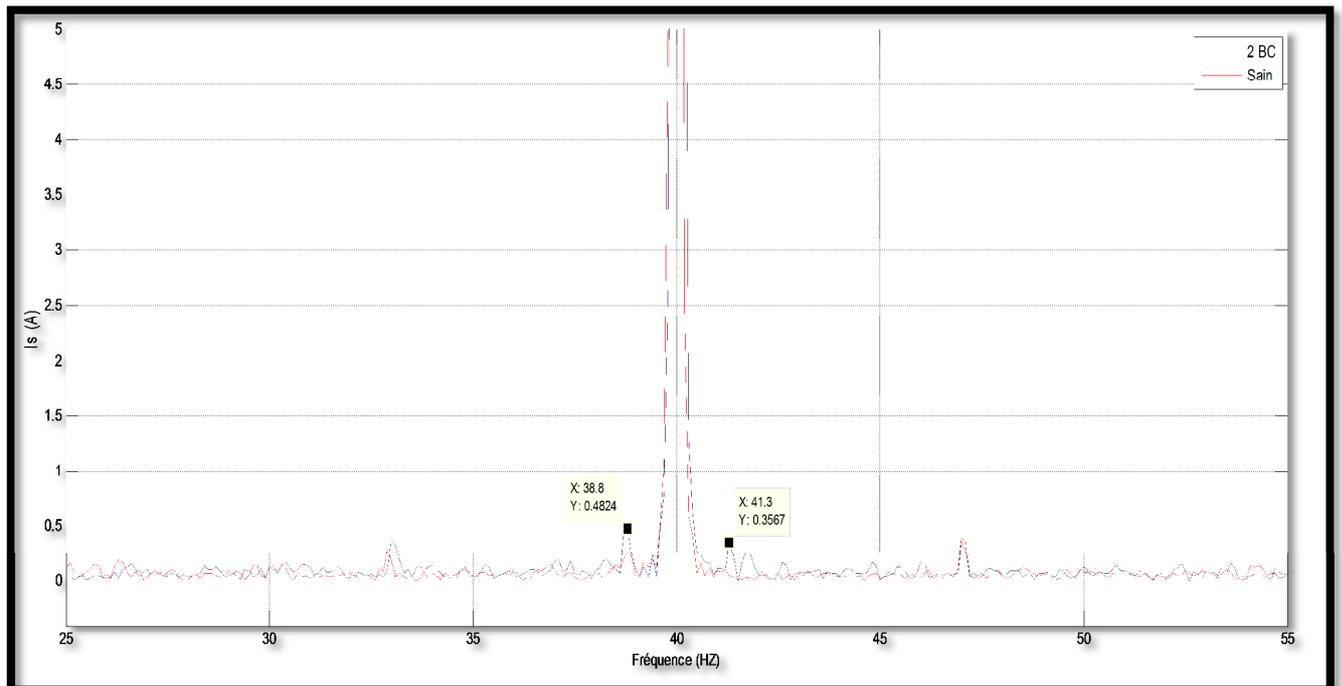


Figure III.27 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $Cr=1.6$ et $g=3.2\%$.



*

Figure III.28 : Spectres du courant statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=1.6$ et $g=1.6\%$.

III.6. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré à l'application de l'analyse spectrale du courant statorique pour un moteur asynchrone entraîné par un convertisseur de fréquence industriel en vue de diagnostic du défaut de cassure de barres rotoriques. Le travail expérimental a été réalisé pour différentes vitesses de rotation (de 20 Hz et 30 Hz et 40 Hz et 50 Hz) du moteur alimenté par un variateur de vitesse fonctionnant en contrôle scalaire V/f en boucle ouverte.

D'après les résultats expérimentaux, on n'a conclu que le diagnostic d'une barre rotorique cassée et deux barres rotoriques cassées via l'analyse des spectres de courant statorique i_a est très difficile. La transformée de Fourier rapide (TFR) elle donne de bons résultats pour l'analyse spectrale du courant statorique i_a , pour le cas de défaut de cassure de barres rotoriques utilise les composantes latérales $(1 \pm 2g) f$.

Liste des symboles

N1 :	vitesse de synchronisme.
N :	vitesse rotorique.
e :	force électromotrice.
g :	glissement.
IA :	intelligence artificielle.
FFT :	Fréquentielle Transformée de Fourier Rapide.
MLI :	modulation de largeur d'impulsion.
IGBT :	transistors bipolaires à grille isolée.
Vs :	tension statorique.
Lm :	l'inductance magnétisante.
Ls :	l'inductance statorique.
W :	vitesse électrique.
F :	Fréquence d'alimentation.
Ia :	courant statorique.
Cr :	couple de charge.

List des Figure

Figure I.1 : Structure de la machine asynchrone triphasée à cage.	4
Figure I.2 : le schéma principale de la machine asynchrone à cage.....	5
Figure I.3 : Le stator.....	6
Figure I.4 : Rotor à cage d'écureuil d'une machine asynchrone.....	6
Figure I.5: Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage.....	8
Figure I.6 : Stator d'un moteur asynchrone complètement grillé.....	9
Figure I.7 : Les défauts du rotor à cage : (a) Rupture de barres (b) Rupture d'anneau de court circuit.....	10
Figure I.8 : Répartition des pannes sur les machines de faibles et moyennes puissances.	11
Figure I.9 : le roulement à bille.	11
Figure I.10 : Défauts d'excentricité.....	12
Figure I.11 : capteur de température dans une plaque à bornes.	14
Figure I.12 : techniques par visualisation des images thermiques.	15
Figure I.13 : mesures vibratoires sur machine asynchrone.	15
Figure II.1 : principe de variateur de vitesse.....	17
Figure II.2 : topologie des variateurs de vitesse standards.	18
Figure II.3 : variateurs de vitesse Danfoss VLT 5000.	18
Figure II.4 : variateurs de vitesse Danfoss VLT 2800.	19
Figure II.5 : Fonction des variateurs de vitesse.....	20
Figure II.6 : Boucle ouverte.	21

Figure II.7 : Boucle fermée	21
Figure II.8 : familles de convertisseurs statiques.	23
Figure II.9 : symboles des redresseurs	24
Figure II.10 : redresseurs commandés	24
Figure II.11 : fonctionnement de la diode	24
Figure II.12 : redresseurs non-commandés	25
Figure II.13 : tension à ondulation résiduelle.....	25
Figure II.14 : Circuit intermédiaire à courant continu variable.....	26
Figure II.15 : Circuit intermédiaire à tension continu constante ou variable.....	26
Figure II.16 : Circuit intermédiaire à tension variable.....	27
Figure II.17 : symboles des onduleurs.	27
Figure II.18 : Principe PWM à commande par sinusoïde.....	28
Figure II 19 : Le schéma équivalent du moteur asynchrone	31
Figure II 20 : Fonctionnement U/f constant	31
Figure II.21 : Fonctionnement à couple constant Sous une fréquence de 50 Hz	31
Figure II.22 : Fonctionnement à couple constant.....	32
Figure III.1 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, à vide.....	40
Figure III.2 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 HZ, la charge $C_r=1.6$	41
Figure III.3 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $C_r=6.6$	41
Figure III.4 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, à vide.....	42
Figure III.5 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=3.6$	42
Figure III.6 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le	

Convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=6.6$	43
Figure III.7 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz.....	43
Figure III.8 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=1.6$	44
Figure III.9 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $C_r=6.6$	44
Figure III.10 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 HZ.	45
Figure III.11 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=3.6$	45
Figure III.12 : Spectres du courant statorique i_a du moteur sain sous alimenté par le Convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=6.6$	46
Figure III.13 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=3.6$ et $g=4.8\%$	47
Figure III.14 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=9.3\%$	47
Figure III.15 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=3.6$ et $g=3.4\%$	48
Figure III.16 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=6.2\%$	48
Figure III.17 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=9.3\%$	49
Figure III.18 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $C_r=6.6$ et $g=6.2\%$	49
Figure III.19 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 30 Hz, la charge $C_r=3.6$ et $g=4.8\%$	50

Figure III.20 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec une barre cassée alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 50 Hz, la charge $Cr=3.6$ et $g=3.4\%$ 50

Figure III.21 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $Cr=1.6$ et $g=3.2\%$ 51

Figure III.22 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=7.2\%$ 52

Figure III.23 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $Cr=1.6$ et $g=1.6\%$ 52

Figure III.24 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=5.8\%$ 53

Figure III.25 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=7.2\%$ 53

Figure III.26 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $Cr=6.6$ et $g=5.8\%$ 54

Figure III.27 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 20 Hz, la charge $Cr=1.6$ et $g=3.2\%$ 54

Figure III.28 : Spectres du courants statorique i_a du moteur avec deux barres cassées alimenté par le convertisseur avec une fréquence de 40 Hz, la charge $Cr=1.6$ et $g=1.6\%$ 55

Introduction générale

Caractérisé par sa construction et sa robustesse, la machine asynchrone assure une large plage d'application dans le domaine de l'industrie. Son exploitation pour fournir de l'énergie mécanique est excellente. Par contre, son utilisation des systèmes à vitesses variables telle que les machines à courant continu, a été tardive à cause de sa complexité en commande.

L'évolution de l'électronique de puissance, la micro-électronique et la micro-informatique ont permis de surmonter le problème de la non linéarité de la machine et de réaliser des algorithmes de commande pouvant faire de la machine asynchrone un redoutable concurrent de vitesse variable.

Depuis la venue de la technologie des semi-conducteurs, la variation de vitesse électronique des moteurs électriques a pris le dessus sur les anciens systèmes tels que les groupes Ward Léonard.

La surveillance et la détection des défauts améliorent la fiabilité et la disponibilité des systèmes existants. Comme la majorité des défauts évoluent lentement, son détection dès les premiers instants est possible pourrait éviter ainsi une totale défaillance avec ses conséquences néfastes.

Il est important dans le contexte de la surveillance des conditions de systèmes électriques de distinguer entre la détection et le diagnostic du défaut. La détection du défaut est la décision à prendre sur l'existence ou non du défaut, tandis que le diagnostic du défaut donne plus d'informations sur la nature et la localisation du défaut.

Dans le premier chapitre, nous avons d'abord étudié les généralités de la machine asynchrone, ainsi présenté les différents constituants et les avantages et les inconvénients de cette machine. Puis nous présentons le diagnostic de la machine asynchrone et les différents défauts de cette machine avec leurs causes. Enfin nous avons donné les différentes méthodes de détection de défauts dans ces machines.

Dans le deuxième chapitre, premièrement nous avons donné des généralités du variateur de vitesse, ensuite nous avons étudié les composants du convertisseur statique. Ainsi que l'étude de la MLI, enfin nous avons étudié la technique des commandes de variateur de vitesse.

Dans le troisième chapitre, nous présentons, respectivement, les résultats expérimentaux de diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques (une barre cassée et deux barres cassées) dans les moteurs asynchrones triphasés lorsqu'ils sont alimentés par un variateur de vitesse fonctionnant en $V/F = \text{constant}$. Ces défauts sont diagnostiqués en utilisant la transformée de Fourier rapide (*TFR*) pour l'analyse spectrale du courant statorique et du couple moteur pour différentes vitesses de rotation du moteur.

Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce travail portent sur le diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée alimentée par un variateur de vitesse, en utilisant la transformée de Fourier rapide (TFR).

Nous avons présenté dans le premier chapitre, les généralités de la machine asynchrone, ainsi présenté la différents constituants et les avantage et l inconvénients de cette machine. Puis nous avons présenté le diagnostic de la machine asynchrone et les différents défauts de cette machine avec leurs causes. Enfin nous avons donnée les différentes méthodes de détection de défauts dans ces machines.

Dans le deuxième chapitre, premièrement nous avons donné des généralités du variateur de vitesse, ensuite nous avons étudié les composants du convertisseur statique. Ainsi que l'étude de la MLI, enfin nous avons étudié la technique des commandes de variateur de vitesse.

Dans le troisième chapitres, nous présentons, respectivement, les résultats expérimentaux de diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques (une barre cassée et deux barres cassées) dans les moteurs asynchrones triphasés lorsqu'ils sont alimentés par un variateur de vitesse fonctionnant en $V/F = \text{constant}$. Ces défauts sont diagnostiqués en utilisant la transformé de Fourier rapide (*TFR*) pour l'analyse spectrale du courant statorique et du couple moteur pour différentes vitesses de rotation du moteur. Les résultats expérimentaux obtenus confirme que la sévérité de défaut augmente avec la charge et peut être avec la vitesse.

- [1] :N. Halem , « Modélisation des Machines Asynchrones Triphasées à Cage en Vue du Diagnostic par la Méthode des Eléments Finis », thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra 2014.
- [2] : A. Zerrouk , « Diagnostic des défauts de cassure de barres rotoriques dans la machine asynchrone triphasée » mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra 2013.
- [3]: A. Menacer « Diagnostic des défauts dans la machine asynchrone » cours model Identification et diagnostique des machines électriques ,Université Mohamed Khider – Biskra 2017
- [4] : Younes H. Gadi, « Détection de défauts dans le convertisseur à mli d'une machine asynchrone, » Mémoire Master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 09/06/2014.
- [5] : M. Kostenko, L. Piotrovski, «machines électriques, tome II, machines a Courant alternatif, » Troisième édition mir.moscou.
- [6] : N. Aouane et S.Chamkha Salim « Détection, localisation et reconfiguration de défauts onduleur à deux niveaux appliqué dans la commande de la machine asynchrone à cage » mémoire de masters, Université M'Hamed Bougara-Boumerdes 2017.
- [7] : B. Smail « Contribution à la Détection et au Diagnostic des Défauts dans un Système Machine à Induction-Convertisseur » » thèse de doctorat, Université Batna 2 2016
- [8]: A. Medoued « Surveillances et diagnostic des défauts des machine électriques application aux moteurs asynchrone » thèse de doctorat, Université du 20 aout 1955-Skikda 2012
- [9]: EL M. Ouadie et B. D. Mohammed «Variateur de vitesse » Master mécatronique, Université abdelmalek essaadi faculté des sciences Tétouan 2013
- [10] : G. François « Modulation naturelle généralisée des convertisseurs matriciels pour la variation de vitesse » Thèse de doctorat. université lille nord-de-France 2010.
-

[11] : B. Charaf Eddine et T. Abdel Kader , « Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu » mémoire master, Université Kasdi Merbah Ouargla 2016.

[12] : www.energieplus.com « Les variateurs de vitesse », consulté le 05/5/2018

[13] : S. Bazine, « Conception et implémentation d'un Méta-modèle de machines asynchrones en défaut », Thèse de doctorat, Laboratoire d'Automatique et d'Informatique Industrielle, Université de Poitiers Tunis, 2009.

[14] : Jean-Claude Trigeassou, « Diagnostic des machines électriques », livres, Lavoisier paris, 2011.

[15] : O. Ondel, « Diagnostic par reconnaissance des formes: Application a un ensemble convertisseur – machine asynchrone », Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France, 2006.

[16] :M. Sahraoui, « Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones », Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra 2010

[17] : G.Merlin, Madicon, D.sauare « les techniques de commande du moteur asynchrone » Le magazine Schneider de l'enseignement technologique et professionnel-Intersections juin 1998

[18] : <http://for-ge.blogspot.com/> « variateur de vitesse », Génie électrique formation, consulté le 19/05/2018

[19] : A. Tegggar « Etude Comparative Entre la Commande Vectorielle a Flux Oriente et la Commande Directe du Couple de la machine Asynchrone », mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla 2016

[20] : C. Roland « Diagnostic des défauts des machines asynchrones reconnaissance des formes », Thèse de doctorat, Universités CEGELY, Lyon 2003.

[21] : K. YAHIA « Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée par une Approche Modèle », Thèse de doctorat, Universités Mohamed Khider, Biskra.

Annexe

Annexe

Paramètres de la machine asynchrone utilisée :

P_n	Puissance nominale	1 K.W
V_n	Tension nominale	220/380 V
F	Fréquence d'alimentation	50HZ
P	Nombre de paires de pôles	2 Pôles
Ω	Vitesse nominale	1430 Tr/min