

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



Mémoire de Fin d'Études

Présenté à

L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued

Faculté de la Technologie

Département de Génie Electrique

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

En Machines électriques

Présenté par

KHADEM Messaouda

ZINE Boubaker

ATTAR Achraf Eddine

Thème

Détection des Défauts dans les Machines Asynchrones en Utilisant l'analyse des Vecteurs de Park

Soutenu le 13/06/2022. Devant le jury composé de :

Dr. BESSOUS Noureddine

Maitre de conférences

Président

M. HALEM Noura

Maitre de conférences

Rapporteur

Dr. TOUIL Sliman

Maitre de conférences

Examineur

Année Universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Au début, nous remercions Dieu tout – puissant de nous avoir donné la santé et la force de compléter ce mémoire nous exprimons notre gratitude et notre encadreur : **Dr. BESSOUS Noureddine** pour sa patience et sa gentillesse pendant ce travail. Avec nos meilleurs vœux de progrès et de succès, Nous tenons à remercier le membre du jury d’avoir accepté consulter et examiner ce travail.

اهداء

إلى غاليتي وفقيدتي التي أفنت حياتها تكابد الأيام لأجلنا ولأجل راحتنا وسعادتنا لمن صبرت وتحملت إلى من أبكيها كل ليلة وألم الفراق يحرقني لأصدق إنسان كان، وكانت أول أمنياتي أن تشاركني فرحتي: لأمي عزيزة قلبي "رحمها الله" وعوضها بجنت عرضها السماوات والأرض.

لأبي الغالي سندي ومصدر قوتي وفرحة حياتي وبهجة أيامي زاده الله طولاً في العمر وبركتاً في الجسم.

لليلي أختي فقد كانت خير عون ومشجعاً لي لمواصلة الطريق لجميع إخوتي وأخواتي من صغيرهم لكبيرهم ولأبنائهم.

لجميع أقاربي وأبدأ بالذكر خالاتي ففيهم بعضاً من أمي ولجميع أبنائهم وبناتهم لأخوالي وأعمامي وأبنائهم.

لرفيقتي وجميلتي مريم بكوش فقد كانت خير صديقة لي بالمسار الجامعي، لمن علمتني الأدب قبل العلم معلمتي حياة عدوكه فبفضلها بعد الله عز وجل قد صعدنا بدرجات سلم العلم فلها الفضل في أول خطواتي.

لكل من علمني حرفاً على مستوى جميع المستويات من الطور الابتدائي للطور الجامعي، لجميع أساتدتي ومعلميني لجميع زميلاتي أهدي هذا العمل المتواضع والذي أتمنى أن ينال إعجابكم.

مسعودة

اهداء

إلى من أفضالها على نفسي؛ ولم لا فقد ضحت من أجلي ولم تدخر جهدا في سبيل اسعادي
على الدوام: أمي الحبيبة وإلى صاحب الوجه الطيب والأفعال الحسنة فلم يبخل عليًا طيلة
حياته: والدي العزيز إلى جميع إخوتي وأخواتي وأفراد عائلتي وجميع من وقفو بجواري
وساعدوني بكل ما يملكون وفي أصعدة كثيرة.

أشرف

اهداء

الحمد لله الذي سمح لي بتقدير هذه المرحلة من رحلتي الاكاديمية بهذه الرسالة أهدي ثمار
جهودي بنعمته إلى والديا الكرماء أطال الله حياتهم، لجميع أفراد الأسرة الكريمة ولزملائي
ولجميع منتسبي قسم العلوم والتكنولوجيا وكذلك لجميع أساتذتي الأعزاء وكل من له الفضل الكبير
في نجاح مساري الدراسي.

ملخص

تختص الآلة غير المتزامنة بعدة خصائص مهمة جدا كصلادتها وثمنها غير المكلف، لذا فهي تستعمل في العديد من المجالات الصناعية. إلا أنها وككل آلة يمكن أن تتعرض إلى خلل إما كهربائي أو ميكانيكي. لذا فقد تناولنا في هذا العمل الكشف عن خلل انكسار القضبان في الآلات غير المتزامنة باستعمال أشعة بارك، وهدف هذه التقنية يكمن في الوصول إلى معلومات تحدد حالة الآلة غير المتزامنة.

الكلمات المفتاحية: الآلات الكهربائية غير المتزامنة - انكسار القضبان - أشعة بارك - المجالات الصناعية - خلل كهربائي - خلل ميكانيكي

Résumé

Les machines asynchrones sont caractérisées par de nombreux avantages que d'autres machines maquent et les ont fait gagner le premier salaire dans les applications industrielles pour leur qualité de force de faible cout et de disponibilité facile. Cette machine et come toute autre machine peut affecter aux différents défaut talques électriques ou mécaniques. Dans ce travail, nous avons détecté la rupture des barres dans les machines asynchrones en se basant sur l'analyse des vecteurs de Park. Cette étude peut donner des informations sur l'état de la MAS.

Mots Clés: Machines électriques asynchrones-Casse de barre-Rayons de parc-Champs industriels-Panne électrique-Dysfonctionnement mécanique

TABLE DES MATIERES

Table des matières

Liste des figures	xi
Liste des symboles.....	xiii
Introduction générale	1
CHAPITRE I: Défaillances et méthodes de diagnostic des machines asynchrones	
I.1 Introduction	3
I.2 Constitution de la machine asynchrone	3
I.2.1 Moteur Asynchrone (MAS)	3
I.3 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone.....	8
I.4 Glissement d'une machine asynchrone	9
I.5 Défaits d'ordre électrique.....	9
I.5.1 Défaits statoriques.....	10
I.5.2 Défaits rétorques	10
I.6 Défaits d'excentricités	12
I.6.1 Excentricités statique	12
I.6.2 Excentricités dynamique	12
I.7 Défaits de l'arbre	13
I.8 Défaits spécifiques aux paliers hydrodynamiques:	14
I.9 Les causes des défauts	15
I.10. Les principaux défauts.....	16
I.11 Conséquences des défauts	16
I.12 Méthodes de diagnostic	17
I.12.1 Diagnostiquer défauts par le suivi des grandeurs mesurables	17
I.12.2 Diagnostic par les méthodes externes	18
I.12.3 Méthodes sans modèle	18
I.12.4 Diagnostic par les méthodes déductives	18
I.13 Conclusion	19
Chapitre II: Pronostic des défauts de la cassure de barres du rotor dans les MAS	
II.1. Introduction	21
II.2. Les défauts de la cassure de barres rotoriques	21
II.3. Causes des défauts rotorique	22
II.4. Types de la rupture des barres rotoriques.....	24

II.5. Méthodes utilisées dans le diagnostic des MAS	25
II.5.1. La Méthode de la MCSA.....	25
II.5.2. Les techniques de traitement du signal utilisées en MCSA	26
II.6. Approche des vecteurs de Park	26
II.6.1. Module des vecteurs de Park	26
II.6.2. Diagnostic des défauts par analyse spectrale des courants de PARK	28
II.7. Conclusion.....	28
Chapitre III: Détections des défauts de la cassure des barres rotoriques des MAS	
III.1 Introduction.....	30
III.2 Instrument de mesure.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.	
III.3 Analyse des courants de PARK	30
III.4 Résultats de simulation de la MAS avec défauts de barres	30
III .5 Discussion	31
III.6 Conclusion	34
Conclusion générale.....	36
Bibliographiques.....	38

Liste des figures

Fig. (I.1): Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.....	4
Fig.(I.2): Stator d'une machine asynchrone.....	4
Fig.(I.3):Influence du nombre de paires de pôles sur la vitesse de rotation	5
Fig. (I.4): Différents types du rotor.	5
Fig. (I.5): Rotor a cage (tôles magnétiques), conductrices d'encoches (barres).....	6
Fig. (I.6): Rotor à double cages.	7
Fig. (I.7): Structures un rotor bobiné.	7
Fig. (I.8): Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone.	9
Fig. (I.9): Représentation des différents statoriques possibles.	10
Fig (I. 10) : Défaillances de roulement mécanique.	11
Fig. (I.11): Structure d'un roulement à billes.	12
Fig. (I.12): Moteur asynchrone avec rotor excentrique.	13
Fig. (I.13): Distribution statistique des défauts.....	14
Fig. (I.14): Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasé a cage.	14
Fig. (I.15): Schéma du palier hydrodynamique.....	15
Fig. (I.16): Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasé a cage.....	16
Fig. (I.17): Méthodes du diagnostic des défauts [BOUZ 05].....	19
Fig. (II. 1): schéma de fonctionnement pour une machine saine et avec défaut.	21
Fig. (II.2): défaut de rupture de barres et d anneau de court – round.....	22
Fig. (II.3): le rotor du moteur avec 2 barres cassees.	23
Fig. (II.4) : Distribution de champ magnétique sous un défaut de la cassure de barre rotorique.	23
Fig. (II.5): Courants des barres rotoriques.	24
Fig. (II.6): défaut de cassure de barres.....	25
Fig.(II.7): La transformation de Park.	28
Fig. (III.1):Banc d essai destine au diagnostic du defauts de Barres	30
Fig.(III.2): courant i_{as} i_{bs} i_{cs}	31
Fig.(III.3): vecteurs de Park pour un etat sain de la MAS (0Nm)	32
Fig.(III.4): vecteurs de Park pour un etat defectueux de la MAS(0Nm).....	32
Fig.(III.5): Vecteurs de Park pour un etat sain de la MAS (15Nm)	32

- Fig.(III.6): Vecteurs de Park pour un etat defectueux de la MAS(15Nm).....33**
- Fig.(III.7): Vecteurs de Park pour un etat sain et defectueux de la MAS(0 Nm)..... خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.**
- Fig. (III.8): Vecteurs de Park pour un etat sain et defectueux de la MAS(15Nm)... خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.**

LISTE DES SYMBOLES

g : Le glissement du moteur asynchrone en pourcentage [sans unités].

n_s : La fréquence de rotation du champ B.

P : Nombre de pair de pôles.

n : La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde. $\left(\text{rad} / \text{s}^{-1} \right)$

$i_{s_a}, i_{s_b}, i_{s_c}$: Les courants statoriques triphasées (A).

$i_{s_d}; i_{s_q}$: Les courants statoriques biphasées (A).

MCSA : motor current signature analysis

g : les glissement du moteur asynchrone en pourcentage [sans unites]

n_s : la frequence de rotation du champ B

P : nombrede pair de poles

n : La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde . $\left(\text{rad} / \text{s}^{-1} \right)$

α : L'angle d'attitude.

$i_{s_a}, i_{s_b}, i_{s_c}$: Les courants statiques triphasées (A).

$i_{s_d}; i_{s_q}$: Les courants statiques biphasées (A).

i_{sd} et i_{sq} : Courant statorique (respectivement rotorique) suivant l'axe d (ou q).

ω_s : Pulsation des courants statoriques.

ω : Vitesse angulaire du rotor.

J : Moment d'inertie.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les machines asynchrones (MAS) sont caractérisées par de nombreux avantages que d'autres machines manquent et les ont fait gagner le premier salaire dans les applications industrielles pour leur qualité de force de faible coût et de disponibilité facile. Comme d'habitude, les machines asynchrones fonctionnent en courant alternatif et leurs pièces fixes et rotor ne sont pas connectées, ils servent de transformateur électromagnétique et sont réfléchissants et capables d'agir sur la source d'alimentation, soit comme un moteur ou comme un générateur de niveau de vitesse de couple. La MAS est largement utilisée et a d'énormes applications dans tous les domaines tels que les ventilateurs centrifuges et les pompes dans les aliments et les boissons et dans les moteurs sous pression dans l'industrie du pétrole et du gaz. Cette machine doit être exposée à de nombreux défauts qu'elle peut arrêter complètement à cause d'elle la machine électrique, de sorte que les spécialistes ont eu recours à la découverte de nombreuses méthodes de maintenance pour assurer sa bonne performance.

Parmi les défauts qui peuvent affecter la MAS est la cassure des barres rotoriques. Ce travail va essayer de détecter ce défaut en se basant sur une technique plus utilisée. Cette technique exploite les courants statoriques pour les transformer encore une fois à travers la matrice de Park aux deux courants en quadrature.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

- La première partie sera présentée une généralité sur les MAS en citant les défauts possibles qui peuvent toucher cette MAS. Ainsi, cette partie va présenter quelques techniques utilisées dans le domaine de diagnostic.
- Dans le deuxième chapitre nous allons mettre un aperçu sur le défaut de la cassure des barres du rotor d'une manière détaillée. Comme nous allons présenter la technique utilisée dans ce travail attentivement
- Le dernier chapitre sera consacré à l'analyse et à la détection du défaut en se basant sur les vecteurs de Park. Précisément, cette partie va exploiter les courants statoriques attentivement.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

DEFAILLANCES ET METHODES DE

DIAGNOSTIC DES MACHINES ASYNCHRONES

Chapitre I:

Défaillances et méthodes de diagnostic des machines asynchrones

I.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre, nous avons brièvement évoqué la configuration du moteur asynchrone. Puis, on a cité les principaux défauts qu'il subit, qu'ils soient mécaniques ou électriques, avec une évocation des causes conduisant à ces dysfonctionnements et ce en découlent. Comme nous avons évoqué à la fin de ce chapitre les différentes techniques de diagnostic des défauts dans les MAS

I.2 Constitution de la machine asynchrone :

I.2.1 Moteur Asynchrone (MAS) :

La machine asynchrone, souvent appelée machine à induction comprend un stator et un rotor, constitués de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator est fixe; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieure ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, on définit deux types de rotor: bobiné ou à cage d'écureuil. Toutefois, nous admettrons que sa structure est électriquement équivalente à celle d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous nous intéressant à la machine asynchrone à cage d'écureuil.

Les éléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil sont illustrés dans la figure (I.1) [BES17].

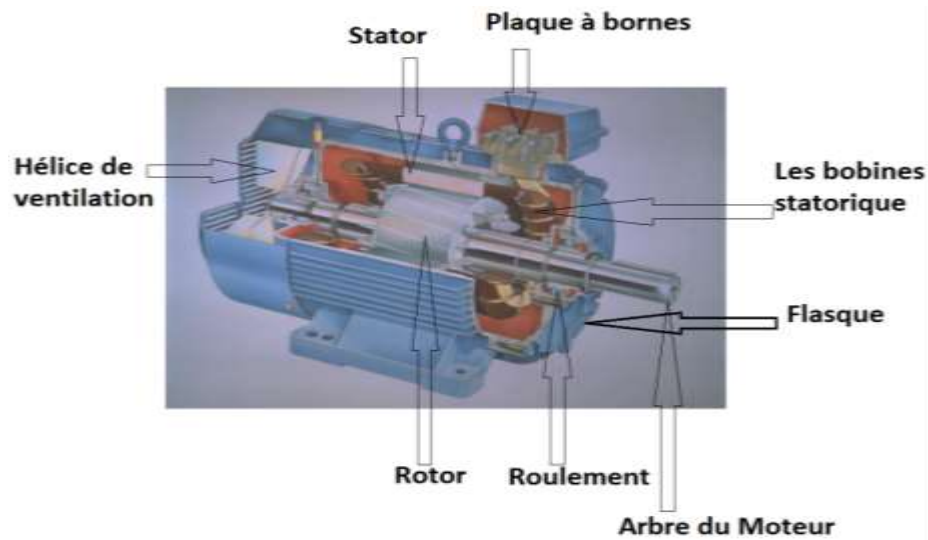


Fig. (I.1): Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.

I.2.1.1 Le Stator :

Le stator d'un moteur asynchrone est identique à celle d'un moteur synchrone (MS). Il possède 3 enroulements couplés en étoile ou en triangle et décalés entre eux de $2\pi/3$ qui sont alimentés par un système de tension triphasé. Le stator d'un moteur triphasé (le plus courant en moyenne et grosse puissance), comme son nom l'indique, est la partie statique du moteur asynchrone. Il se compose principalement:

- De la carcasse;
- Des paliers;
- Des flasques de palier;
- Du ventilateur refroidissant le moteur;
- Le capot protégeant le ventilateur.



Fig. (I.2): Stator d'une machine asynchrone.

L'intérieur du stator comprend essentiellement:

- Un noyau en fer feuilleté de manière à canaliser le flux magnétique,
- Les enroulements (ou bobinage en cuivre) des trois phases logés dans les encoches statorique.

Dans un moteur triphasé les enroulements sont décalés l'un de l'autre de 120° comme le montre le schéma ci-dessous. [BOU17].

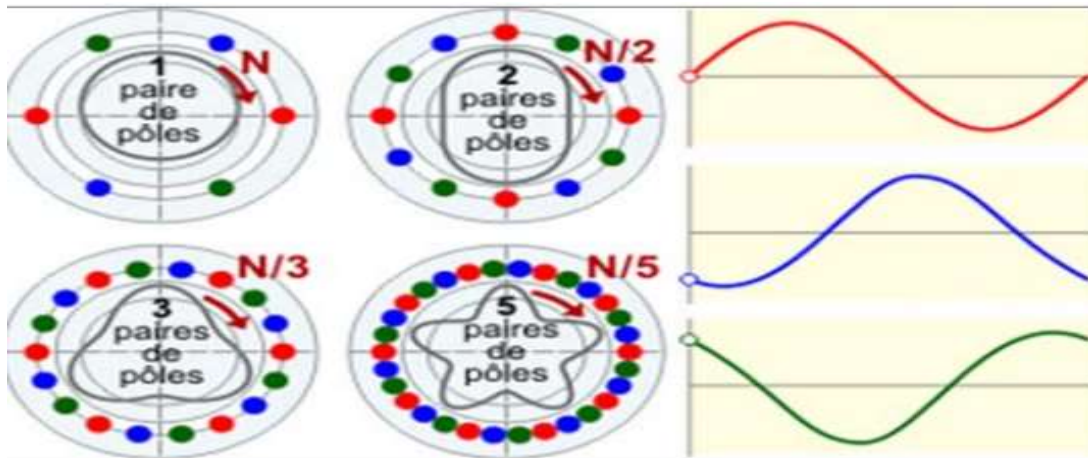


Fig.(I.3): Influence du nombre de paires de pôles sur la vitesse de rotation et de la forme u champ statorique résultant.

I.2.1.2 Rotor :

Est la partie tournante du moteur. Cylindrique, il porte soit un bobinage (d'ordinaire triphasé comme le stator) accessible par trois bagues et trois balais (figure I.6), soit une cage d'écureuil non accessible, à base de barres conductrices en aluminium figures (I.4 et I.5).

Dans les deux cas, le circuit rotorique est mis en court-circuit (par des anneaux ou un rhéostat).

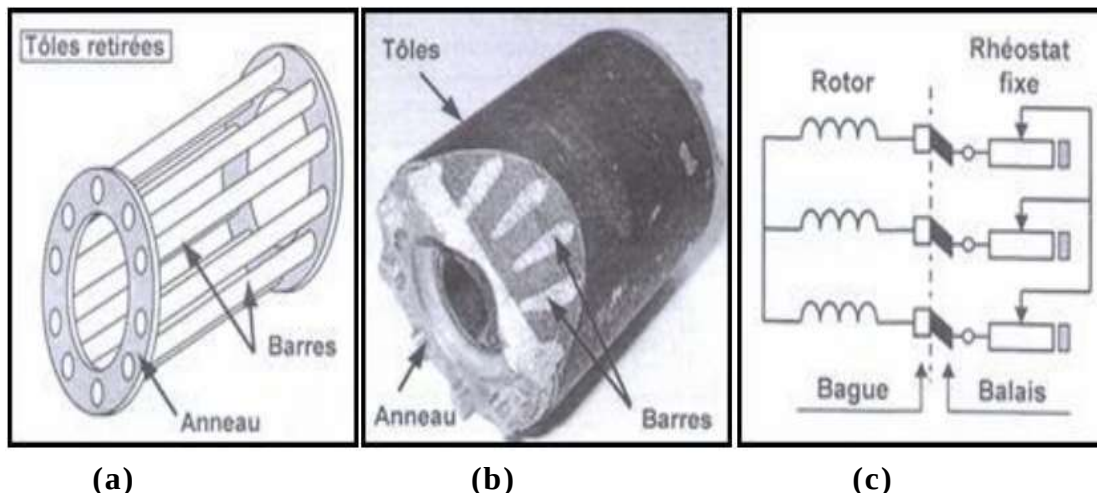


Fig. (I.4): Différents types du rotor.

I.2.1.2.1 Le rotor à cage :

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barres rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont 7 régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor (figure.I.5). Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué de disques en tôles empilés sur l'arbre de la machine analogue à celui du moteur à rotor bobiné. Dans le cas de rotors à cage d'écureuil, 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. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques, mais leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre. Le moteur à cage d'écureuil est beaucoup plus simple à construire que le moteur à rotor bobiné et, de ce fait, son prix de revient est inférieur. De plus, il dispose d'une plus grande robustesse. Il constitue la plus grande partie du parc de moteurs asynchrones actuellement en service. [SED17].

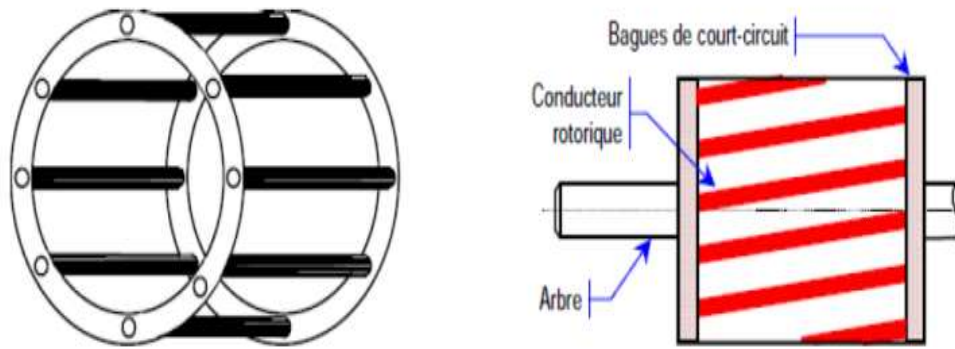


Fig. (I.5): Rotor a cage (tôles magnétiques), conductrices d'encoches (barres) et anneaux (bagues de court-circuit).

I.2.1.2.2 rotor double cage :

Le rotor est construit suivant le principe du rotor à cage simple, mais avec deux cages électriquement indépendantes. Une cage externe à la périphérie du rotor est composée de matériaux résistifs (laiton, bronze) et possède une faible dispersion magnétique. Une cage interne en cuivre possède une résistivité plus faible et une dispersion magnétique important. [SED 17].

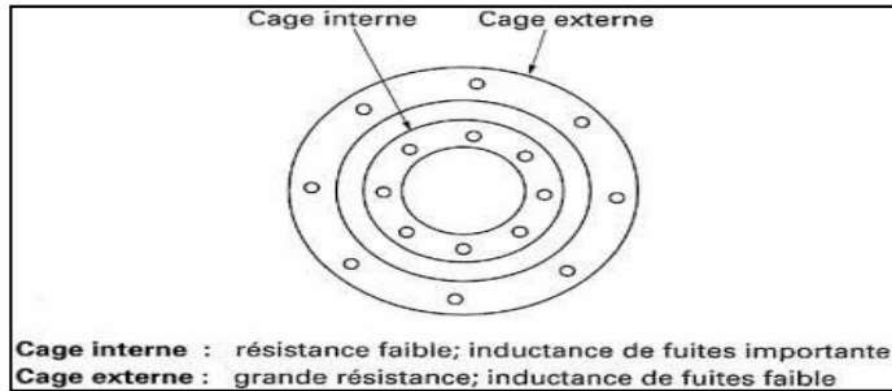


Fig. (I.6): Rotor à double cages.

I.2.1.2.3 Le rotor bobiné :

Le rotor d'une machine bobiné est constitué de trois bobines (on parle aussi de rotor à bague). Chaque bobine est reliée à une bague. Les bagues permettent d'avoir une liaison électrique avec les bobines du rotor. Le rotor est mis en court-circuit par l'extérieur au travers de trois bornes liées électriquement par des contacts glissants appelés bagues réalisées en laiton sur lesquelles s'appliquent des balais de graphite. Les trois enroulements rotoriques sont couplés en étoile à l'intérieur de la machine [BOU 17].

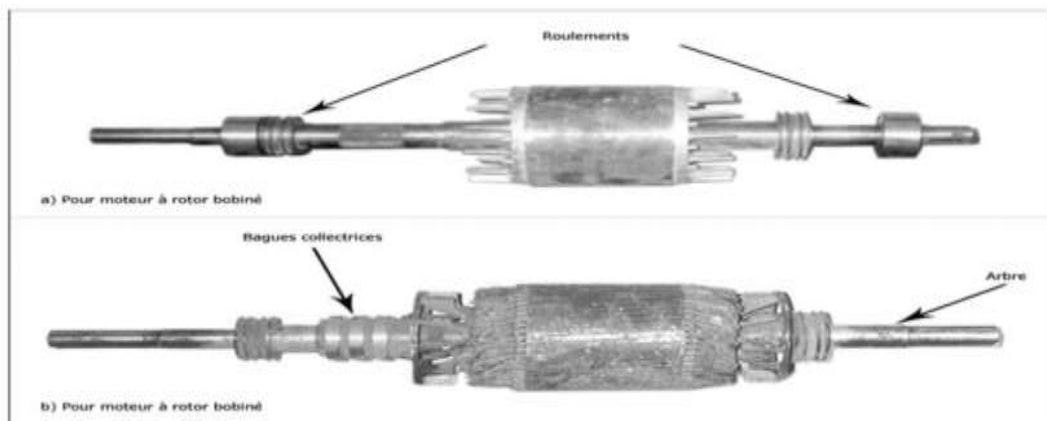


Fig. (I.7): Structures un rotor bobiné.

I.2.1.3 Les organes mécaniques :

La carcasse sert de support, elle joue le rôle d'enveloppe et assure la protection contre l'environnement extérieur. L'arbre est un organe de transmission. Il comprend une partie centrale qui sert de support au corps du rotor et un bout d'arbre sur lequel est fixé un demi-accouplement. Il est généralement constitué en acier moulé ou forgé. Son dimensionnement est fonction des

efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc....), des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges, des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire).

Il est supporté par un ou plusieurs paliers. Ces paliers soutiennent le rotor et assurent la libre rotation. Le second palier est libre pour assurer les dilatations thermiques de l'arbre. Une isolation électrique de l'un des paliers assure l'élimination des courants dans l'arbre dû aux dissymétries des réluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance [MER 09].

Afin d'assurer la variation de vitesse des moteurs électriques mais aussi la conversion de l'énergie, de nombreuses machines se voient associer un convertisseur. Ainsi, de nos jours, on trouve dans un grand nombre de procédés industriels, des associations entre des convertisseurs statiques et des machines électriques (pompage, levage,). Cela permet de fournir aux moteurs des tensions et des courants de fréquence variable servant à commander la machine en couple ou en vitesse [BES 17].

I.3 Principe de fonctionnement de la machine asynchrone :

Les courants statorique créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statorique, 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 [SED 17].

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

Une force électromotrice induite apparaît qui crée des courants rotoriques. 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 pour tenter de suivre le champ statorique.

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. En effet, dans ce cas, vu dans le référentiel du rotor, il n'y aurait pas de variation de champ magnétique, les courants s'annuleraient, de même que le couple qu'ils produisent, et la machine ne serait plus entraînée. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée vitesse de [BOU17].

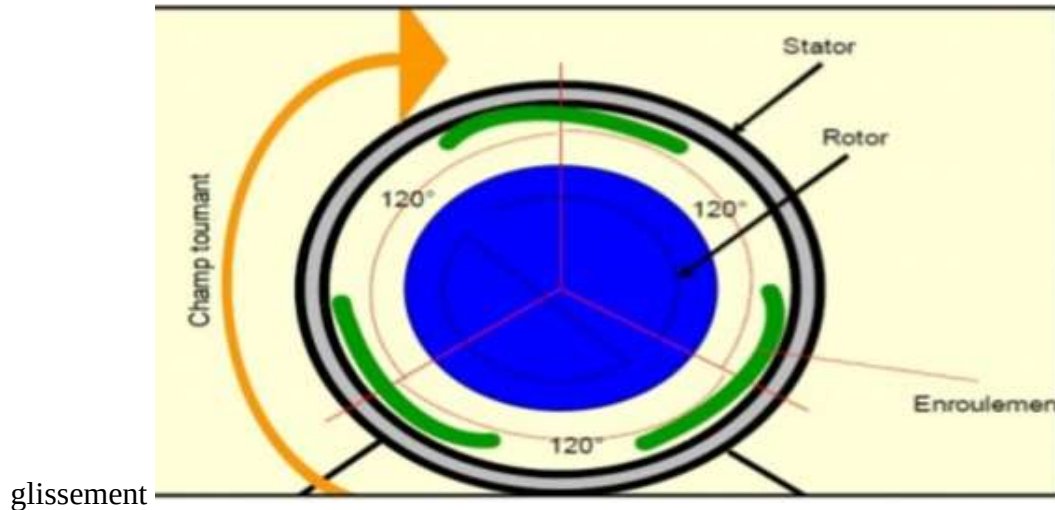


Fig. (I.8): Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone.

I.4 Glissement d'une machine asynchrone :

Le glissement est une grandeur qui rend compte de l'écart de vitesse de rotation d'une machine asynchrone par rapport à une machine synchrone hypothétique construite avec le même stator [BOU 17].

Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pourcents: de 2% pour les machines les plus grosses à 6 ou 7% pour les petites machines triphasées [BEN12] .

il peut atteindre 10% pour les petites machines monophasées. Les pertes par effet Joule dans le rotor étant proportionnelles au glissement, une machine de qualité se doit de fonctionner avec un faible glissement [BOU 17].

$$n_s - n = g \dots\dots\dots (I.1)$$

$$n_s = \frac{f}{p} \dots\dots\dots (I.2)$$

g : Le glissement du moteur asynchrone en pourcentage [sans unités].

n_s : La fréquence de rotation du champ B.

p : nombre de pair de pôles.

n : La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde $\left[\frac{rad}{s} \right]$.

I.5 Défaits d'ordre électrique :

Les défaillances d'origine électrique peuvent dans certain cas être la cause d'un arrêt de la machine, ces défaillances se séparent en deux catégories bien distinctes, on peut citer les défauts

qui apparaissent au niveau des circuits électriques statoriques et celle qui apparaissent au niveau des circuits électriques rotoriques [BEL14].

I.5.1 Défaits statoriques :

L'apparition d'un défaut au niveau du stator de la machine asynchrone peut avoir des origines diverses. Nous pouvons citer, par exemple, les défauts d'isolement dans un enroulement. Les différentes causes pour ce type de défaut sont:

- Dégradation de l'isolant à la fabrication.
- Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation.
- Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, une surcharge. Ceci entraîne une élévation de la température dégradant prématurément le matériau d'isolation.
- Vibrations mécaniques.
- Vieillesse naturelle des isolants. Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée. Même dans une utilisation 'normale', l'isolant finit naturellement par se [KHA 09].

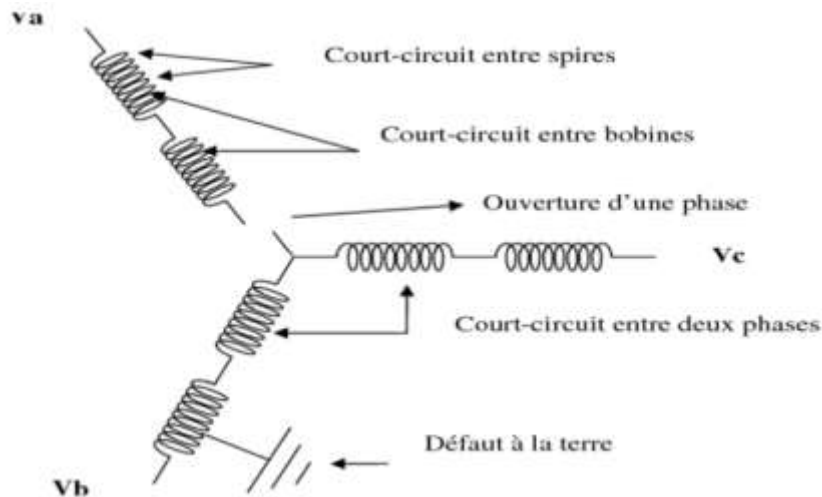


Fig. (I.9): Représentation des différents statoriques possibles.

I.5.2 Défaits rotoriques :

Les défauts qui sont les plus récurrents au niveau du rotor peuvent être définis comme suit:

I.5.2.1 Rupture de barres :

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique la

détérioration des barres réduit la valeur moyenne de couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de la rotation ce que engendre des vibrations mécaniques et donc un fonctionnement anormal de la machine[ABL 09].

I.5.2.2 Rupture d'une portion d anneau de court-circuit :

La rupture d anneau est un défaut qui apparait aussi fréquemment que la cassure de barres et les anneaux comme il est difficile de le détecter ce défaut qu'est généralement confondu avec la rupture de barres[ABL09].

I.5.2.3 Excentricité statique dynamique et mixte :

Ce phénomène est appelé excentricité (statique; dynamique ou mixte) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage à un défaut de roulement (usure) à un défaut de charge ou à un défaut de fabrication (usinage) [ABL 09].

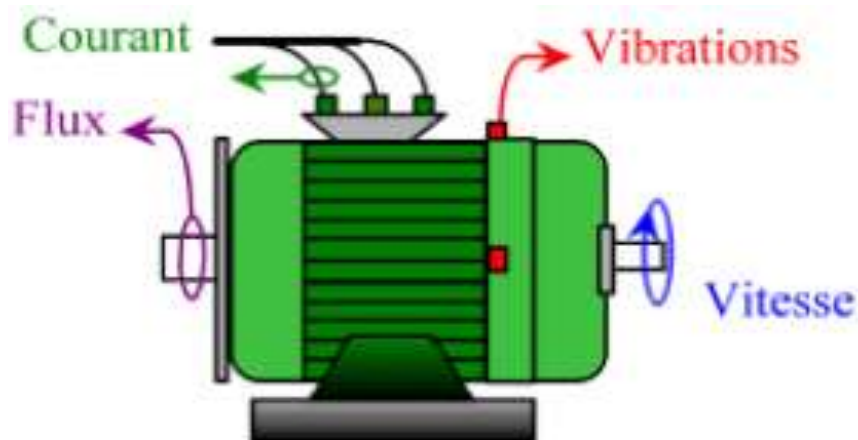


Fig (I. 10) : Défaillances de roulement mécanique.

I.5.2.4 Les études permettent de classer le défaut de roulement à bille comme :

- Corrosion due à l'eau.
- Défaut de graissage problème du a la température
- Trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- Ondulation de leur surface de roulement.
- Attaque des billes.
- Découlement effritement de surface provoques par une surcharge.

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes les excentricités interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine

asynchrone un défaut de roulement à billes se manifeste par la répétition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieure comme intérieure [MHA09] .

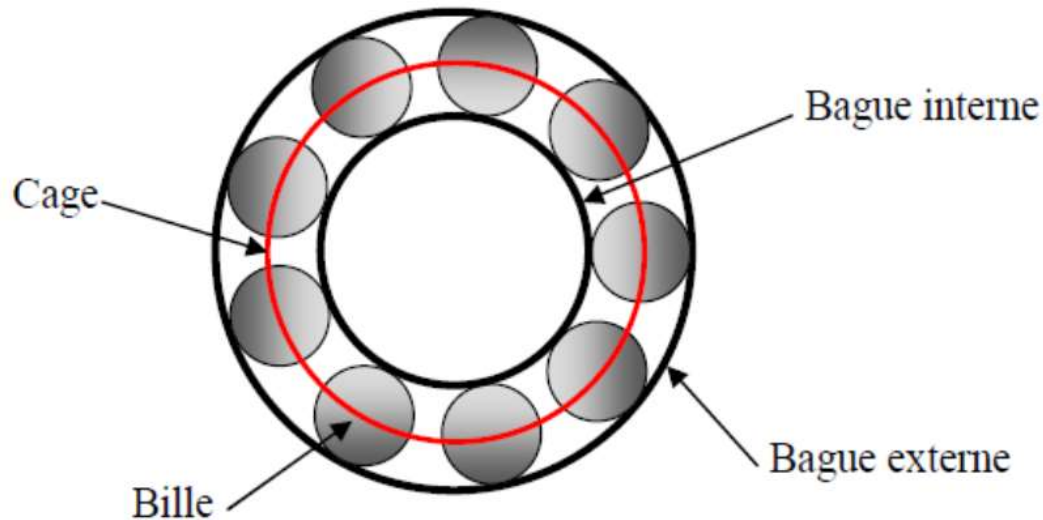


Fig. (I.11): Structure d'un roulement à billes.

I.6 Défauts d'excentricités :

Il existe deux types de défauts d'excentricité associés aux moteurs à induction:

L'excentricité statique et l'excentricité dynamique, Quand l'excentricité est statique, l'épaisseur d'entrefer entre le stator et rotor varie, mais la position de l'entrefer minimum reste fixe, L'excentricité dynamique (existe lorsque l'axe de rotation coïncide avec l'axe de rotation coïncide avec l'axe du stator mais pas avec l'axe du rotor; l'emplacement de l'entrefer minimum change alors avec la position angulaire du rotor et tourne avec lui.

I.6.1 Excentricités statique :

Peut-être causée par des défauts de fabrication du noyau (c'est à dire de forme ovale) et les problèmes; ou le rotor peut ne pas être monté exactement dans le centre du stator.

I.6.2 Excentricités dynamique :

Peut-être causée par des défauts de fabrication du rotor, ou le diamètre du rotor, N'est pas concentrique avec le centre de l'arbre; et les problèmes de roulement, ou il pourrait y avoir un mouvement radial dans le roulement du à des défauts d'usure ou de fabrication

I.6.3 Excentricités mixte :

En présence d'excentricités statique et dynamique, c'est-à-dire une excentricité mixte il y aura une apparition des harmoniques de basses fréquences (F_m) [HAM 20].

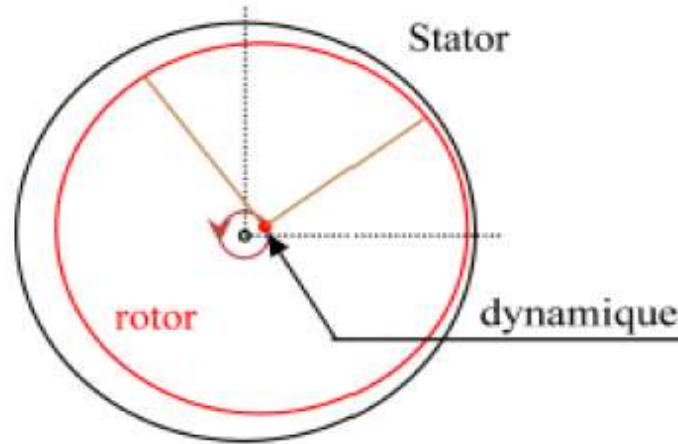


Fig. (I.12): Moteur asynchrone avec rotor excentrique.

I.7 Défauts de l'arbre :

L'arbre de la machine peut laisser paraître une fissure due à l'utilisation d'un mauvais matériau lors de sa construction; A court ou à long terme, cette fissure peut mener à une fracture nette de l'arbre provoquant ainsi un arrêt irrémédiable de machine asynchrone les milieux corrosifs peuvent aussi affaiblir la robustesse de l'arbre de la machine par exemple l'humidité peut provoquer des microfissures et conduire à une destruction complète de la machine; une excentricité statique, dynamique ou mixte peut induire des efforts considérables sur l'arbre moteur, amenant ainsi une fatigue supplémentaire une analyse par ultrason une analyse +

.fréquentielle des courants absorbes simplement une analyse visuelle de l'arbre de la machine permet de détecter ce type défaut [MOU 17].

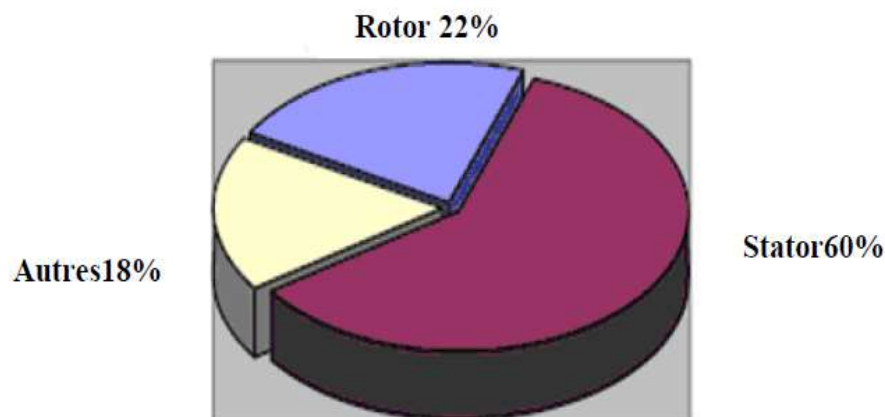
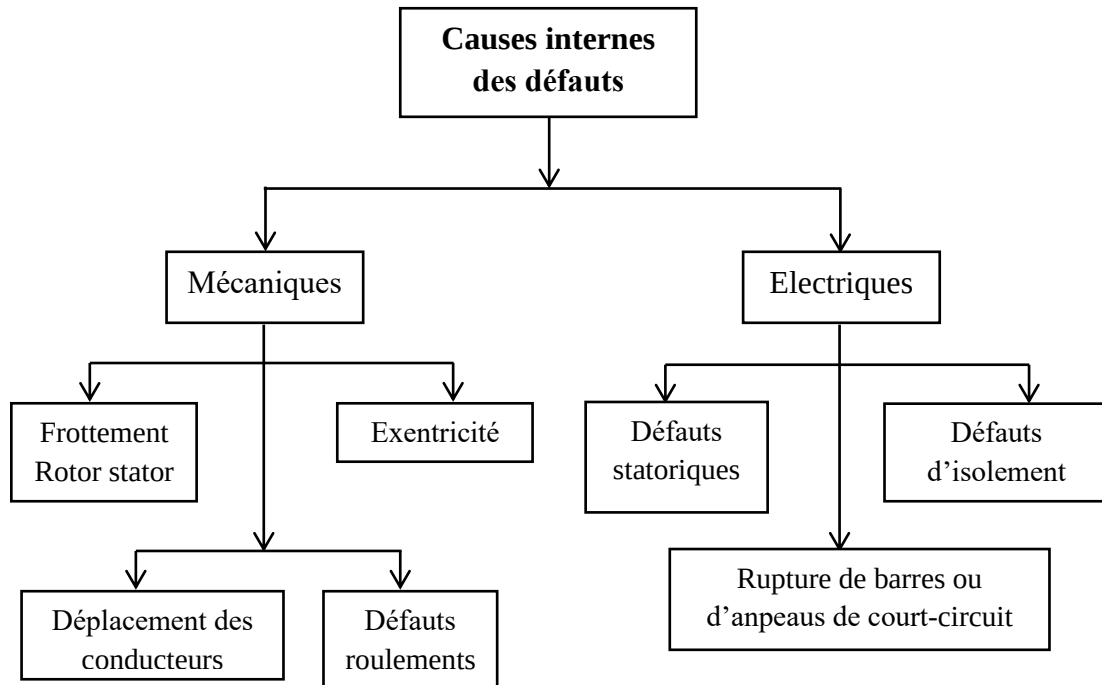


Fig. (I.13): Distribution statistique des défauts.**Fig. (I.14):** Causes internes de défauts de la machine asynchrone triphasé a cage.

I.8 Défauts spécifiques aux paliers hydrodynamiques :

Dans un palier fluide, l'arbre est porté par l'huile sous pression. Sous l'effet de la rotation, l'axe de l'arbre prend une position d'équilibre. Par rapport à l'axe de pallier cette position est définie, d'une part, par la distance entre les axes et, d'autre part, par l'angle d'attitude.

Cette position est donnée par le poids du rotor, par la force liée à la pression d'huile et la rotation de l'arbre

α : L'angle d'attitude.

Toute variation de ces forces ou tout effort supplémentaire s'exerçant sur le rotor modifie la position d'équilibre du :

- Balourd.
- Désalignement.
- Défaut de lubrification] **LAL 06**].

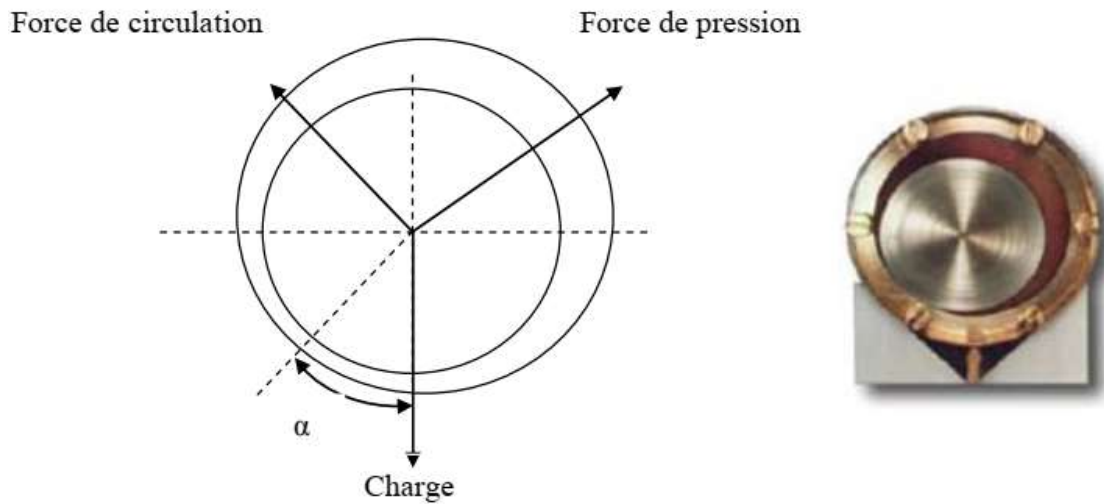


Fig. (I.15): Schéma du palier hydrodynamique.

I.9 Les causes des défauts :

Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien magnétiques. Leurs causes sont multiples, on peut les classer en trois groupes les générateurs de pannes: surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit) problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes) rupture de fixations, ...etc.

Les amplificateurs de défauts: surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, etc.

Les vices de fabrication : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, ...etc.

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème:

- Electrique (diélectrique),
- Résiduel (déformation),
- Environnemental (agression) [MOU 17].

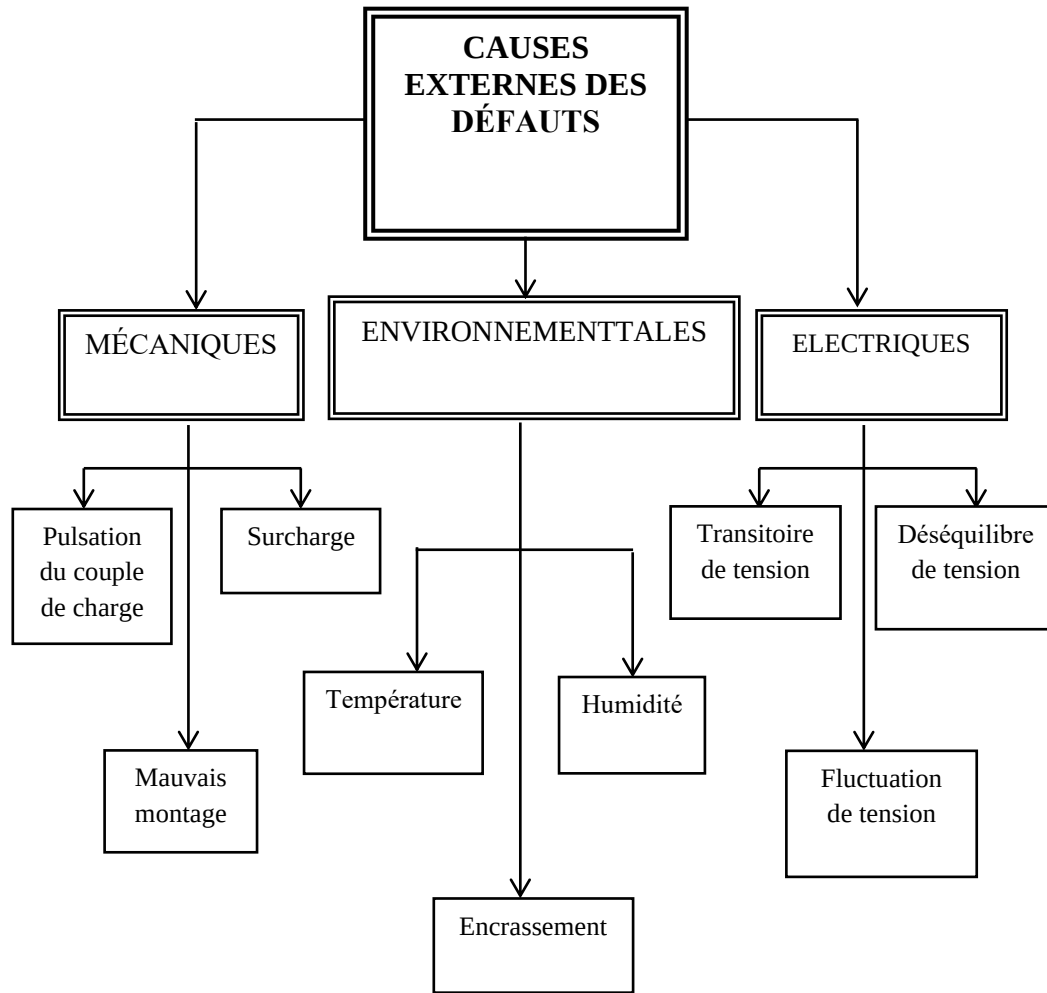


Fig. (I.16): Causes externes de défauts de la machine asynchrone triphasé à cage.

I.10. Les principaux défauts :

Les principaux défauts pouvant se produire dans une machine à cage peuvent être classés comme suit : Défauts au stator résultant d'une ouverture ou d'un court-circuit sur au moins une phase du stator.

- Connexion anormale des enroulements du stator.
- Cassure de barre ou d'anneau de court-circuit au rotor.
- Excentricité dynamique ou statique.
- Roulements.

Une étude conduite a établi une statistique des différents défauts pouvant se produire sur une machine électrique [CHE 19].

I.11 Conséquences des défauts :

Les défauts qui surviennent sur les machines asynchrones conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total [BON 92].

On cite parmi les conséquences des défauts:

- Fluctuations au niveau du couple et de la vitesse.
- Appel supplémentaire de courant.
- Déséquilibre au niveau de la tension et du courant de ligne.
- Augmentations des arrêts non programmés, des pertes de production, et par conséquent, du rendement glob [BES 17].

I.12 Méthodes de diagnostic :

L'approche traditionnelle consiste à ajouter des capteurs pour obtenir des informations supplémentaires sur l'état du système: c'est la redondance matérielle. L'inconvénient principal est le coût additionnel en équipement et en maintenance. Par opposition la redondance analytique consiste à développer des algorithmes de détection et localisation des défauts en utilisant les mesures disponibles sur le système. Ces algorithmes peuvent être ou non basés sur un modèle du système. Ils doivent bien sûr tenir compte des variations normales du comportement du système, des bruits de mesures, des perturbations externes. Ainsi que des erreurs de modélisation, pour éviter les fausses alarmes ou les manques à la détection [HAM 20].

I.12 1 Diagnostiquer défauts par le suivi des grandeurs mesurables :

L'analyse fréquentielle des grandeurs mesurables et le plus souvent utilisée pour diagnostiquer les défauts rotoriques. Les grandeurs mesurables d'une machine asynchrone peuvent être:

- les courant absorbés .
- le flux de dispersion .
- la tension d'alimentation .
- le couple électromagnétique .
- la vitesse de rotation .
- les vibrations [MER 09].

I.12.2 Diagnostic par les méthodes externes :

Les méthodes externes de diagnostic supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet, la seule connaissance repose sur l'expertise humaine par apprentissage.

Le module de reconnaissance utilise les observateurs issus du système, des entrées et des sorties, afin de trouver les relations de cause à effet, Dans ces méthodes de diagnostic le facteur déterminant est l'algorithme de classification [BEL 14].

I.12.3 Méthodes sans modèle :

Ces méthodes se basent sur l'analyse spectrale des signaux ou des mesures que fournit la machine lors de son fonctionnement telle que les courants , le couple estime et les flux, le principe de ces méthodes repose sur l'existence de caractéristiques fréquentielles propres au fonctionnement sain et défaillant du procédé, la première étape est basée sur la connaissance du système sain (par mesure ou modèles numérique) la deuxième étape consiste ensuite en une création (artificielle) de défaut (à nouveau par modèle numérique).

La signature du défaut, c'est-à-dire sa répercussion sur certaines grandeurs, est alors identifiée une observation est ensuite réalisée sur un convertisseur réel une analyse est portée sur les grandeurs (approche traitement du signal) consistant en la reconnaissance de signatures de défauts déjà connues [MOH 19].

I.12.4 Diagnostic par les méthodes déductives :

Le raisonnement en arrière est la principale caractéristique de ces méthodes, les méthodes déductives doivent trouver quels sont les effets dans les systèmes, une vérification des (effets trouvés par rapport aux effets possibles) permet de confirmer ou d'infirmer l'existence du défaut, ce qui justifie notre raisonnement

Le diagnostic peut utiliser soit un seul type de raisonnement (avant et arrière) dans ce dernier cas le raisonnement est appelé raisonnement mixte ou avant arrière la connaissance a priori de la cause défaut implique la connaissance de certains effets [BEL 14].

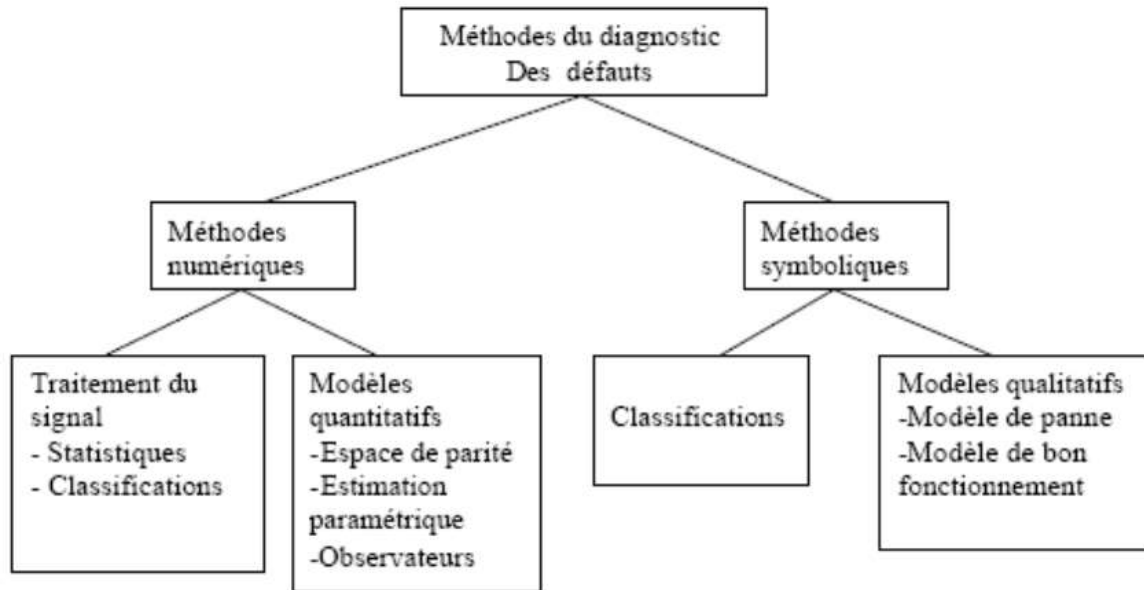


Fig. (I.17): Méthodes du diagnostic des défauts [BOUZ 05].

I.13 Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons brièvement évoqué la configuration du moteur asynchrone, puis les principaux défauts qu'il subit, qu'ils soient mécaniques ou électriques au niveau de ses pièces, avec une évocation des causes conduisant à ces dysfonctionnements et ce en découlent, puisque nous avons évoqué à la fin de ce chapitre les différentes manières de les détecter[BES 17].

CHAPITRE II :

**Pronostic des défauts de la cassure de barres du
rotor dans les MAS**

Chapitre II:

Pronostic des défauts de la cassure de barres du rotor dans les MAS

II.1. Introduction :

La machine électrique présente de nombreux défauts qui nuisent à son bon fonctionnement un de ces défauts est la dégradation du péné, cela sera le point de mire de notre étude dans ce chapitre. De sorte que nous saurons à certaines de ses causes et types et nous allons également aborder les moyens les plus importants de découvrir ce dernier, qui est la méthode des vecteurs de Park.

II.2. Les défauts de la cassure de barres rotoriques :

Un défaut dans le rotor va engendrer d'une sorte une asymétrie magnétique. Par ailleurs, un système de tensions triphasées symétrique va être à l'origine d'un champ magnétique inverse de fréquence $-gf_s$ dans le circuit rotorique. Cela va engendrer des courants circulant dans le circuit statorique à une fréquence de $(1-2g)f_s$. Une autre composante apparaît aussi dans le spectre du courant statorique à une fréquence de $(1+2g)f_s$. Cette composante est due aux fluctuations de la vitesse provoquée par les oscillations du couple [FIL 94].

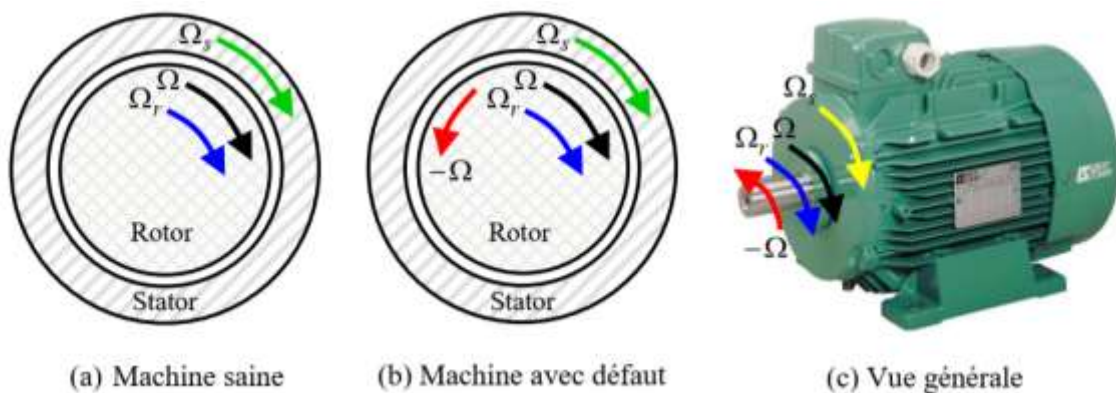


Fig. (II. 1): schéma de fonctionnement pour une machine saine et avec défaut.

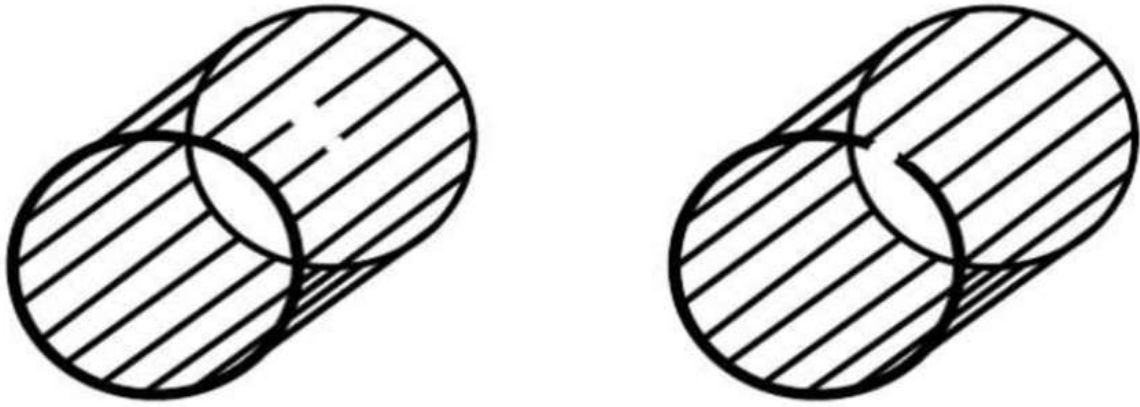


Fig. (II.2): défaut de rupture de barres et d anneau de court – round.

II.3. Causes des défauts rotoriques :

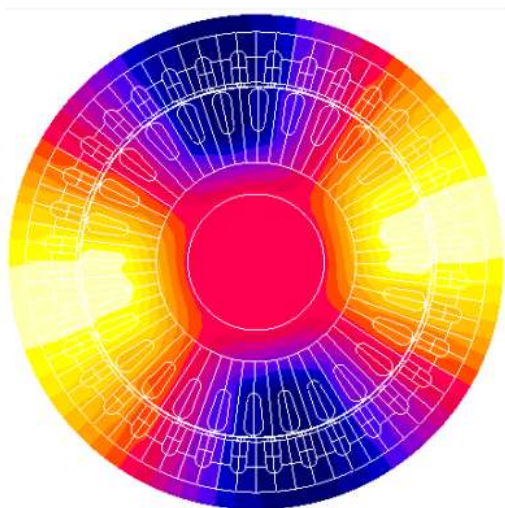
Comme pour le stator, les raisons pour les cassures des barres rotoriques et de la rupture d'une portion d'anneau de court-circuit sont nombreuses:

- Effort thermique due à l'échauffement de l'anneau du court-circuit et la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau).
- Effort dynamique du au couple de charge, aux forces centrifuges ainsi que les efforts cycliques.
- Effort environnementale causses par la contamination, l'abrasion des matériels rétorques due aux particules chimiques [BES 17] .

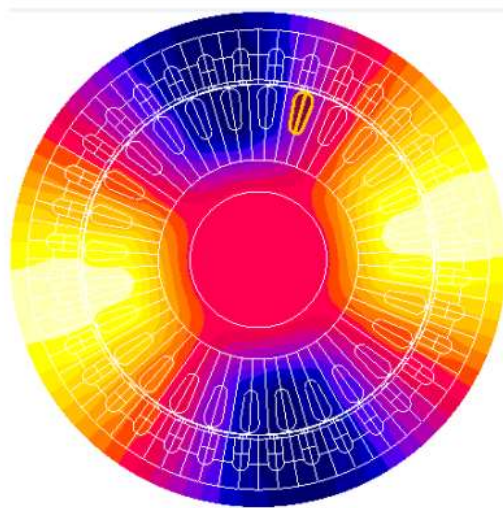
Les figures ci-dessous représentent une photo d'un rotor défectueux et la distribution du champ magnétique en présence du défaut (Figures II.3 et II.4).



Fig. (II.3): le rotor du moteur avec 2 barres cassées.



a) Machine saine



b) 1 barre cassée

Fig. (II.4) : Distribution de champ magnétique sous un défaut de la cassure de barre rotorique.

II.4. Types de la rupture des barres rotoriques :

A-Cassure totale d'une barre :

Le cas d'une cassure totale d'une barre signifie que le courant ne passe pas dans cette barre, donc il est nul. La Figure (II.4) montre la disposition générale de deux mailles adjacentes et donne les courants qui circulent dans les barres et dans les anneaux

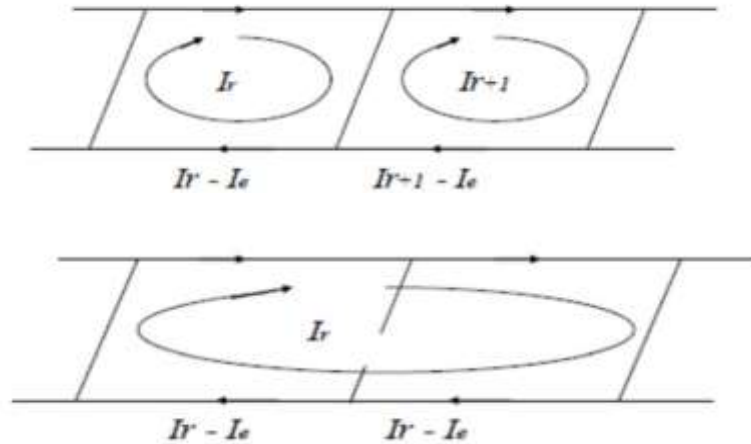


Fig. (II.5): Courants des barres rotoriques.

Si une barre est cassée (circuit ouvert), cela implique que ($I_{r+1} = I_r$) (voir la Figure II.5). La condition ($I_{r+1} = I_r$) est imposée sur la matrice des résistances et des inductances par l'addition de la colonne relative à (I_{r+1}), à celle relative à (I_r). De même pour les lignes (I_{r+1}) est supprimé du vecteur courant et tension. La taille des matrices est réduite selon le nombre de barres cassées.

B- Cassure partielle d'une barre :

Une barre rétrécie ou mal soudée représente une augmentation de la résistance de cette dernière par rapport à une barre normale, Ce qui signifie le passage d'un faible courant dans cette barre. La matrice de résistance est modifiée en augmentant la valeur de la résistance de la barre défectueuse.

Le rotor avec ce défaut crée, en plus du champ rotorique direct qui tourne à la vitesse ($g\omega_s$) par rapport au rotor (glissement de la machine), un champ inverse qui, lui tourne à une

vitesse $(-g\omega_s)$. L'interaction de ces champs avec celui issu du bobinage statorique donne naissance des composantes de fréquence $(2g \omega_s)$ dans le couple électromagnétique. Ces composantes seront la cause d'oscillations de la vitesse. Cette dernière donne naissance à des f.é.m. aux pulsations (ω_s) , $(1-2g) \omega_s$, $(1+2g) \omega_s$ et $(1-4g) \omega_s$ qui créent à leur tour des courants aux mêmes pulsations. Les champs créent par ces courants vont à leur tour induire au rotor des courants directs et inverses. Ainsi par un processus identique, on retrouve dans le courant statorique des Composantes de fréquences [BOU 20] .

$$f_{\text{défaut}} = (1 \pm \omega_s k g) f$$

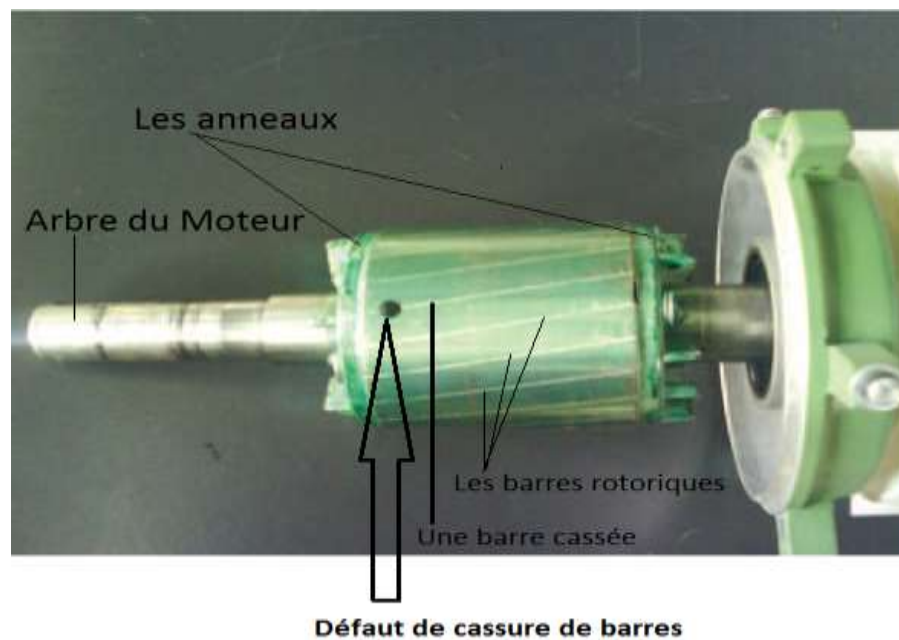


Fig. (II.6): défaut de cassure de barres.

II.5. Méthodes utilisées dans le diagnostic des MAS :

II.5.1. La Méthode de la MCSA :

L'analyse des signaux du glissement statorique du moteur asynchrone (MCSA) est devenue une technique très répandue pour apprécier l'état de santé du moteur asynchrone afin d'éviter la défaillance, les techniques classiques de traitement du signal et de la défaillances dans les machines tournantes, basées sur l'analyse de Fourier [SITE WEB 01] .

II.5.2. Les techniques de traitement du signal utilisées en MCSA :

Les techniques de traitement du signal utilisées en MCSA peuvent être classées en deux grandes classes: l'analyse fréquentielle, et l'analyse temps-fréquence. Les techniques conventionnelles.

Tel que l'analyse fréquentielle peuvent détecter une anomalie et indiquer la présence de défauts mais sans donner suffisamment d'informations sur l'état du système. Néanmoins, la représentation temps-fréquence donne l'énergie du signal en fonction du temps et de fréquence et peut être effectuée à une résolution temps-fréquence constante ou variable. Diverses méthodes temps-fréquence tels que la Multi-résolution Fourier transforme et la transformée en ondelettes continue (CWT), ont été largement utilisées pour analyser des signaux de courant et d'extraire des informations de diagnostic utile. [RAH 15].

II.6. Approche des vecteurs de Park :

Actuellement, les machines asynchrones sont considérées comme l'outil de conversion électromécanique le plus utilisé dans le milieu industriel, cet engouement pour ce type de machine est justifié par sa simplicité de construction, son faible coût d'achat et sa robustesse mécanique des applications de la machine asynchrone à vitesse variable ont vu le jour dans divers domaines en l'occurrence l'aéronautique, la robotique et dans certains mécanismes industriels à haute précision. Toutefois, cette machine peut être affectée par des défauts potentiels qui se répercutent sur la sécurité de la production, la qualité du service et la rentabilité des installations par conséquent, il est très intéressant de développer des systèmes de défauts pouvant surgir dans ce type de machines [OUA 14].

II.6.1. Module des vecteurs de Park :

Cette méthode est basée sur la transformation de Park, à savoir la transformation des grandeurs de la machine triphasée à celles d'une machine biphasée, selon les deux axes d et q.

On obtient de cette transformation les vecteurs de Park des tensions, des flux et des courants, cette technique utilise les deux composantes du courant statique i_{sd} et i_{sq} en fonction des courants statiques (i_{sa} , i_{sb} , i_{sq}) s'expriment comme suit [BEN 99] :

$$\begin{cases} i_{s_a} = \cos(2 \times \pi \times f \times t - \varphi) \\ i_{s_b} = \cos(2 \times \pi \times f \times t - \frac{2 \times \pi}{3} - \varphi) \dots\dots\dots(\text{II. 1}) \\ i_{s_c} = \cos(2 \times \pi \times f \times t + \frac{2 \times \pi}{3} - \varphi) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{s_d} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times i_{s_a} - \frac{1}{\sqrt{6}} \times i_{s_b} - \frac{1}{\sqrt{6}} \times i_{s_c} \dots\dots\dots(\text{II. 2}) \\ i_{s_q} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times i_{s_b} - \frac{1}{\sqrt{6}} \times i_{s_c} \end{cases}$$

Deux versions d'analyse par cette méthode à savoir: la premier utilise les grandeurs biphasées isa et isb qui sont calculées à partir des trois courants d'alimentation, pour l'obtention de la courbe de Lissajous : isb = f(isa), qui est basée sur l'analyse spectrale du module du vecteur de Park, elle présent beaucoup d'avantages quant à la détection des défauts statorique ou rotorique et même les défauts de roulement[**BOU 19**].

$$\text{Vecteur triphasé réel : } \mathbf{x} = \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{Nombre complexe : } \overline{X} = X_1 + jX_2$$

$$\text{Vecteur de nombres complexes: } \begin{bmatrix} x_1 + jX_4 \\ x_2 + jX_5 \\ x_3 + jX_6 \end{bmatrix}$$

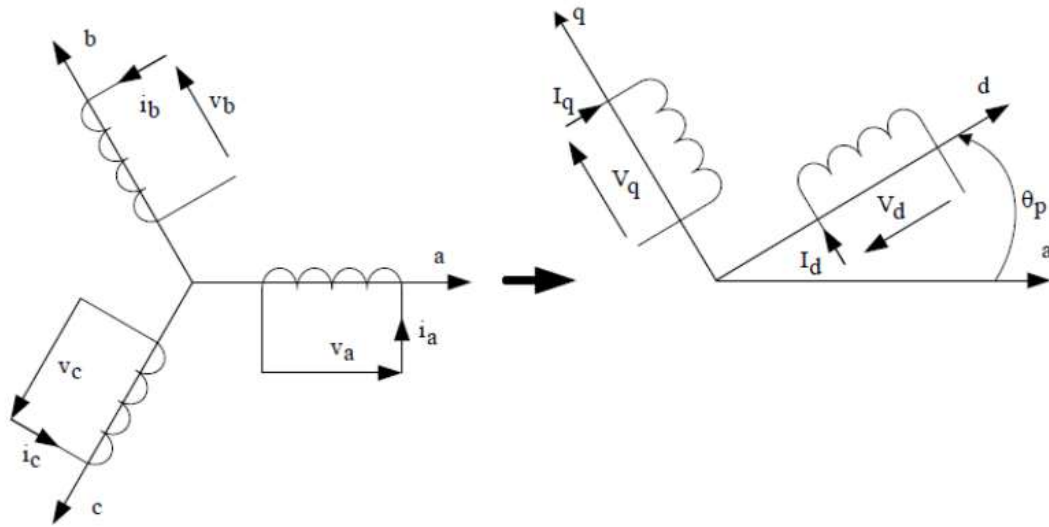


Fig.(II.7): La transformation de Park.

II.6.2. Diagnostic des défauts par analyse spectrale des courants de PARK :

Le spectre de fréquence du module des vecteurs de Park contient une composante continue et à la différence du spectre du courant statorique, elle ne contient pas l'harmonique fondamental. Cependant, il existe certains harmoniques résiduels d'amplitude négligeable. L'atténuation de l'harmonique fondamental et les harmoniques de temps favorisent l'identification d'une éventuelle présence d'harmoniques liés aux défauts.

Ce dernier se manifeste à une fréquence différente de celle du courant statorique. Ce qui rend facile sa détection.

II.7. Conclusion :

Ce chapitre a proposé une méthodologie selon laquelle la rupture des barres pour les moteurs à induction pouvait être diagnostiquée en surveillant le courant du stator par ordinateur. La technique proposée a été basée sur l'analyse des vecteurs Park qui convertit les quantités de machines triphasées en quantités de machines à deux grandeurs selon l'axe **d** et l'axe **q**.

CHAPITRE III:

**DETECTIONS DES DEFAUTS DE LA
CASSURE DES BARRES ROTORIQUES DES
MAS**

Chapitre III :

Détections des défauts de la cassure des barres rotoriques des mas

III.1 Introduction :

La détection précoce des défauts qui situent au niveau des machines électriques nécessite de nombreux types de surveillance utilisant des techniques de diagnostic dont certaines dépendent de grandeurs électromagnétiques telles que le débit, la tension et le courant. La méthode adoptée se base sur les grandeurs des courants statoriques. Ces dernières vont transformer par la matrice de Park pour avoir deux phases selon les axes d et q . L'objectif de cette partie est d'analyser les courants de Park.

III.2 Instrument de mesure :

Les appareils de mesure sont composés de trois capteurs de courant, d'un engin de Park et d'une carte d'acquisition tous reliés à un ordinateur pour visualiser et traiter les signaux reçus et d'un moteur triphasé.



Fig. (III.1): Banc d'essai destiné au diagnostic du défauts de Barres.

III.3 Analyse des courants de PARK :

Généralement, le spectre de fréquence du module des vecteurs de Park contient un ensemble d'harmoniques. Cependant, il existe certains harmoniques résiduels d'amplitude significatifs. L'atténuation de l'harmonique fondamental et les harmoniques de temps favorisent l'identification d'une éventuelle présence d'harmoniques liés aux défauts. Ce dernier se manifeste à une fréquence différente de celle du courant statorique. Ce qui rend facile à détecter [site web 01].

Les courants instantanés de notre étude sont représentés dans la figure ci-dessous.

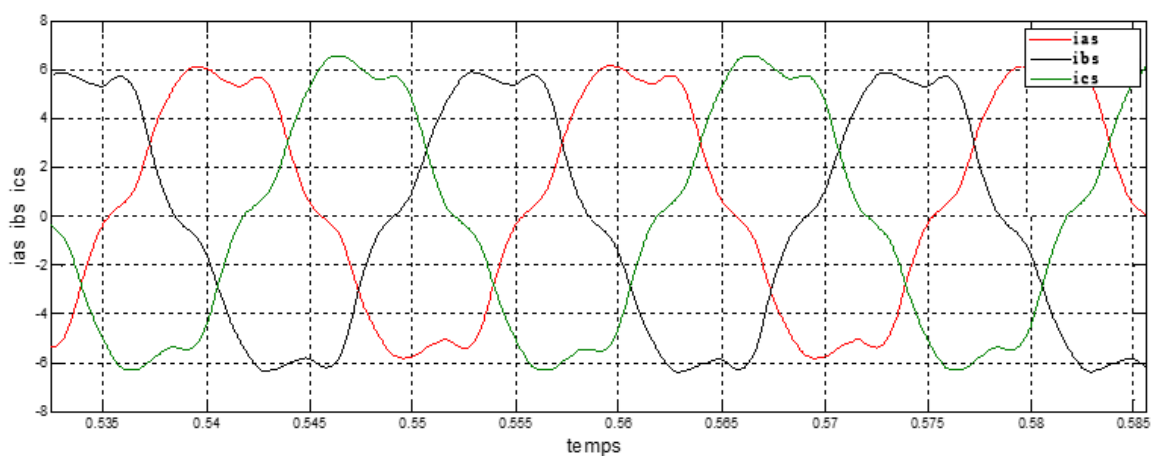


Fig. (III.2): courants i_{as} i_{bs} i_{cs} .

III.4 Résultats de simulation avec défauts de la cassure des barres :

Dans cette étude, nous avons analysé les données pour une MAS sous fonctionnement à vide (0 Nm). On a exploité les trois courants statoriques pour avoir i_d et i_q . Après avoir obtenu les courants bi-phasés, on représente $i_d=f(i_d)$. La figure ci-dessous montre clairement les courbes de vecteurs de Park dans l'état sain et l'état défectueux de la MAS (Figures III.2 et III. 3).

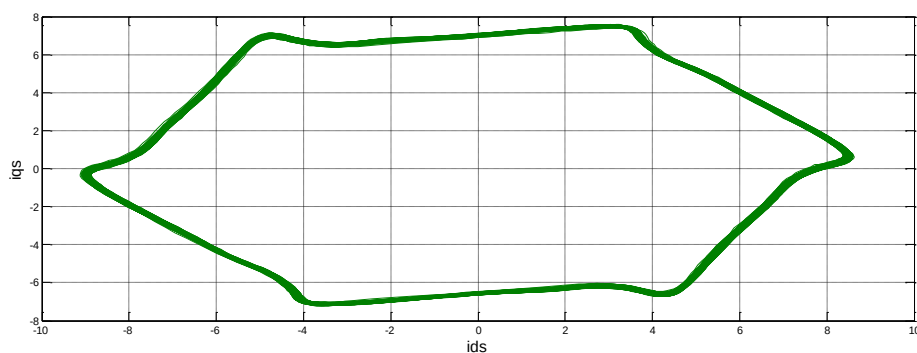


Fig.(III.3): Vecteurs de Park pour un état sain de la MAS (0Nm).

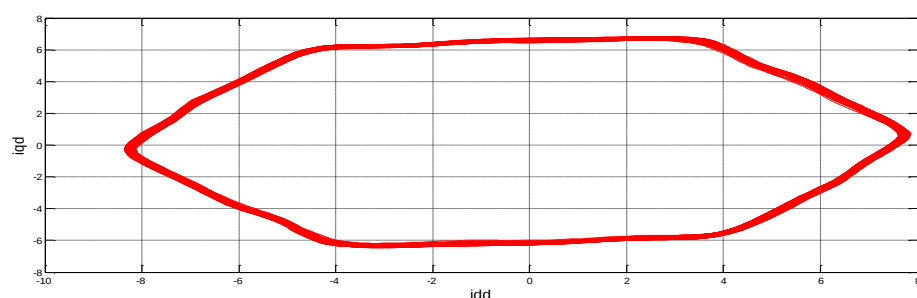


Fig.(III.4): Vecteurs de Park pour un état défectueux de la MAS (0Nm).

Sous un fonctionnement en charge de la MAS (15 Nm). Les Figures III. 4 et III. 5 montrent clairement la différence de l'une par rapport à l'autre.

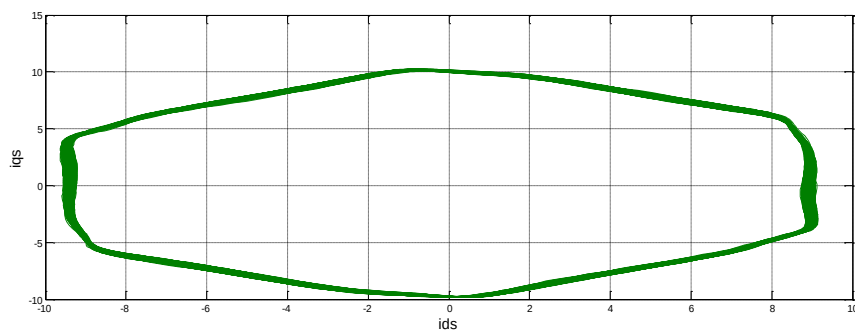


Fig.(III.5): Vecteurs de Park pour un état sain de la MAS (15Nm).

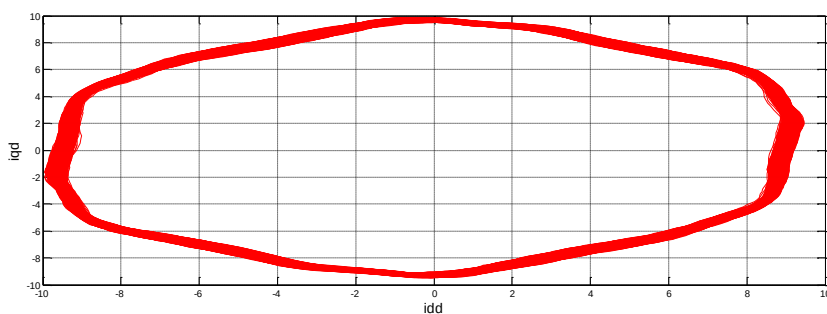


Fig.(III.6): Vecteurs de Park pour un état défectueux de la MAS (15Nm).

Lorsqu'on représente les deux figures des vecteurs de Park pour les deux conditions de la MAS (état sain et défectueux). On voit clairement la différence entre les états de la MAS.

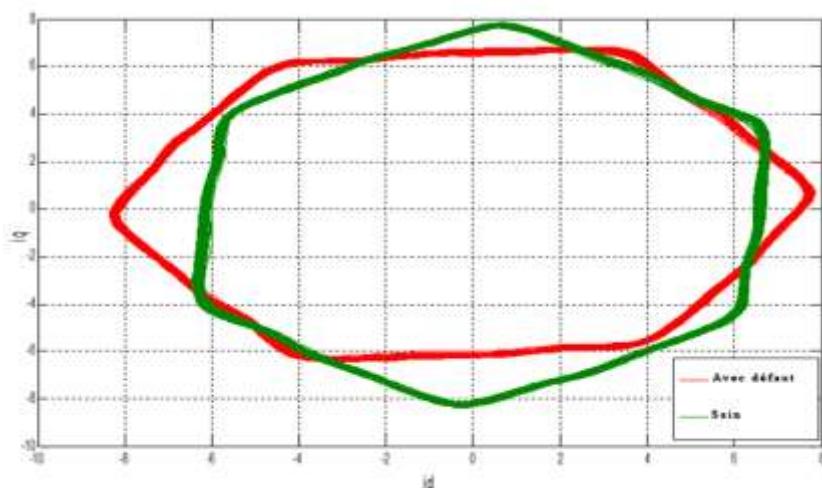


Fig.(III.7): Vecteurs de Park pour un état sain et défectueux de la MAS (0Nm).

La figure(III. 8) représente une comparaison entre les courbes en présence de défaut et en absence de celui pour une charge de 15 Nm. On constate que le bon état de la courbe de Lissajous du moteur était inférieur à celui d'un défaut.

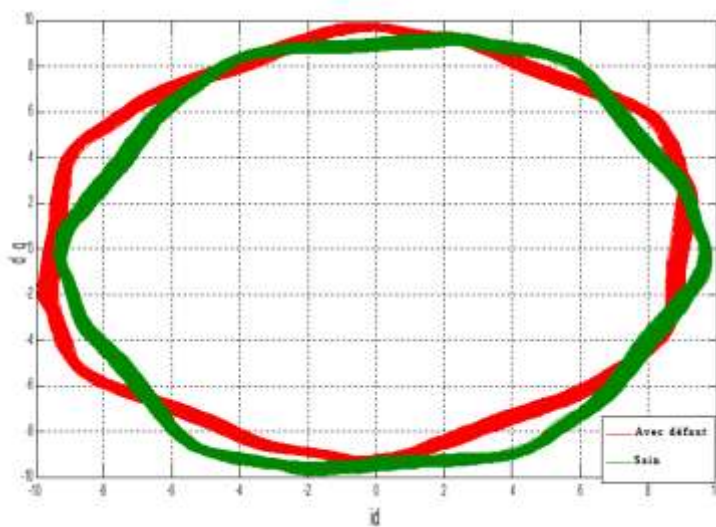


Fig.(III.8): Vecteurs de Park pour un état sain et défectueux de la MAS (15Nm).

III.5 Discussion :

Nous concluons que dans le bon état du moteur, la courbe de Lissajous est plus épaisse et sa forme plus proche du circuit par rapport à l'état défectueux et à partir de laquelle nous concluons que nous pouvons déterminer s'il y a un défaut au niveau du moteur en observant la courbe de Lissajous (vecteurs de Park).

Grace à la méthodologie proposée, à laquelle nous pouvons diagnostiquer les dysfonctionnements au niveau des moteurs à induction, nous constatons que les vecteurs de Park sont entièrement diffusés, au niveau du moteur défectueux et du moteur de sain.

III.6 Conclusion :

Nous avons discuté dans ce chapitre de la technique par analyse des vecteurs de Park pour détecter les défauts dans les moteurs à induction dans les barres rotoriques. Cette étape est très importante pour protéger la machine électrique car elle améliore grandement la fiabilité, la disponibilité de la MAS.

Nous concluons que nous pouvons observer facilement la différence entre les vecteurs de Park pour différentes conditions.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le sujet du diagnostic des machines asynchrones est maintenant visé par de nombreux spécialistes, en raison de l'importance que ces machines ont prise parce que la probabilité d'erreurs qui tombent sur eux est devenue si grande qu'il est nécessaire d'essayer de développer et de modifier les méthodes de diagnostic de leurs défauts.

Nous avons donc fait ce mémoire pour étudier comment détecter le défaut de la cassure des barres du rotor en utilisant les courants de Park. Cette méthode dépend du calcul des trois courants de phase et le calcul des composantes du vecteur Park. Les représentations de i_q en fonction du i_d montre une augmentation la largeur ou bande des courbes de Lissajous.

Nous avons discuté la technique par analyse des vecteurs de Park pour détecter les défauts dans les barres rotoriques pour les MAS.

Nous concluons que nous pouvons observer facilement la différence entre les vecteurs de Park pour différentes conditions.

Les résultats montrent qu'on peut prendre une décision sur l'état de la machine en se basant sur l'analyse des vecteurs de Park.

Bibliographiques

Bibliographiques

[ABL 09]: abla bouguerne, diagnostic automatique des défauts des moteurs asynchron, université mentouri – constantine, 2009, algerie.

[BEL 14]: belhamdi saad, diagnostic des défauts de la machine asynchrone contrôlée par différentes techniques de commande, université mohamed. khider – biskra, 2014, algerie.

[BEN 99]: Benouzza, Drif, Emploi de l'approche des vecteurs de Park pour la détection des défauts de barres dans les moteurs asynchrones à cage d'écureuil, Université de Coimbra departamento de engenharia electrotechnique; P3000, coimbra, 1999, Portugal.

[BES 17]: noredidine bessous.

[CHE 19]: chelaghema mohamed, pronostic des défauts statoriques et rotoriques des machines asynchrones, université mohamed seddik ben yahia – jijel, 2019, algerie.

[HAM 20]: hammiche madjid, détection du défaut de rupture des barres dans une machine asynchrone à cage, université de bejaia , 2020, algerie.

[KHA 09]: khatir abdelfatah, étude comparative des modèles des machines asynchrones utilisés en diagnostic des défauts, université ferhat abbas – setif – ufas, 2009, algerie.

[LAL 06]: lalouche ahmed, diagnostic des machines tournantes étude numérique et expérimentale, université mohamed bougara boumerdes, 2006, algerie.

[MER 09]: merabet hichem, surveillance et détection de défauts d'une machine à induction université badji mokhtar . annaba, 2009, algerie.

[MHA 09]: mharir miloud, étude des défauts dans la machine asynchrone à cage d'écureuil par l'emploi de la fonction d'enroulement modifiée, université des sciences et de la technologie d'Oran mouhamd boudiaf ,2008 ,algerie.

[MOH 19]: mohamed lamine, pronostic des défauts statorique et rotorique des machines asynchrones, université mohamed sedik ben yahia – jijel , 2019, algerie.

[MOU 17]: mourad hellal, étude des performances de la machine asynchrone sous défaut, université mouloud mammeri de tizi – ouzou, 2017 , algerie.

[OUA 14]: M. ouachtouk, détection des défauts rotoriques par approche de vecteur des Park, Ecole normale supérieure de l'enseignement technique rabat année , 2014 , France.

[RAH 15]: Rohmoune; chemseddine, Université Mohamed bougara – boumerdes, Contribution à la surveillance des systèmes électromécaniques, 2015, algerie.

[BEN 12]: BENFEDA Rachid, AMRANE boussad, CHAOUICHE Aziz, Etude de la protection électrique des moteurs asynchrones triphasés, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2012, algerie.

[BOU 20]: Boussaid massinisa, Détection du défaut de rupture des barres dans une machine asynchrone a cage, 2020, algerie.

[BOU 17]: BOUDJTAT Walid, Etude Et Simulation D'une Machine Asynchrone Alimentée Par Un Onduleur De Tension A Commande Mli, Université badji mokhtar-annaba, 2017, algerie.

[MER 09] *MERABET HICHEM*, Surveillance Et Détection De Défauts D'une Machine A Induction, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, Année, 2009 , algerie.

[SED 17]: SEDDIK Kahina, Modélisation de la machine asynchrone pentaphasée en régime dégradé, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, 2017, algerie.

[SITE WEB 01]: [Ntp/univ – bejaia dz /dspace /123456789/11899](http://univ-bejaia.dz/dspace/123456789/11899).

[SITE WEB 02]: [https: www . researchgate net publication 309479687](https://www.researchgate.net/publication/309479687).

[BEL 18]: udina seid, Modélisation et simulation les défauts rotoriques d'un moteur asynchrone a cage d'écureuil, Université akli Mohamed oulhadj – bouira, 2018, algerie.

[FIL 94] : P .VAS .F.Fippetti , G . Franceschini , et C . Tassoni . Transient modeling oriented to diagnosis of induction machines with rotor asymmetries . International Conferenosis on electrical Machine , C . 3 : 67. 1994

