

# **CHAPITRE I**

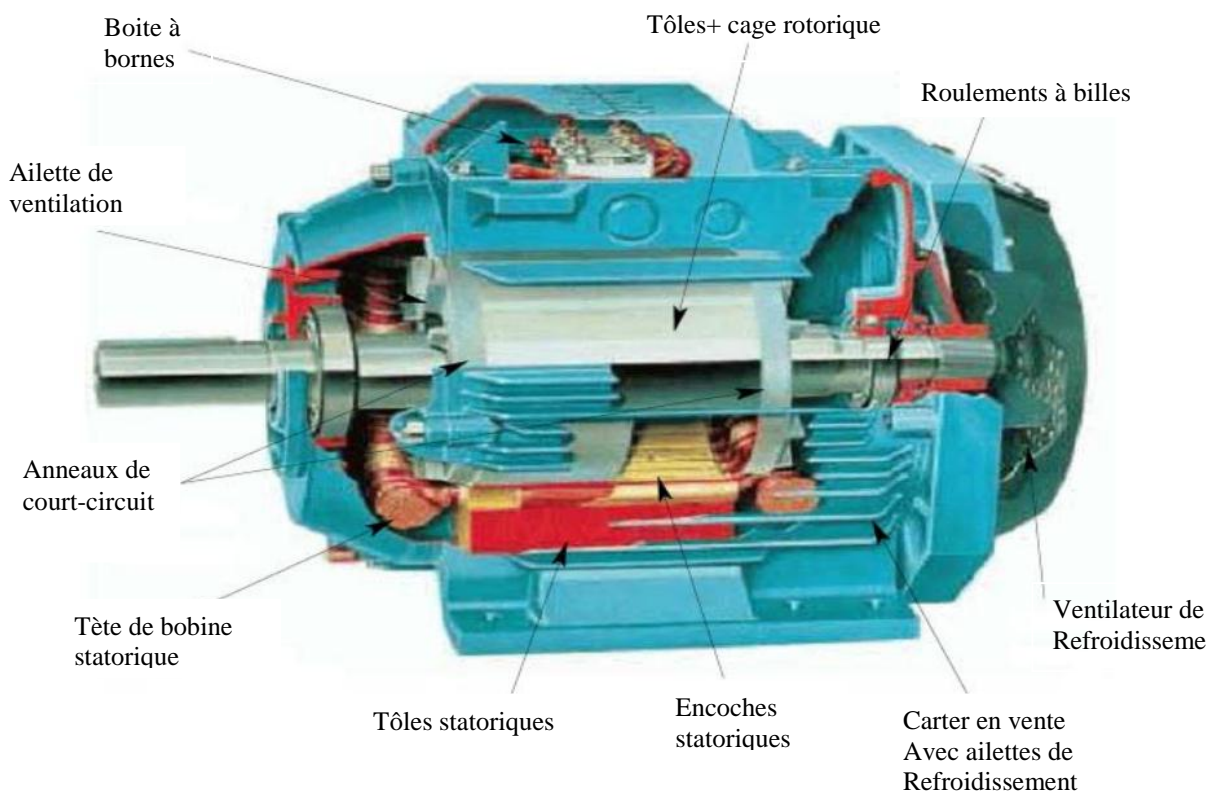
## **L'ETAT DE L'ART**

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre, on essaye de décrire le comportement de la machine asynchrone à cage d'écureuil. La première partie fait un rappel sur la constitution de moteur asynchrone à cage d'écureuil. La seconde partie traite les différentes défaillances qui peuvent affecter le moteur asynchrone. Nous évoquerons, essentiellement, les défauts statoriques, les défauts rotoriques et les défauts mécaniques [2].

## I.2. Eléments de constitution de la machine asynchrone

La machine asynchrone, souvent appelée moteur 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'extérieur 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 intéressons 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 1.1) [5][6].



**Figure 1.1 : Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil.**

### I.2.1. Le stator

Il est constitué d'un enroulement bobiné réparti dans les encoches du circuit magnétique. Ce circuit magnétique est constitué d'un empilage de tôles dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe de la machine (Figure 1.2), 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 bobines 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 distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique [7][8].

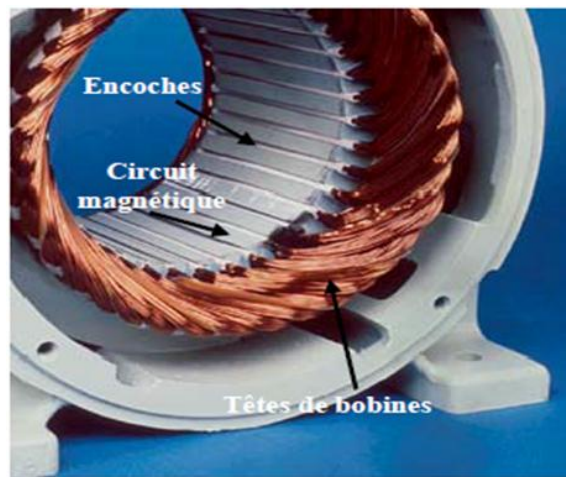
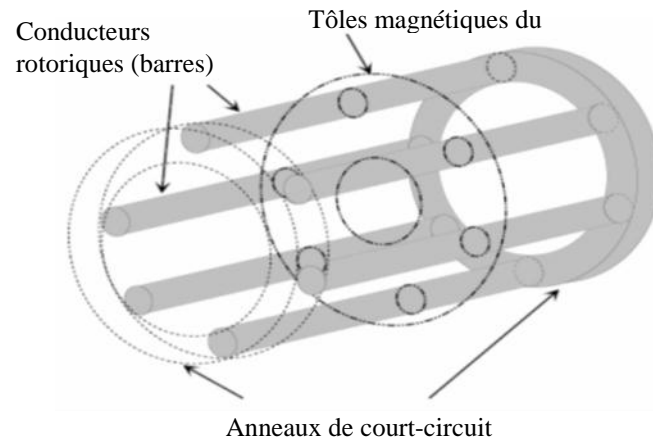


Figure 1.2 : Photo du stator d'une machine asynchrone.

### I.2.2. Le rotor

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotoriques) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor (Figure 1.3), 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 [5]. 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. 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 [6].



**Figure 1.3 : Vue schématique en perspective du rotor.**

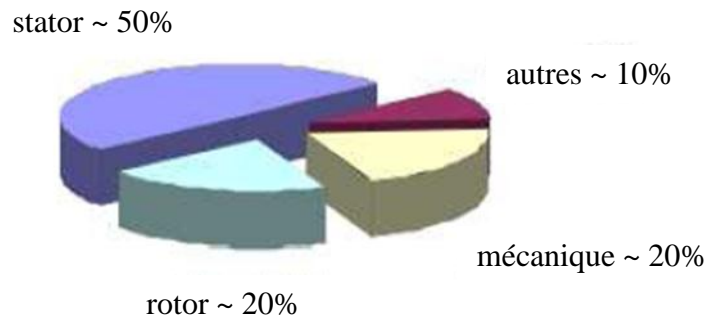
### **I.2.3. Les organes mécaniques**

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 ré reluctances du circuit magnétique. Ils sont généralement à roulements pour les machines de petite et moyenne puissance [7].

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 [8].

## **I.3. Défaillances de la machine asynchrone**

Bien que la machine asynchrone ait la réputation d'être robuste, elle peut présenter comme toute autre machine électrique, des défaillances d'ordre électrique ou mécanique. La détection de ces défauts en cours d'évolution et en cours d'apparition est l'un des objectifs des chercheurs. Ces défauts peuvent être classés selon les statistiques du Figure suivantes [2]:



**Figure 1.4 : Représentation des défauts des machines asynchrone.**

### **I.3.1. Défaillances au stator**

Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème [8]:

- Thermique (surcharge,...)
- Electrique (diélectrique,...)
- Mécanique (bobinage,...)
- Environnemental (agression,...)

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

#### **I.3.1.1. Défauts d'isolant dans un enroulement**

La dégradation des isolants dans les enroulements peut provoquer des courts-circuits. En effet, les différentes pertes (Joule, fer, mécanique,...) engendrent des phénomènes thermiques se traduisant par une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or les matériaux d'isolation ont une limite de température de tension et mécanique, de ce fait si l'environnement de travail d'un matériau d'isolation dépasse une de ces limites ce matériau se dégrade de manière prématurée ou accélérée, puis finit par ne plus assurer sa fonction. Les différentes causes pour ce type de défaut sont [9]:

- Dégradation de l'isolant à la fabrication,
- Tension de l'enroulement supérieure à la limite du matériau d'isolation,
- Vibrations mécaniques,
- Courant élevé dans l'enroulement dû à un court-circuit, un défaut du convertisseur, une surcharge.
- Vieillessement naturel des isolants Tous les matériaux isolants ont une durée de vie limitée même dans une utilisation 'normale' l'isolant finit naturellement par se dégrader.

- Fonctionnement dans un environnement sévère.

### **I.3.1.2. Court-circuit entre spires**

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent, Cette défaillance a pour origine un ou plusieurs défauts d'isolant dans l'enroulement concerne, Il entraîne une augmentation des courants statoriques dans la phase affectée. Une légère variation de l'amplitude sur les autres phases modifie le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Ceci a pour conséquence une augmentation de la température au niveau du bobinage. De ce fait, une dégradation accélérée des isolants, peut provoquer ainsi, un défaut en cascade (apparition d'un 2<sup>ème</sup> court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste, sensiblement, identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut [6].

### **I.3.1.3. Court-circuit entre phases**

Ce type de défaillance peut arriver en tout point du bobinage, cependant les répercussions ne seront pas les mêmes selon la localisation, Cette caractéristique rend difficile une analyse de l'incidence de ce défaut sur le système [9].

L'apparition d'un court-circuit, proche de l'alimentation entre phases induirait des courants très élevés qui conduiraient à la fusion des conducteurs d'alimentation et/ou à la disjonction par les protections. D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs.

Les courants statoriques sont, totalement, déséquilibrés. Ce déséquilibre est proportionnel au défaut qui apparaît. Les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce défaut, La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases [8].

### **I.3.1.4. Court-circuit phase/bâti**

Le bâti a généralement un potentiel flottant mais pour des raisons de liaisons mécaniques il est souvent relié à la masse, Si le potentiel est flottant, un court-circuit entre l'enroulement et le bâti n'a pas d'importance du point de vue matériel, excepté les effets capacitifs, le bâti prend alors le potentiel de l'enroulement à l'endroit du court-circuit.

Par contre au niveau de la sécurité des personnes, ce type de défaut peut être très dangereux et il est alors nécessaire de mettre en place des dispositifs de protection (disjoncteurs différentiels). En présence de ce type de défaillance la tension de la phase concernée ne change pas.

Cependant le courant circulant dans cette phase augmente avec la réduction de la résistance et de l'inductance. Cette augmentation du courant se traduit par une augmentation de la température pouvant entraîner des défauts d'isolant dans l'enroulement. De plus, cette défaillance va générer une composante homopolaire entraînant l'apparition d'un couple pulsatoire. Une mesure du courant de fuite pourrait permettre de détecter ce type de défaut [7].

#### **I.3.1.5. Défauts de circuit magnétique**

Ces défauts aboutissent dans la plupart des cas à une dissymétrie au niveau du fonctionnement de la machine qui à son tour peut accentuer le problème par des phénomènes de surchauffe, de surtension, d'élévation importante du courant, etc...[5].

### **I.3.2. Défaillances au rotor**

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème [8]:

- Thermique (surcharge,...).
- Electromagnétique,
- Résiduel (déformation...).
- Dynamique (arbre de transmission,...).
- Mécanique (roulement,...).
- Environnemental (agression,...).

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

- Rupture de barres rotoriques,
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit,
- Excentricité statique et dynamique du rotor.

#### **I.3.2.1. Rupture des barres rotoriques**

La rupture des barres du rotor est un problème de grande importance pour les systèmes d'entraînement à base de moteurs à induction. C'est un des défauts les plus fréquents au rotor (Figure 1.5).



**Figure 1.5 : Défaut de rupture de barres.**

La rupture peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau rotorique. Les fragments de barres cassés, projetés à grande vitesse heurtent les enroulements du stator, ce qui cause de sérieux dégâts mécaniques à l'isolation des enroulements et provoque leur défaillance. La détérioration des barres réduit la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmente l'amplitude des oscillations, qui elles-mêmes provoquent des oscillations de la vitesse de rotation, ce qui engendre des vibrations mécaniques et donc, un fonctionnement anormal de la machine. La grande amplitude de ces oscillations accélère la détérioration de la machine. Ainsi, le couple diminue sensiblement avec le nombre de barres cassées induisant un effet cumulatif de la défaillance. L'effet d'une cassure de barre croît rapidement avec le nombre de barres cassées. La rupture des barres crée une asymétrie du rotor qui augmente la distorsion du courant, cela se manifeste par un décalage des fréquences latérales du spectre du courant et une augmentation de leur amplitude [8].

### **I.3.2.2. Ruptures d'anneaux**

La rupture d'une portion de l'anneau de court-circuit dans une machine asynchrone à cage, est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. Ces ruptures peuvent être dues à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux.

Comme il est difficile de le détecter ce défaut est généralement groupé voire confondu avec la rupture de barres dans les études statistiques. Ces portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques. De ce fait, un mauvais dimensionnement des anneaux, une détérioration des conditions de fonctionnement (température, humidité,...) ou une surcharge de couple et donc de courants peuvent entraîner leur cassure. La rupture d'une portion d'anneau déséquilibre la répartition des courants dans les barres rotoriques et de ce fait engendre un effet de modulation d'amplitude sur les courants statoriques similaire à celui provoqué par la cassure de barres (Figure 1.6) [8][9].



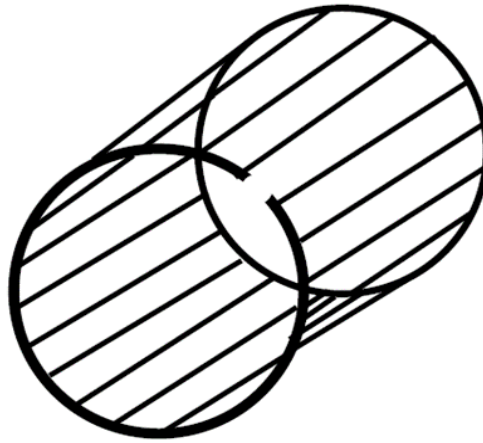
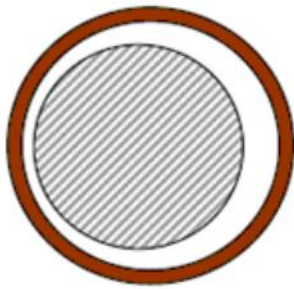


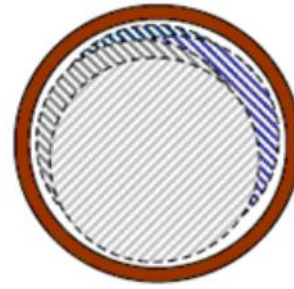
Figure 1.6 : Défaut de rupture d'anneau de court-circuit.

### I.3.2.3. Excentricité statique et dynamique

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor (Figure 1.7).



Excentricité statique



Excentricité dynamique

Figure 1.7 : Modélisation schématique de l'excentricité statique et dynamique.

Ce phénomène est appelé excentricité (statique et dynamique) 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).

Trois cas d'excentricité sont, généralement, distingués [5]:

- **Excentricité statique** : Le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- **Excentricité dynamique** : Le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- **L'excentricité mixte** : Il caractérise les deux cas précédemment cités.

Ce défaut d'excentricité modifie le comportement magnétique ainsi que mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur le noyau statorique ainsi que l'enroulement correspondant ceci engendre une dégradation de son isolation. D'autre part, cette augmentation peut avoir comme conséquence des frottements entre le stator et le rotor en raison des forces d'attraction magnétique qui déséquilibrent le système. Ceci donne naissance à des niveaux de vibration considérables dans les enroulements [7].

### **I.3.3. Défaillances mécaniques**

#### **I.3.3.1. Défauts 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, 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, 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 ses causes possibles [6]:

- L'usure due au vieillissement,
- La température de fonctionnement élevée,
- La perte de lubrification,
- L'huile contaminée (par des paillettes métalliques issues de la dégradation des billes ou de la bande de roulement).
- Le défaut de montage.
- Les courants d'arbres (Shaft Current).

Les conséquences directes de cette défaillance sur les roulements sont :

- Des trous dans les gorges de roulement intérieures et extérieures.
- L'ondulation de leur surface de roulement.
- L'attaque des billes.
- La corrosion due à l'eau.
- Défaut de graissage problème dû à la température.
- Décollement effritement de surface provoqué par une surcharge.

Sur le système ce type de défaut se traduit par des oscillations du couple de charge, une apparition de pertes supplémentaires et un jeu entre la bague interne et la bague externe du roulement entraînant des vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinale de la machine. Dans le cas le plus défavorable la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du moteur [5].

#### **I.3.4. Les causes des défauts de la machine asynchrone**

Les causes des défauts sont multiples. Elles peuvent être classées en trois groupes [2]:

- Les générateurs des pannes ou initiateurs des défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), survolage d'alimentation, problème d'isolation électrique, usure des éléments mécaniques (roulements à billes), rupture de fixations, ... .
- Les amplificateurs des défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement, ... .
- Les vices de fabrication et les erreurs humaines : défauts de fabrication, composants défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine, ... .

### **I.4. Conclusion**

Nous avons, donné quelques rappels sur la machine asynchrone à cage d'écureuil et ses différents éléments constitutifs son principe de fonctionnement. Ensuite nous avons présenté les différents types de défauts pouvant survenir dans une machine asynchrone. (Excentricité, court-circuit, rupture des barres....).

Pour cela, il faut disposer d'un bon modèle mathématique, décrivant le comportement dans l'état sain et avec défaut. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.

