

Introduction

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défaillances.

La diversité de leurs origines peut entraîner des erreurs sur leurs natures et localisation. De ce fait, la bonne connaissance des mécanismes des défauts à surveiller et de leurs conséquences sur les signaux relevés est nécessaire pour un parfait diagnostic.

Les défauts peuvent être dus à diverses causes naturelles ou artificielles, prévisibles ou intempestives, internes, externes ou mixtes; qui sont très souvent reliés entre eux. Les défaillances peuvent être dues à différentes causes telles que :

- Thermiques (surcharge, température ambiante élevée, . . .).
- Électriques (diélectrique, phénomène transitoire, . . .).
- Mécaniques (bobinage, vibrations. . .).
- Environnementales (agression, humidité . . .).

Dans ce chapitre, nous mettons l'accent sur les différents défauts qui peuvent survenir tant au stator qu'au rotor de la machine, tout en citant leurs effets sur le comportement de la machine.

III.1.Nature internes et externes des origines des défauts :

Il existe 2 types de défauts principaux : Internes et externes. Les causes de ces défauts sont brièvement et respectivement décrites dans les organigrammes des figures (III.1) et (III.2) [22]. Nous pouvons ainsi remarquer que les défauts internes de la machine sont causés par les constituants de la machine (circuits magnétiques rotorique et statorique, bobinages statoriques, entrefer mécanique, cage rotorique,...).

Tandis que, les défauts externes sont provoqués, soit par les tensions d'alimentation et la charge mécanique, soit par l'environnement de l'utilisation de la machine.

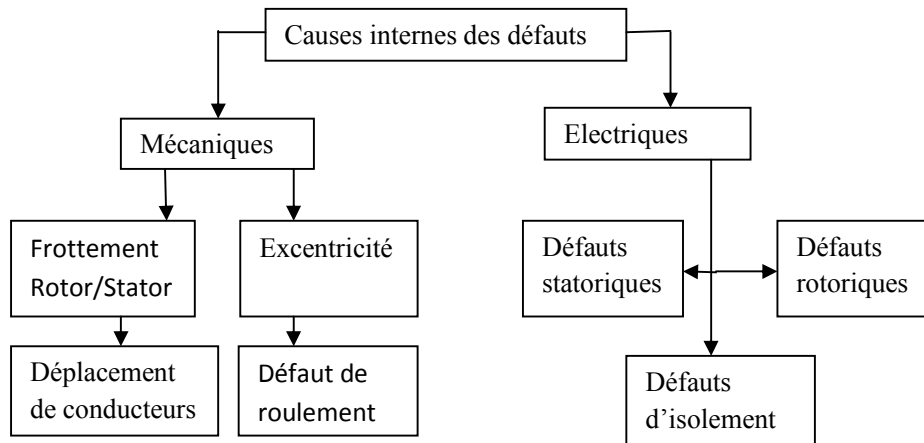


Figure III.01 : Causes internes de défauts de la machine asynchrone à cage [24]

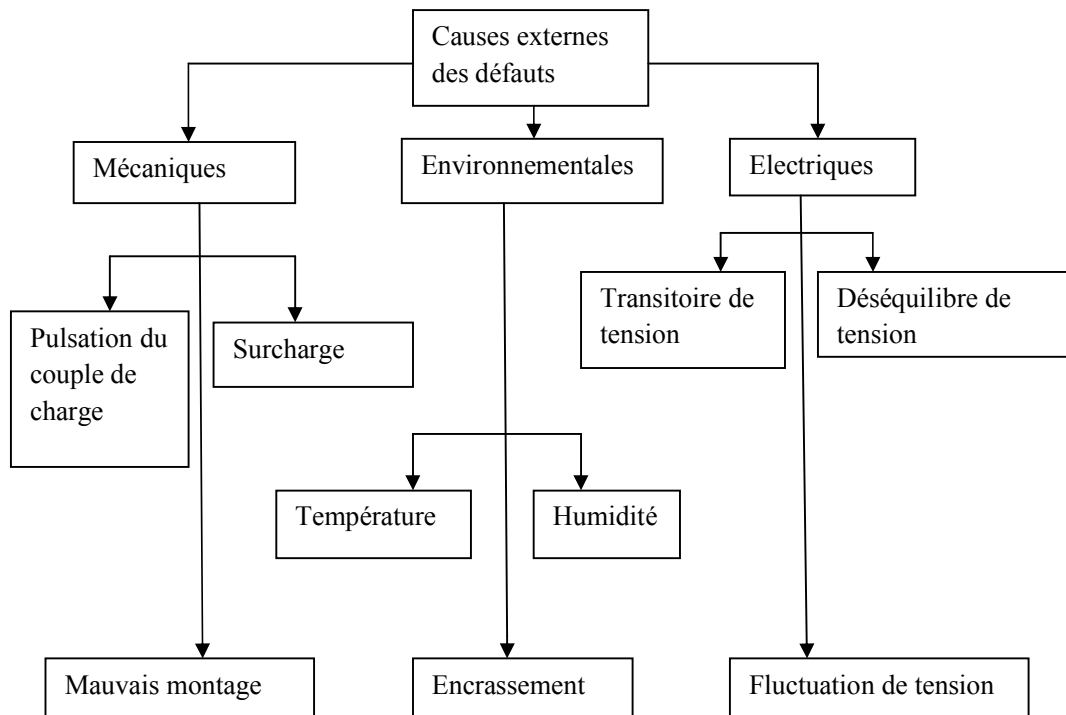


Figure III.02: Causes externes de défauts de la machine asynchrone à cage [24].

III.2.Origines des défauts dans les machines asynchrone à cage

III.2.1. Défauts statoriques :

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

- Défaut d'isolant
- Court-circuit entre spires
- Court-circuit entre phases
- Court-circuit phase/bâti
- Déséquilibre d'alimentation
- Défaut de circuit magnétique

a) 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 concerné. 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 et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant provoquer ainsi, un défaut en chaîne (apparition d'un 2ème court-circuit).

Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste sensiblement identique hormis une augmentation des oscillations proportionnelle au défaut [25].

b) 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. 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 et 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 [26].

c) 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 .

d) Défaits 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. [26]

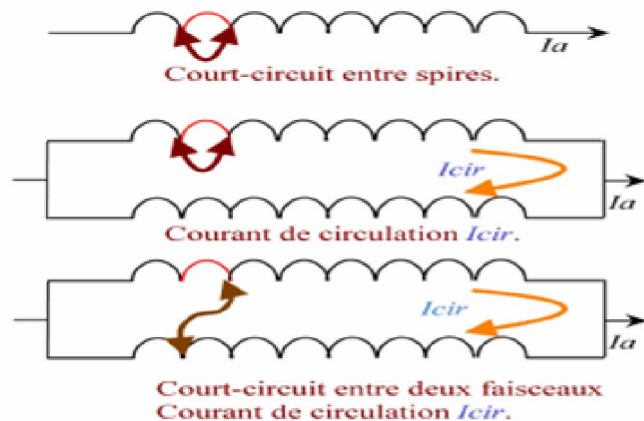


Figure III.03: Différents court circuits au stator

Les fréquences sont données par la relation :

$$f_{cc} = \left\{ \frac{n}{p}(1-g) \pm k \right\} \quad (\text{III-01})$$

où :

f_{cc} : fréquence de "court-circuit"

f_s : fréquence d'alimentation

n : entier naturel

p : nombre de paires de pôles

g : glissement

Dans ces deux dernières cas, il peut y avoir existence d'un courant de circulation dans ces deux faisceaux car la différence de potentiel est différente entre les extrémités de ceux-ci, il y'a aussi autres défauts statorique :

- coupure d'une phase.
- défaut d'isolation.
- défauts du circuit magnétique (rupture de tôle).

III.2.2. Défauts rotorique :

L'analyse du spectre du courant statorique en régime permanent fournit des indications sur les défaillances rotorique telles que les ruptures de barres, d'anneaux de court-circuit ou l'excentricité d'entrefer .

- **Défaut de cassure de barre :**

La cassure de barre rotorique provoque une dissymétrie du rotor. Le résultat de la dissymétrie réside dans la création d'un champ tournant de sens opposé à celui généré par le stator, et cela à la fréquence de glissement par conséquent, il y'aura création d'un courant supplémentaire dans le bobinage statorique, la relation de la fréquence est donnée sous la forme :

$$f_{bc} = (1 \pm 2kg)f_s \quad (\text{III-02})$$

f_{bc} : fréquence de barre cassé .

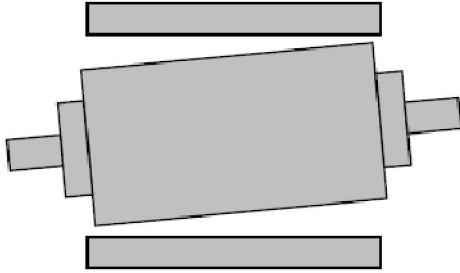
g : glissement.

f_s : fréquence d'alimentation .

k : entier naturel impair.

- **Défaut d'excentricité :**

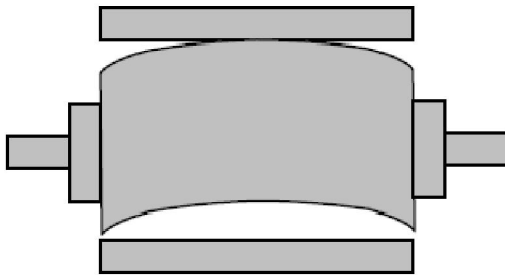
La géométrie du rotor peut présenter des dissymétries qui sont naturelles celles ci relèvent de trois catégories qui sont pour l'essentiel :



a) excentricité statique



b) excentricité dynamique



c) excentricité mixte

Figure III.04 : Représentation de l'excentricité statique, dynamique et mixte

a) L'excentricité statique correspond au cas le centre de rotation du rotor n'est pas celui du centre géométrique du stator.

b) L'excentricité dynamique correspond, elle a un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator mais, de plus le centre de rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator.

c) L'excentricité mixte est la somme des deux cas présentés ci-avant.

Les fréquences induites proche, du fondamental, sont données par :[27].

$$f_{exe} = \left[1 \pm n \left(\frac{1-g}{p} \right) \right] f_s \quad (\text{III.03})$$

f_{exe} : Fréquence d'excentricité

n : entier naturel

p : nombre de paires de pôles

g : glissement

f_s : fréquence d'alimentation

Une seconde approche consiste à utiliser une expression liant le défaut de barre casée à celle de l'excentricité et des encoches au rotor. C'est ainsi qu'une équation sous forme compacte, fait apparaître les harmoniques de fréquences relatives à ces défauts et qui dépendent pour beaucoup du nombre de paires de pôles. Les causes de l'excentricité peuvent être dues au positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à l'usure des paliers ou à la torsion de l'arbre.

III.2.3.Défaut dû au palier :

La relation entre les vibrations des roulements à billes et le spectre du courant statorique est basée sur le fait que toutes l'excentricité interfèrent sur le champ dans l'entrefer de la machine asynchrone, pour cela les harmoniques contenus dans le spectre du courant statorique peuvent être d'écrits par l'expression [22] :

$$f_{croul} = f_s \pm k f_v \quad (\text{III.04})$$

f_{croul} : Fréquence du roulement à bille

D'où $k=1, 2, 3 \dots$, et f_v est l'une des fréquences caractéristiques des vibrations

k : entier naturel impair.

f_s : fréquence d'alimentation.

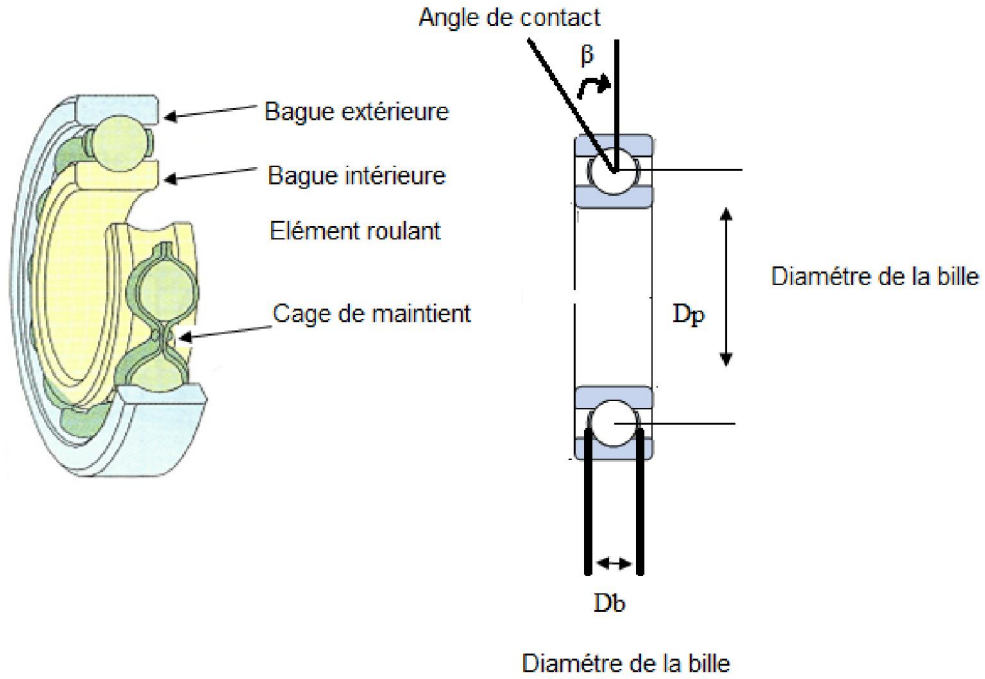


Figure III.05: Constitution dimensions du roulement à bille

Les fréquences caractéristiques des vibrations dépendent de l'élément du roulement affecté par un défaut et sont liées aux paramètres physiques du roulement.

Selon , les fréquences de vibration qui caractérisent les défauts des roulements à bille sont : [22]

- Défaut au niveau d'une bille :

$$f_b = \frac{Dp}{Db} f_{rot} \left[1 - \left(\frac{Dp}{Db} \cos(\beta) \right)^2 \right] \quad (\text{III.05})$$

- Défaut sur la bague intérieure :

$$f_{b.int} = \frac{np}{2} f_{rot} \left[1 + \left(\frac{Db}{Dp} \cos(\beta) \right) \right] \quad (\text{III.06})$$

- Défaut sur la bague extérieure :

$$f_{b.ext} = \frac{np}{2} f_{rot} \left[1 - \frac{Db}{Dp} \cos(\beta) \right] \quad (III.07)$$

Où : f_{rot} : fréquence de rotation du rotor

Pour des dimensions courantes où le nombre de billes comprises entre 6 et 12, pour cela, il est usuel d'appliquer les deux relations suivantes :

$$f_{b.int} = 0.6 \text{ nb } f_{rot} \quad (III.08)$$

$$f_{b.ext} = 0.4 \text{ nb } f_{rot} \quad (III.09)$$

nb: nombre de billes.

$f_{b.int}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague intérieure.

$f_{b.ext}$: Fréquence de vibration relative au défaut de bague extérieure.

Les conséquences de ces défauts conduisent à de multiples problèmes qui affectent la rentabilité de l'installation globale, et qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt total. Parmi les conséquences des défauts On cite:

- Fluctuations 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 global.

III.4. Les effets des défauts

III.4.1.Effets de défauts statoriques (court-circuit) :

Les courts-circuits des spires restent parmi les défauts les plus nocifs au bon fonctionnement de la machine asynchrone, ils sont généralement présents au niveau du stator.

En effet une étude expérimentale a montré que la valeur de courant circulant dans les spires en court-circuit est de l'ordre de dix fois plus importante que celle du courant nominal absorbé par la machine.

Un tel si important courant entraîne une augmentation considérable de la température au niveau du bobinage, qui engendre à son tour une dégradation continue des isolants, et par accumulation le bousillage de la machine.

De part ce qui est cité auparavant, ce genre de défaut fait apparaître, et des perturbations au niveau du couple électromagnétique, synonyme d'une présence d'une composante supplémentaire du couple ce qui affecte à son tour les courants statoriques, ainsi la création d'un champ magnétique additionnel dans la machine de fréquence $\pm f_s$ (où f_s est la fréquence de synchronisme).

Ces composantes entraînent des harmoniques de fréquence ($k f_s$) dans les courants absorbés par machine, [28].

La variation des paramètres se fait comme suit:







Type de défaut	Paramètres du modèle (d-q)				Paramètres du modèle triphasé	
	R_r	R_s	L_r	L_s	$R_{sa}, R_{sb}, R_{sc}, L_{sa}, L_{sb}, L_{sc}, R_r, L_r$	
Court-circuit entre spires d'une phase statorique.					R_{sa}, L_{sa}	
					$R_{sb}, R_{sc}, L_{sb}, L_{sc}$	

Tableau. III.1 : effet de défaut statorique sur les paramètres de la machine

III.4.2.Effets des défauts rotoriques :

En général les défauts les plus rencontrés au niveau du rotor de la machine asynchrone à cage d'écureuil sont respectivement, barre cassée, et cassure d'une portion d'anneau qui génèrent tous les deux des perturbations remarquables qui affectent le bon fonction de la machine.

Ce type de défauts entraînent une création d'un champ tournant de sens opposé à celui généré par le stator, à son tour crée des courants supplémentaires dans le bobinage statorique à des fréquences induites Ces courants vont générer un couple oscillatoire car il aura interaction entre ces courants et le flux fondamental crée par l'alimentation statorique.

Dès lors, ce couple additionnel issu du produit du flux par le courant est proportionnel à l'amplitude de courant et la fréquence $(1 - 2g)f$.

La fréquence d'oscillation sera donc de $2gf$ et engendrera une oscillation de vitesse à cette fréquence dont l'amplitude dépendra de l'inertie du (moteur + charge). Cette oscillation de vitesse va générer une variation de flux, donc une force électromotrice de fréquence fondamentale plus deux supplémentaires liées aux oscillations de vitesse. Celles –ci sont proportionnelles à l'amplitude de la variation de la vitesse et généreront deux courants additionnels de fréquence $(1-2g)f$ création à la fréquence $(1-2g)f$ et $(1+2g)f$ de même valeur.

Cependant, le courant de vient se soustraire à celui crée par le défaut rotorique, [29].

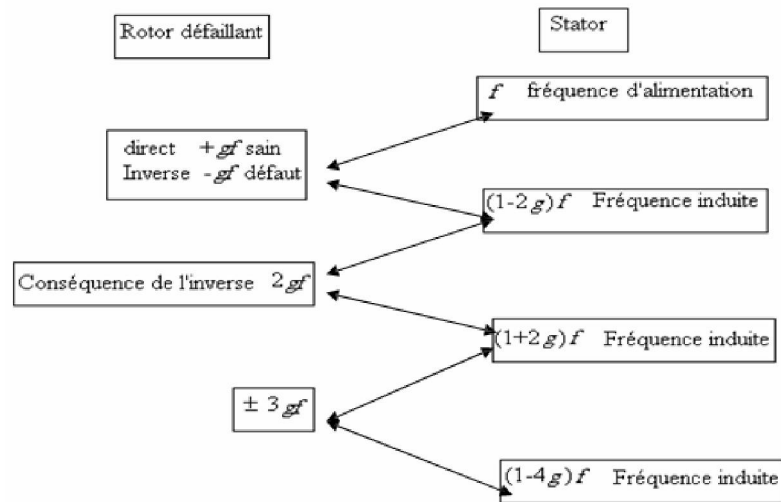


Figure III.06: les différentes fréquences induites à cause des défauts

La variation des paramètres rotoriques se fait comme suit :





Type de défaut	Paramètres du modèle (d-q)				Paramètres du modèle triphasé
	R_r	R_s	L_r	L_s	$R_{sa}, R_{sb}, R_{sc}, L_{sa}, L_{sb}, L_{sc}, R_r, L_r$
Cassure des barres et des portions d'anneau de court-circuit.					

Tableau III.2 : Effet de défaut rotoriques sur les paramètres de la machine

III.5. Etude statistique des défaillances de la machine asynchrone :

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie allemande de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de faible et moyenne puissance (50KW à 200KW), a donné les résultats suivants (Figure III.3) :

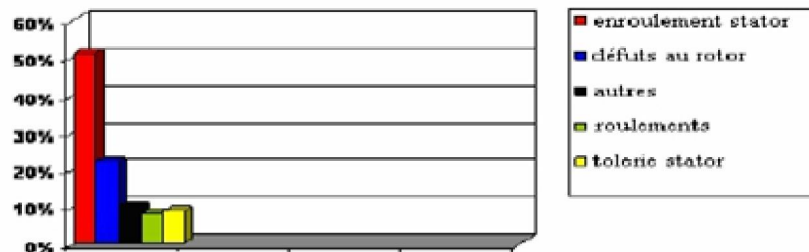


Figure III.07 : Répartition des pannes des machines de faibles et moyennes puissances[30]

Les défauts statoriques sont les plus rencontrés dans ces types de machines. Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (100KW à 1MW) a donné les résultats suivants (Figure III.4) :

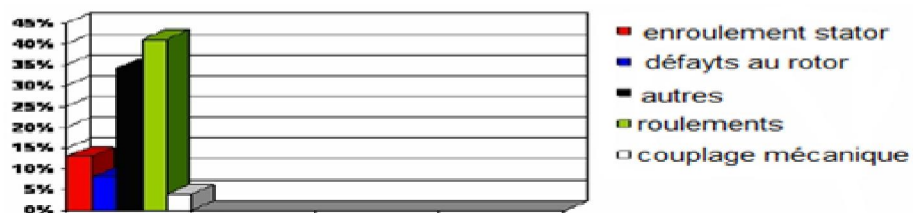


Figure III.08: Répartition des pannes des machines de fortes puissances.

Les contraintes mécaniques sont plus grandes pour ces types de machines, ce qui explique le taux élevé des pannes dues aux roulements. Celles-ci exigent une maintenance mécanique accrue [24].

Les origines des défauts sont souvent de nature différentes, mais sont généralement fortement liées les uns aux autres, on cite comme causes majeures :

Causes	Effets	Dommages possibles
Surcharge thermique: <ul style="list-style-type: none"> • Conditions de démarrage extrêmes • Rotor bloqué 	Surintensité et donc échauffement inadmissible des enroulements	Cage de rotor dessoudée Enroulements stator brûlés

<ul style="list-style-type: none"> • Surcharge de longue durée • Sous-tension • Fonctionnement intermittent Inadmissible		
Problèmes de refroidissement: <ul style="list-style-type: none"> • Refroidissement perturbé • Température ambiante trop élevée 	Echauffement inadmissible	Enroulements stator brûlés
Causes électriques: <ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement sur une phase • Asymétrie tension • Défaut de terre • Court-circuit entre spires • Court-circuit entre enroulements 	Surintensité asymétrique Echauffement inadmissible selon dimension moteur et charge	Enroulement ou partie d'enroulement brûlé Dommages aux paliers
Causes mécaniques: <ul style="list-style-type: none"> • Mauvais équilibrage • Mauvais alignement de l'entraînement • Entraînement mal monté (par exemple charge sur paliers trop importante à cause d'une courroie) 	Détérioration irrégulière des paliers	Dommages aux paliers

Tableau III.3 : Causes des défaillances, effets et dommages possibles pour les moteurs.

Conclusion

Dans ce chapitre est représenté une synthèse des défauts qui se produisent de manière intempestive au niveau de la machine asynchrone, tout en mettant l'accent sur leurs genèses et effets ainsi sur leurs répartitions les études statistiques, montrent que une dominance des défauts statoriques par rapport aux autres pour des machines de moyenne puissance d'une part, et de l'autre, les défauts des roulements pour des machines de forte puissance.

En arrivant à comprendre même d'une manière approximative le comportement de ces différents défauts et de les cerner, on peut améliorer considérablement les actions de maintenance ce qui engendre un apport de plus à l'industrie d'une manière générale.