

**République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique**



**Université d'EL-Oued
Faculté des Sciences et de la Technologie**

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

LICENCE ACADEMIQUE

**Domaine : Sciences et de la Technologie
Filière : Génie Électrique
Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques**

Thème

**Etude et Simulation d'un Défaut
Rotorique dans un Moteur
Asynchrone**

Dirigé par:
HALEM Noura

Réalisé par:
CHABANI med saci
BELAID Bachir
GERFI Salaha

Soutenu 03-04 Juin 2014

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre 1

1.1. INTRODUCTION.....	2
1.2. CONSTRUCTION DU MOTEUR ASYNCHRONE A CAGE.....	2
1.2.1. Le stator.....	2
1.2.2. Le rotor.....	3
1.3. LES DEFAILLANCES DANS LES MACHINES ELECTRIQUES.....	4
1.3.1. Etudes statistiques.....	5
1.3.2. Défaillances des roulements mécaniques.....	7
1.3.3. Défaillances au rotor.....	7
1.3.3.1. Ruptures de barres dans les machines asynchrones.....	8
1.3.3.2. Ruptures d'anneaux.....	8
1.3.3.3. Excentricité statique et dynamique.....	9
1.3.4. Défaillances au stator.....	10
1.3.4.1. Défauts d'isolant dans un enroulement.....	12
1.3.4.2. Court-circuit entre spires.....	13
1.3.4.3. Court-circuit entre phases.....	13
1.4. CONCLUSION.....	14

Chapitre 2

2.1. INTRODUCTION.....	15
2.2. METHODES DE DIAGNOSTIC DES DEFAUTS BASEES SUR L'ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX.....	15
2.2.1. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques.....	15
2.2.2. Diagnostic par mesure du Flux magnétique axial de fuite.....	16
2.2.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites.....	16
2.2.4. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique.....	16
2.2.5. Diagnostic par mesure de la puissance instantanée.....	16
2.2.6. Diagnostic par mesure du courant statorique.....	17
2.3. CONCLUSION.....	17

Chapitre 3

3.1. INTRODUCTION.....	18
3.2. SIMULATION DU DEFAUT ROTORIQUE.....	21
3.3. CONCLUSION.....	24
CONCLUSION GENERALE.....	25

LISTE DE FIGURES

Chapitre 1

Figure 1.1 : Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles [3].

Figure 1.2 : Rotor à cage d'écureuil [4].

Figure 1.3 : Proportion des défauts [5].

Figure 1.4 : Représentation de l'effet d'une barre cassée sur les barres adjacentes [9].

Figure 1.5 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique [10].

Figure 1.6: Durée de vie en fonction de la température de fonctionnement [12].

Figure 1.7: Représentation des différents défauts statoriques [14].

Chapitre 3

Figure 3.1 : Circuit magnétique de la machine[18].

Figure 3.2 : Répartition du maillage sur la machine complète
(éléments triangulaires) [19].

Figure 3.3 : Répartition du maillage sur la machine complète
(éléments quadratures) [19]

.Figure 3.4 : Densité du courant électrique (solution dynamique) [20].

Figure 3.5: Répartition de l'induction magnétique [21].

Figure 3.6 : Répartition des lignes équiflux[22].

Figure 3.7 : Courbe de l'induction magnétique le long d'un contour circulaire à l'entrefer [23].

INTRODUCTION GENERALE

L'étude des défauts dans les machines électriques est un domaine qui a pris une place importante depuis que les exigences de fiabilité, de sûreté et de disponibilité sont devenues assez importantes dans l'industrie.

La surveillance est un moyen de garantir le bon fonctionnement des systèmes. Le diagnostic est une partie de la surveillance qui a pour objectif de trouver la cause des dysfonctionnements.

Dans ce contexte, notre travail est orienté vers la simulation d'un défaut rotorique (cassure de barres rotoriques) des moteurs asynchrones triphasés à cage d'écureuil en utilisant la modélisation par la méthode des éléments finis.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

- ✚ **Le premier chapitre** présente les différents types de défaillances qui peuvent survenir sur les machines électriques.
- ✚ **Le deuxième chapitre** est consacré à la présentation des différentes méthodes utilisées pour détecter les défauts dans les machines asynchrones triphasés.
- ✚ **le troisième chapitre** contient une simulation de défaut de cassure de barres rotoriques en utilisant la modélisation par la méthode des éléments finis.

Ensuite une conclusion clôture notre travail.

Chapitre 1

1.1. INTRODUCTION

De multiples défaillances peuvent apparaître dans la machine asynchrone, elles peuvent être prévisibles ou intempestives, mécaniques, électriques ou magnétiques, et leurs causes sont très variées.

1.2. CONSTRUCTION DU MOTEUR ASYNCHRONE A CAGE

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. Dans ce chapitre, nous allons considérer le cas d'une machine asynchrone 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 [1].

1.2.1. Le stator

Le circuit magnétique est un empilement de toiles fines d'acier découpées, faisant apparaître les différentes encoches statoriques. On utilise des toiles minces dont l'épaisseur varie entre 0.35 et 0.50 mm pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique. De plus, afin de limiter l'effet des courants de Foucault, on isole habituellement les toiles d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude. Le bobinage statorique est constitué de deux parties (figure 1.1) : 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 leur circulation, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer, pour limiter les oscillations du couple électromagnétique [1].

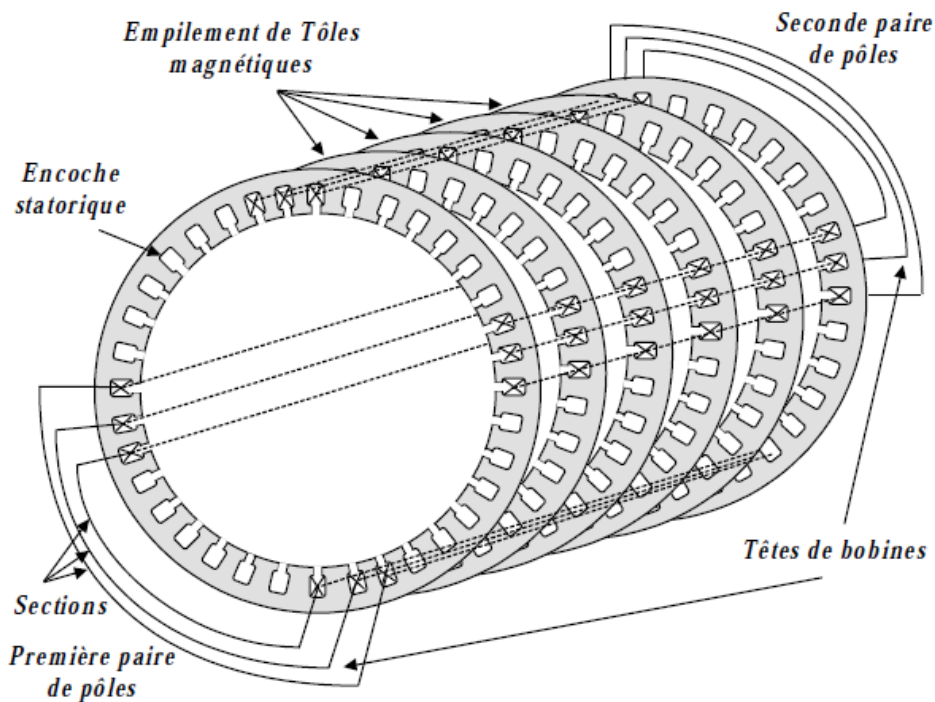


Figure 1.1 : Enroulements statoriques d'une phase d'une machine à 4 pôles [1].

1.2.2. Le rotor

Le rotor est constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau (figure 1.2). Dans les petits moteurs, les toles sont découpées dans une seule pièce et assemblées sur un arbre. Dans de plus gros moteurs, chaque lamination est constituée de plusieurs sections montées sur un moyeu. Dans le cas des rotors à cage d'écureuil, les encoches peuvent être semi-ouvertes ou fermées. Les enroulements sont constitués de barres court-circuitées par un anneau terminal placé à chaque extrémité du rotor. Les conducteurs sont généralement réalisés par coulage d'un alliage d'aluminium, ou par des barres massives de cuivre ou, à l'occasion, en laiton pré-formées et frettées dans les toles du rotor. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les toles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas dans les tôles, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre [1].

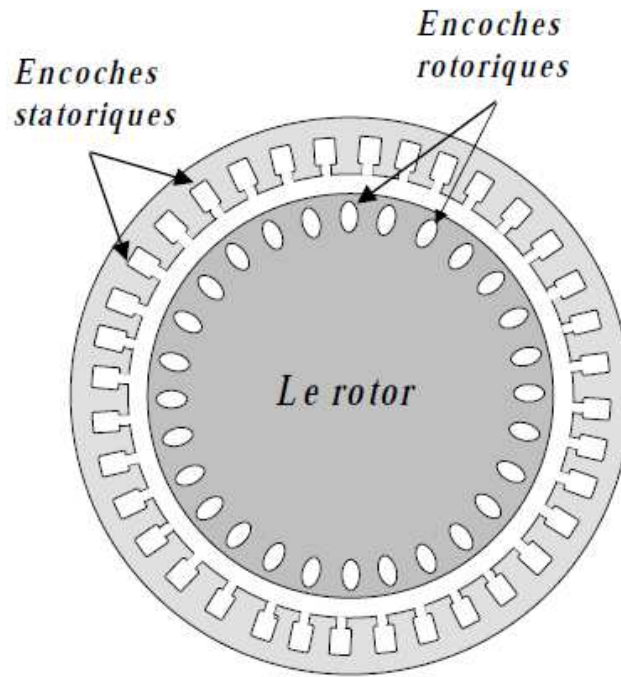


Figure 1.2 : Rotor à cage d'écureuil [1].

1.3. LES DEFAILLANCES DANS LES MACHINES ELECTRIQUES

On désigne par défaillance dans les machines électriques tout incident donnant lieu à un comportement anormal de la machine et qui peut à court ou long terme provoquer son endommagement. Les défaillances peuvent être d'origines diverses, électriques, mécaniques ou bien encore magnétiques. Leurs causes sont multiples et peuvent être classées en trois groupes [2] :

- ◆ *les générateurs de pannes ou initiateurs de 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 de défauts* : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement,
- ◆ *les vices de fabrication et les erreurs humaines* : défauts de fabrication, composant défectueux, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine,

1.3.1. Etudes statistiques

Une étude statistique, effectuée en 1988 par une compagnie d'assurance allemande de systèmes industriels [3, 4] sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200 kW) a donné les résultats suivant (figure 1.3) :

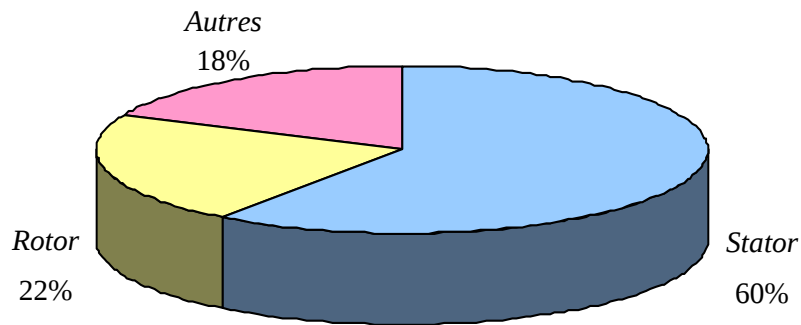


Figure 1.3 : Proportion des défauts [4].

D'autre part les mêmes études montrent qu'entre 1973 et 1988 les pannes au stator sont passées de 78% à 60% et au rotor de 12% à 22%. Ces variations sont dues à l'amélioration des isolants sur cette période. La répartition des pannes dans les différentes parties du moteur est comme suit:

- | | | | |
|-------------------------|------|------------------|-----|
| ▪ Enroulements stator : | 51 % | Tôlerie stator : | 9 % |
| ▪ Défauts au rotor : | 22 % | Roulements : | 8 % |
| ▪ Autres : | 10 % | | |

Une autre étude statistique faite sur des machines de grande puissance (de 100 kW à 1 MW) donne les résultats suivants [4]:

- | | | | |
|-------------------------|------|----------------------|------|
| ▪ Enroulements stator : | 13 % | Couplage mécanique : | 4 % |
| ▪ Défauts au rotor : | 8 % | Roulement : | 41 % |
| ▪ Autres : | 34 % | | |

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.

A titre indicatif, le tableau suivant (tableau1.1) [5] présente les causes des pannes les plus courantes. Cependant, la plupart de ces causes ne sont pas identifiées et la majorité de celles qui le sont, sont liées à des négligences ou de l'utilisation anormale des machines. Les vibrations mécaniques et la surcharge sont les principales causes de pannes [4].

Tableau 1.1 : Etude statistique des causes des défauts [5, 9] pour une puissance utile de 100 kW à 1 MW.

<i>Les causes des défauts</i>	<i>Nombre de défauts</i>	<i>Pourcentages</i>	<i>Pourcentages en exclusion des causes non spécifiés</i>
Initiateurs de défauts			
1. Survolage transitoire.	10	0.61	2.20
2. Surchauffe.	72	4.40	15.86
3. Défauts d'isolation.	68	4.16	14.98
4. Ruptures mécaniques.	139	8.50	30.62
5. Défaut électrique.	148	9.05	32.6
6. Moteur calé.	17	1.04	3.74
7. Autres.	1189	72.25	
Accélération de pannes			
1. Surcharge persistante.	80	4.89	27.03
2. Environnement surchauffé.	10	0.61	3.38
3. Humidité anormale.	23	1.41	7.77
4. Voltage anormal.	8	0.49	2.70
5. Fréquence anormale.	1	0.06	0.34
6. Vibration.	83	5.07	28.04
7. Agressions chimiques.	43	2.63	14.53
8. Manque de graissage.	19	1.16	6.42
9. Mauvaise ventilation.	8	0.49	2.70
10. Vieillessement.	21	1.28	7.02
11. Autres.	1341	81.92	

Causes fondamentales de pannes			
1. Composants défectueux.	105	6.41	35.47
2. Mauvaise installation de la machine.	10	0.61	3.38
3. Manque de maintenance.	13	0.79	4.39
4. Opérations inadéquates.	71	4.34	23.99
5. Mauvaise manipulation.	6	0.37	2.03
6. Mauvaise protection physique.	48	2.93	16.22
7. Mauvaise isolation électrique.	21	1.28	7.09
8. Erreur humaine.	5	0.31	1.69
9. Equipements extérieurs au moteur.	4	0.24	1.35
10. Autres.	1341	81.92	

1.3.2. Défaillances des roulements mécaniques

Les roulements à billes jouent le rôle d'interface mécanique 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. Ce type de défaut est le plus fréquent sur les machines de fortes puissances. Il est généralement lié à l'usure des roulements et plus précisément une dégradation des billes, ou de la bande de roulement. Ses causes possibles sont l'usure due au vieillissement, une 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.

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 longitudinal de la machine. Dans le cas le plus défavorable, la présence d'un roulement défectueux peut amener au blocage du rotor [2].

1.3.3. Défaillances au rotor

Pour le rotor, les défaillances sont essentiellement dues à un problème [2, 4]:

- Thermique (surcharge, ...).
- Electromagnétique (force en $B^2(t)$...).
- Résiduel (déformation, ...).
- Dynamique (arbre de transmission, ...).
- environnemental (agression, ...).

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

- Rupture de barres dans les machines asynchrones.
- Rupture d'une portion d'anneau de court-circuit dans les machines asynchrones.
- Excentricité statique et dynamique.

1.3.3.1. Ruptures de barres dans les machines asynchrones

La cassure ou rupture de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor (figure 1.4). Elle peut se situer soit au niveau de son encoche soit à l'extrémité qui la relie à l'anneau de court-circuit. 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 [6, 7]. 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 [2].

1.3.3.2. 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 [2, 8].

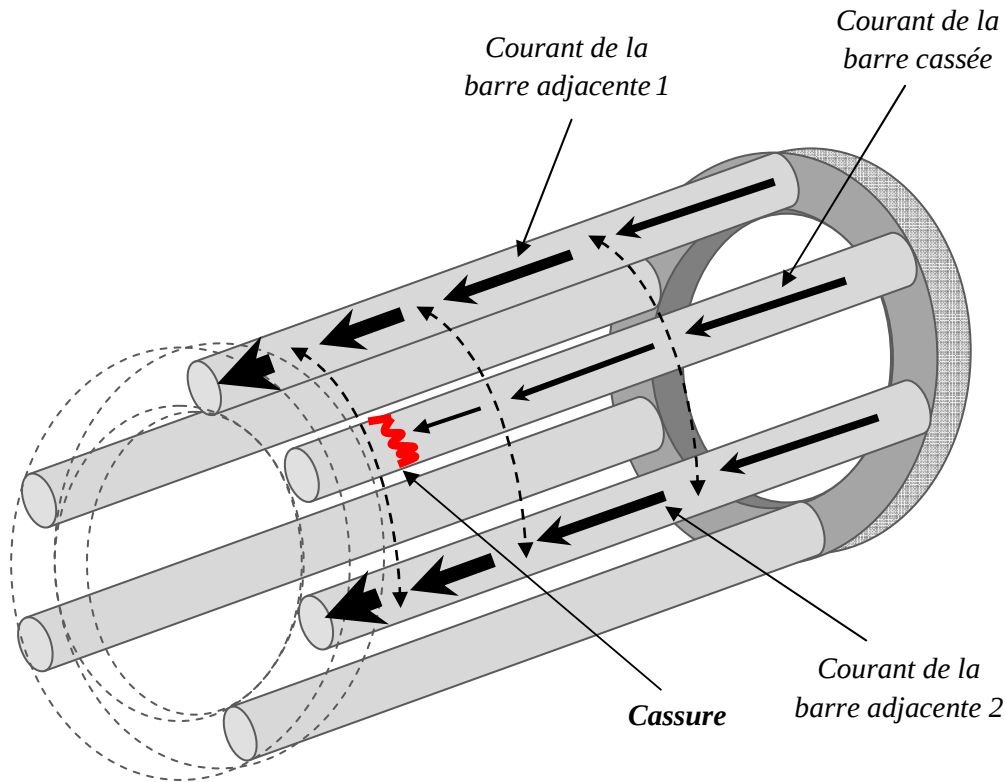


Figure 1.4 : Représentation de l'effet d'une barre cassée sur les barres adjacentes [8].

1.3.3.3. 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). 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 roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage). Trois cas d'excentricité [2] sont généralement distingués (figure 1.5):

- ❖ l'excentricité statique, le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe.
- ❖ l'excentricité dynamique, le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe.
- ❖ l'excentricité qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités.

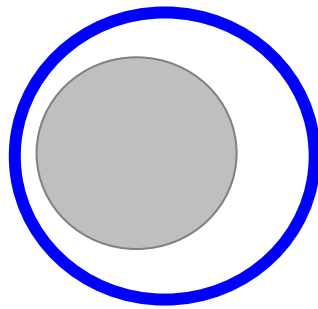
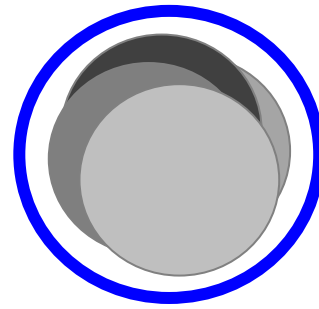
*Excentricité statique**Excentricité dynamique
Plusieurs positions du rotor au cours de sa rotation*

Figure 1.5 : Représentation de l'excentricité statique et dynamique [8].

Ce défaut modifie les comportements magnétique et mécanique de la machine. En effet, l'augmentation de l'excentricité dans l'entrefer induit une augmentation des forces électromagnétiques qui agissent directement sur l'armature statorique ainsi que l'enroulement correspondant, ce qui 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 [2, 8].

1.3.4. Défaillances au stator

L'armature statorique, munie de son bobinage est une partie de la machine qui subit beaucoup de contraintes et dont les effets sont plus importants à cause de la complexité de la structure et la fragilité de certaines parties telles que les isolants. Pour le stator, les défaillances sont principalement dues à un problème [2]:

- ❖ **Thermique** : l'isolation est conçue pour avoir une certaine durée de vie à la température nominale. Toutefois, si la température augmente au-dessus de cette température de fonctionnement, la durée de vie raccourcit rapidement (figure 1.6). Cette augmentation de la température peut être due à une variation de tension ou de déséquilibre, à la répétition des démarrages dans un court laps de temps, à des surcharges, à une mauvaise ventilation ou alors à une haute température ambiante.
- ❖ **Electrique** : Une tension supérieure à la valeur nominale ou de hautes valeurs de dV/dt du à l'ouverture et la fermeture des interrupteurs du convertisseur statique, vont conduire à la dégradation du diélectrique assurant l'isolation des bobines. La présence d'un fort champ électrique interne conduira à des décharges partielles dans

les cavités de l'isolant. Il en résulte des spots carbonisés dans l'isolation. Ces spots causent des déformations du champ électrique (augmentation dans la région du défaut).

❖ **Mécanique** : les démarrages répétitifs de machine ont pour conséquence d'augmenter la température dans le cuivre (bobinage statorique et cage). Cet effet cyclique provoque des dilatations et contractions répétitives de l'isolant. Cela pourrait entraîner des fissures dans l'isolant qui peuvent se propager et provoquer un début de court-circuit interne. Les efforts mécaniques sur les tôles et les conducteurs ont des composantes alternatives qui provoquent des vibrations de la structure. Ces vibrations provoquent l'érosion et l'abrasion de l'isolant entraînant leur détérioration. Une modélisation assez fine de ces phénomènes est présentée dans.

❖ **Environnemental** : La présence d'humidité ou de produits chimiques dans l'air ambiant peut détériorer la qualité de l'isolation et conduire à défaut d'enroulement. Le début de la dégradation entraîne des courants de fuites qui accélèrent la détérioration de l'isolant jusqu'au court-circuit franc. Une autre conséquence est la création de l'ozone et les oxydes d'azote qui peuvent se combiner avec l'humidité pour former de l'acide nitrique, qui détruit l'isolant.

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 entre phase et bâti, déséquilibre d'alimentation, défaut de circuit magnétique.

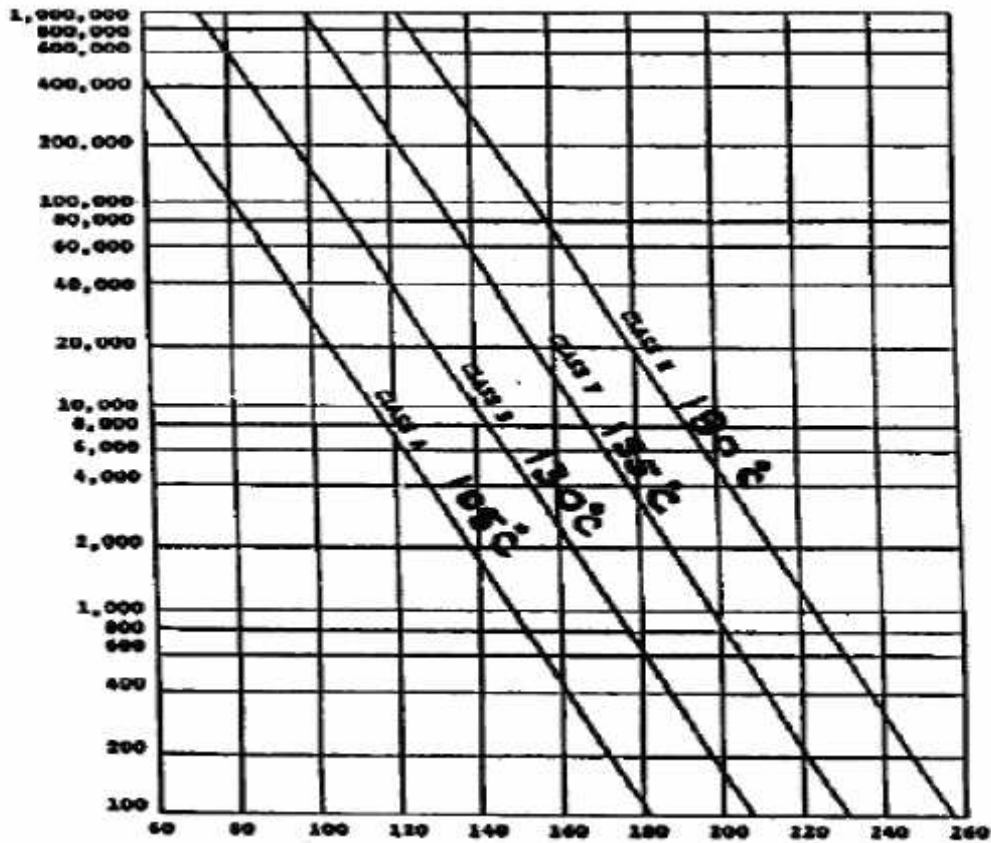


Figure 1.6: Durée de vie en fonction de la température de fonctionnement [2].

1.3.4.1. 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 une augmentation de la température des différents constituants du moteur. Or les matériaux d'isolation ont une limite de température, de tension et mécanique. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné [2]. 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, un défaut du convertisseur, une surcharge.
- vibrations mécaniques.

- vieillissement 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.

Lorsque le défaut de l'isolant se crée sur une spire, le courant de défaut circule entre le cuivre de cette spire et la tôle du stator (défaut phase - masse). Il peut aussi circuler entre deux spires d'une même phase si l'isolant qui les sépare est détérioré (défaut entre-spires). Dans le cas des bobinages à deux couches, une même encoche peut contenir des conducteurs de deux phases différentes. La détérioration simultanée et dans une même zone, des isolants de ces deux bobines provoque un contact électrique entre deux spires de deux phases différentes (défaut phase-phase).

Ce type de défaut peut aussi exister dans les bobinages à une couche au niveau des têtes de bobines où les conducteurs de deux phases différentes peuvent entrer en contact. La topologie du circuit électrique est ainsi influencée par ces défauts.

1.3.4.2. Court-circuit entre spires

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Ce défaut 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 dans le cas des machines asynchrones. 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 2^{ème} court-circuit). Par contre, le couple électromagnétique moyen délivré par la machine reste sensiblement identique hormis une augmentation des oscillations de couple liées au déséquilibre des courants de phases engendré par le défaut [8].

1.3.4.3. 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. 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 (figure 1.7). D'autre part, un court-circuit proche du neutre entre deux phases a

de moins graves conséquences ; il engendre un déséquilibre des courants de phases avec un risque moindre de la fusion des conducteurs.

Les courants statoriques sont totalement déséquilibrés et ce déséquilibre dépend de la localisation du défaut. Dans le cas des machines asynchrones, les courants dans les barres ainsi que dans les anneaux sont augmentés lors de l'apparition de ce type de défaut. La détection de ce type de défaut peut reposer sur le déséquilibre des courants de phases [8].

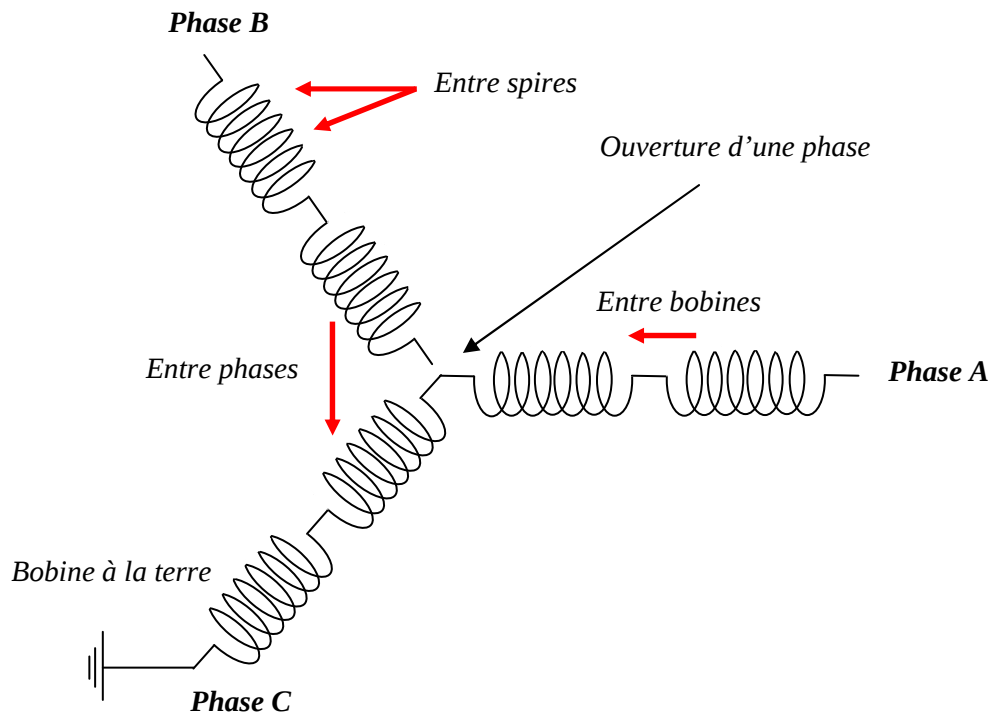


Figure 1.7: Représentation des différents défauts statoriques [8].

1.4. CONCLUSION

Ce premier chapitre est consacré à la présentation des différents défauts qui peuvent être apparaitre dans la machines asynchrone triphasée. Une étude statistique est aussi présentée, nous remarquons que le type des défauts rotoriques prend une valeur important parmi les autres types de défauts.

Chapitre 2

2.1. INTRODUCTION

Le diagnostic des machines peut se faire à partir de différentes méthodes, comme par exemple à partir de l'analyse de signaux tels que les courants, les vibrations, le flux axial, le couple électromagnétique ...etc. Ces signaux peuvent fournir des informations très riches. Cependant parmi tout ces signaux l'analyse des courants statoriques présente une plus grande souplesse et fournit des informations sur de nombreux défauts tels que les cassures de barres ou d'extrémité d'anneaux, la déviation d'alignement, les excentricités statique et dynamique, les défaillances de roulement et les défauts statoriques.

2.2. METHODES DE DIAGNOSTIC DES DEFAUTS BASEES SUR L'ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX

Pour effectuer le diagnostic d'une installation industrielle, les opérateurs de maintenance analysent un certain nombre de signaux issus de la machine. En effet, l'évolution temporelle et le contenu spectral de ces signaux, peuvent être exploités pour détecter et localiser les anomalies qui affectent le bon fonctionnement de la machine. D'après la littérature, les principales techniques du diagnostic utilisées pour obtenir des informations sur l'état de santé de la machine sont les suivantes.

2.2.1. Diagnostic par mesure des vibrations mécaniques

Le diagnostic des défauts en utilisant les vibrations mécaniques est la méthode la plus utilisée dans la pratique. Les forces radiales, créées par le champ d'entrefer, provoquent des vibrations dans la machine asynchrone. Ces forces sont proportionnelles au carré de l'induction magnétique [10, 11].

$$\sigma(\theta, t) = \frac{B_s^2(\theta, t)}{2\mu_0} \quad (2.1)$$

La distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer, est le produit de la F.m.m (Fm) et de la perméance (P).

$$B = F_m \cdot P \quad (2.2)$$

La force magnétomotrice contient les effets des asymétries du stator ou du rotor, en plus la perméance dépend de la variation de l'entrefer (à cause des ouvertures des encoches statoriques et rotoriques, l'excentricité). De ce fait, l'analyse spectrale des signaux

de vibrations mécaniques, permet la détection aussi bien les défauts électriques que mécaniques. Les spectres des signaux de vibrations, issus du moteur avec défaut, sont comparés avec ceux enregistrés lorsque le moteur est en bon état. Les vibrations de la machine peuvent être captées par des accéléromètres.

2.2.2. Diagnostic par mesure du Flux magnétique axial de fuite

Dans une machine idéale et sans défaut, les courants et les tensions statoriques sont équilibrés, ce qui annule le flux de fuite axial. La présence d'un défaut quelconque, provoque un déséquilibre électrique et magnétique au niveau du stator ce qui donne naissance à des flux de fuite axial de valeurs dépendent au degré de sévérité du défaut. Si on place une bobine autour de l'arbre de la machine, elle sera le siège d'une force électromotrice induite. L'analyse spectrale de la tension induite dans cette bobine peut être exploitée pour détecter les différents défauts [4, 10].

2.2.3. Diagnostic par l'analyse des tensions statoriques induites

La technique qui permet de détecter les défauts rotoriques dans les machines asynchrones est basée sur l'exploitation du contenu fréquentielle de la tension induite, par le flux rotorique, dans les enroulements statoriques pendant la déconnexion du moteur de réseau. La rupture d'une barre va affecter directement la tension induite dans les enroulements statoriques. En utilisant cette approche, les effets de la non-idéalité de la source (déséquilibres et présence des harmoniques) ainsi que la non-linéarité des caractéristiques magnétiques de la machine peuvent être évités [10].

2.2.4. Diagnostic par mesure du couple électromagnétique

Cette technique, permet de détecter aussi bien les défauts rotoriques que les défauts de court-circuit entre spires dans les bobines statoriques. Le couple électromagnétique développé dans les machines électriques, provient de l'interaction entre le champ statorique et celui rotorique. Par conséquent, tous défauts, soit au niveau du stator ou au rotor, affectent directement le couple électromagnétique. L'analyse spectrale du signal du couple (mesuré ou estimé), donne des informations sur l'état de la santé du moteur [10].

2.2.5. Diagnostic par mesure de la puissance instantanée

L'utilisation de la puissance instantanée pour la détection des défauts dans les moteurs asynchrones est très utilisable. La puissance instantanée est la somme des produit des courants est des tensions dans les trois phases statoriques. Donc, le niveau des

informations, apportées par cette grandeur, est plus grand que celui apportées par le courant d'une seule phase. Ceci présente l'avantage de cette méthode par apport aux autres [8].

2.2.6. Diagnostic par mesure du courant statorique

Parmi tout les signaux utilisables, le courant statorique s'est avéré être l'un des plus intéressants, car, il est très facile d'accès et il nous permet de détecter aussi bien des défauts électromagnétiques que des défauts purement mécaniques [4, 10, 11]. Cette technique est dénommée dans la littérature "*Motor Current Signature Analysis*" (MCSA).

Les défauts de la machine asynchrone se traduisent dans le spectre du courant statorique soit par :

- ✚ L'apparition des raies spectrales dont les fréquences sont directement liées à la fréquence de rotation de la machine, aux fréquences des champs tournants et aux paramètres physiques de la machine (nombre d'encoche rotorique et nombre de paires de pôles).
- ✚ La modification de l'amplitude des raies spectrales, déjà présentes dans le spectre du courant.

La surveillance via le courant statorique nécessite une bonne connaissance des défauts et leurs signatures.

2.3. CONCLUSION

Plusieurs techniques de diagnostic de la machine asynchrone triphasée sont trouvées. Mais ces technique dépendent aussi de la fidélité de la méthode utilisée pour modélisée la machine. La méthode des éléments finis offre une modèle très puissant essentiellement pour visualiser l'impact de défaut sur la distribution des grandeurs magnétiques de la machine tel que les lignes d'équiflux.

Chapitre 3

3.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons étudier la machine asynchrone avec un modèle qui représente la machine réelle. Dans ce but nous nous utilisons une simulation par la méthode de calcul par éléments finis. Cette dernière qui représente une grande fidélité du comportement électromagnétique, ainsi que sa considération de la géométrie de la machine.

Nous nous intéressons à simuler le moteur asynchrone triphasée en utilisant l'outil logiciel ANSYS. La technique de couplage entre le circuit magnétique de la machine avec le circuit extérieur d'alimentation est utilisée [8].

Les valeurs nominales de la machine étudiée est donnée par le tableau 3.1. La figure 3.1 présente le circuit magnétique de la machine asynchrone, la géométrie est très proche de la machine réelle, tant que la machine est alimentée par une source de tension sinusoïdale [8].

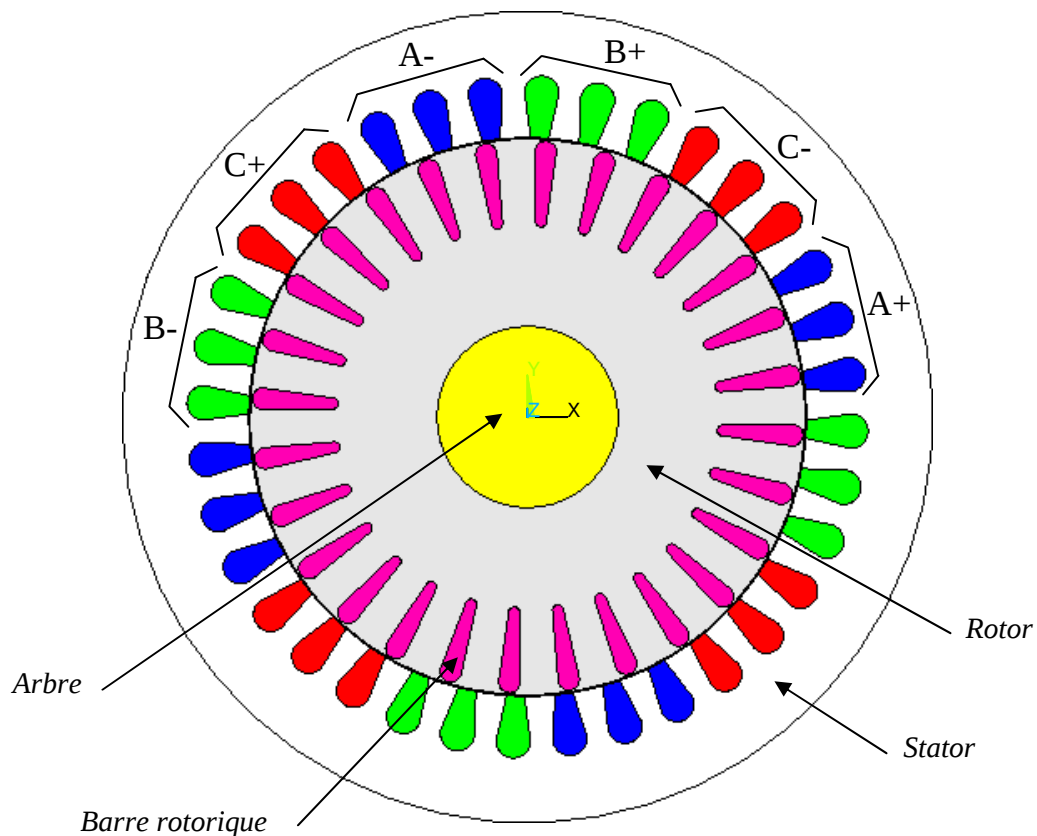


Figure 3.1 : Circuit magnétique de la machine.

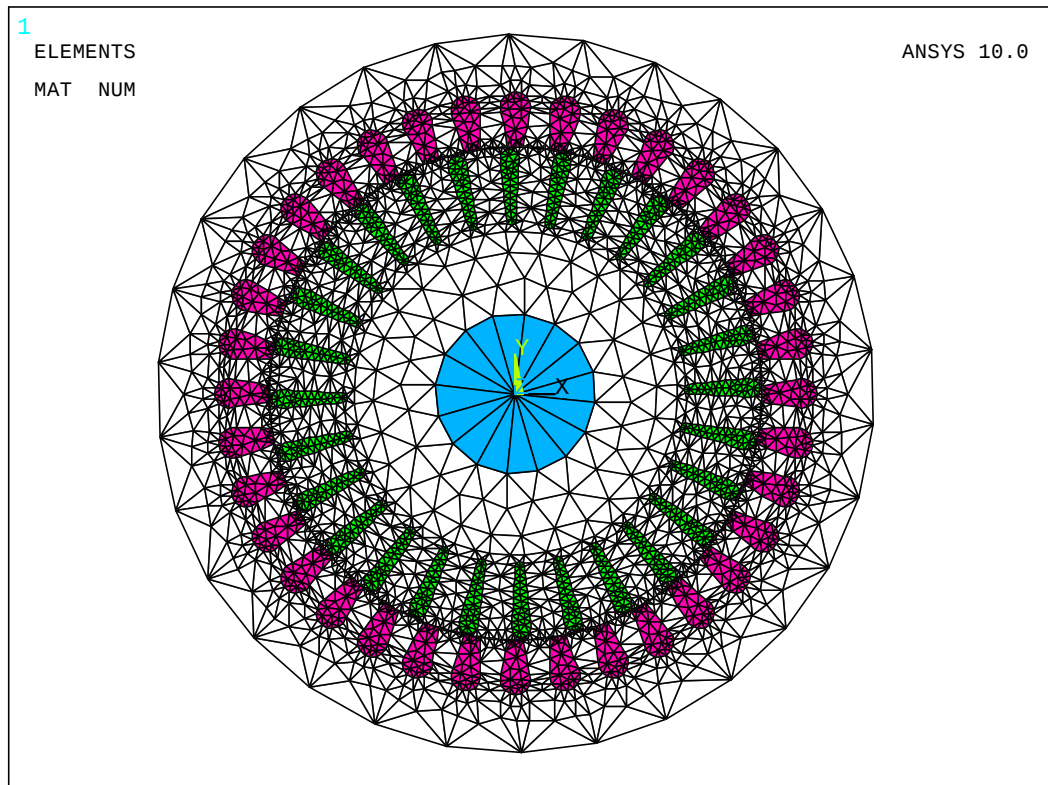


Figure 3.2 : Répartition du maillage sur la machine complète (éléments triangulaires).

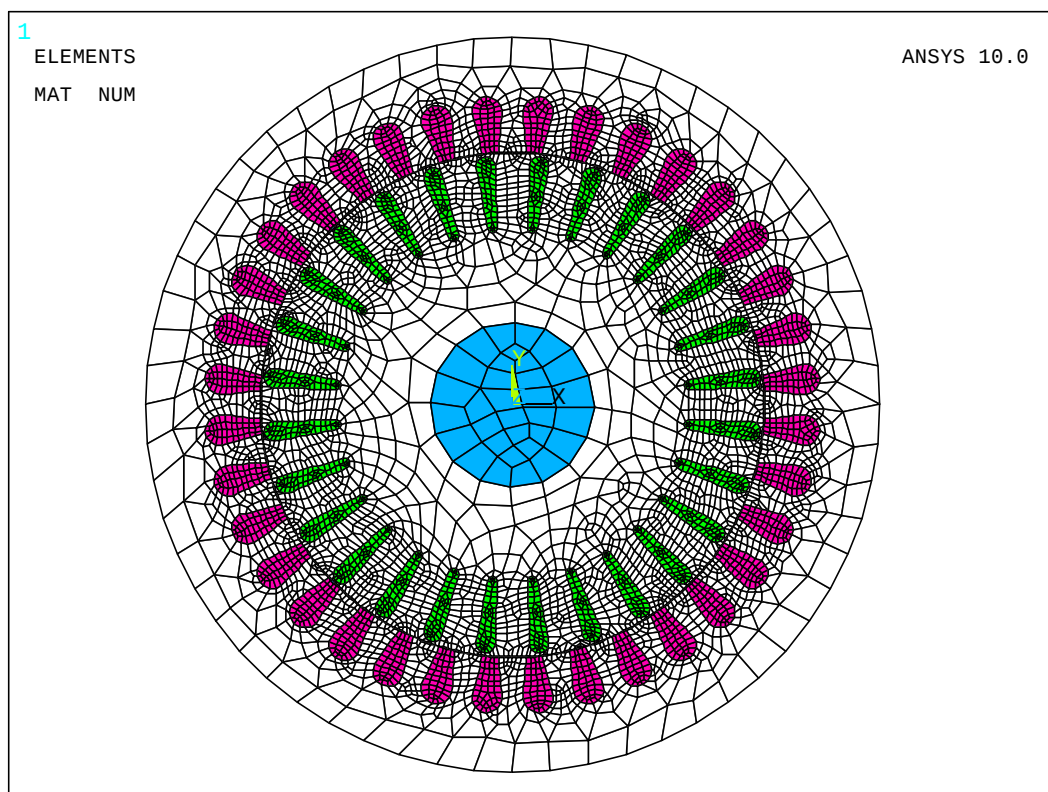


Figure 3.3 : Répartition du maillage sur la machine complète (éléments quadratures).

Le maillage de la partie stator, partie rotor, et spécialement le maillage d'entrefer, nous trouvons que le maillage avec des éléments triangulaires (figure 3.2), assure une courte durée de calcul sans perte sensible de l'information, contrairement au maillage avec des éléments quadratures (figure 3.3) qui nécessite un grand nombre d'éléments pour garder la précision.

Le maillage est plus dense au voisinage de l'entrefer puisque dans cette région se développe l'énergie électromagnétique. Par contre le maillage est plus grossier vers l'arbre et vers l'extérieur de la culasse pour alléger le temps de calcul sans perte sensible d'information.

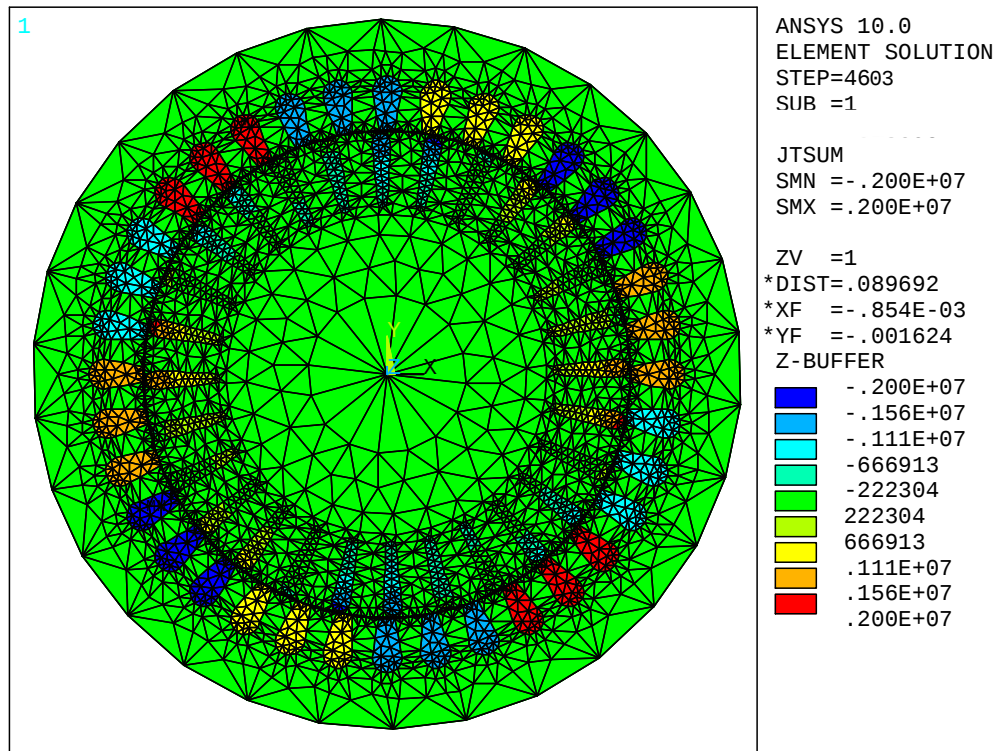


Figure 3.4 : Densité du courant électrique (solution dynamique).

Pendant le régime transitoire, la valeur maximale de la densité du courant électrique prend des valeurs supérieures : $5 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$. Durant le régime permanent, la valeur maximale de la densité du courant électrique se stabilise autour d'une valeur maximale de : $2 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$ et une valeur minimale de : $-2 \cdot 10^{-6} \text{ A/m}^2$ comme il est présenté dans la figure 3.4.

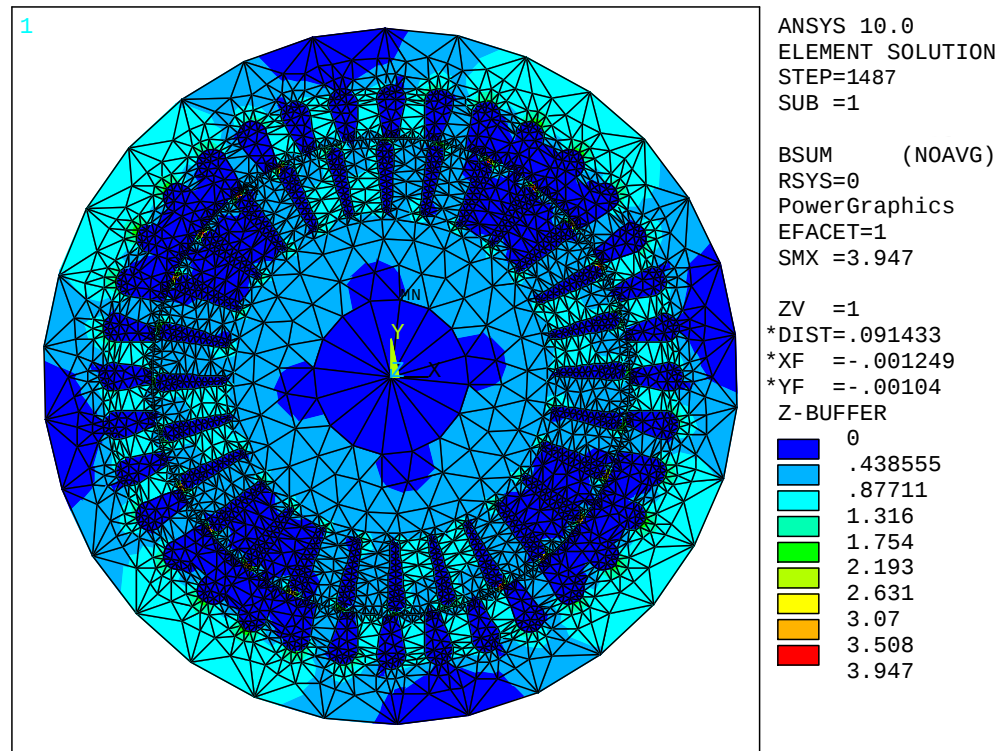


Figure 3.5: Répartition de l'induction magnétique.

La figure 3.5 présente la répartition de l'induction magnétique dans le circuit magnétique. Nous remarquons que cette répartition de l'induction est quasi-symétrique avec une valeur maximale de 3.947 Tesla.

3.2. SIMULATION DU DEFAUT ROTORIQUE

La cassure de barre est un des défauts les plus fréquents au rotor. Nos simulations nous permettent de prévoir des détériorations générées dans le moteur.

Pour illustrer la cassure totale de barre dans le modèle de la machine, nous supprimons le conducteur associé à la barre dans le circuit électrique. La surface représentant la barre cassée dans le circuit magnétique est remplie par un matériau amagnétique. Ainsi la barre cassée ne véhicule pas de courant, mais a un effet sur la répartition des lignes de champs [9].

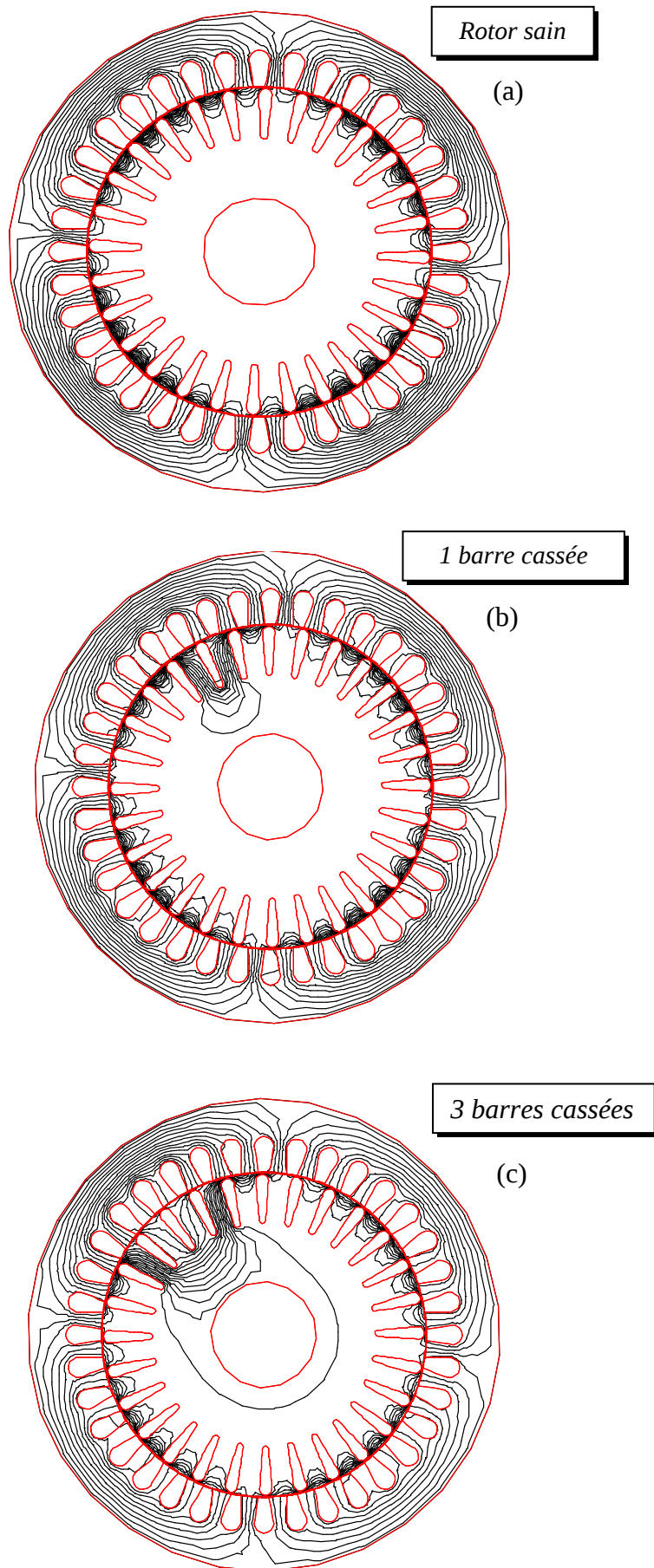


Figure 3.6 : Répartition des lignes équipotential.

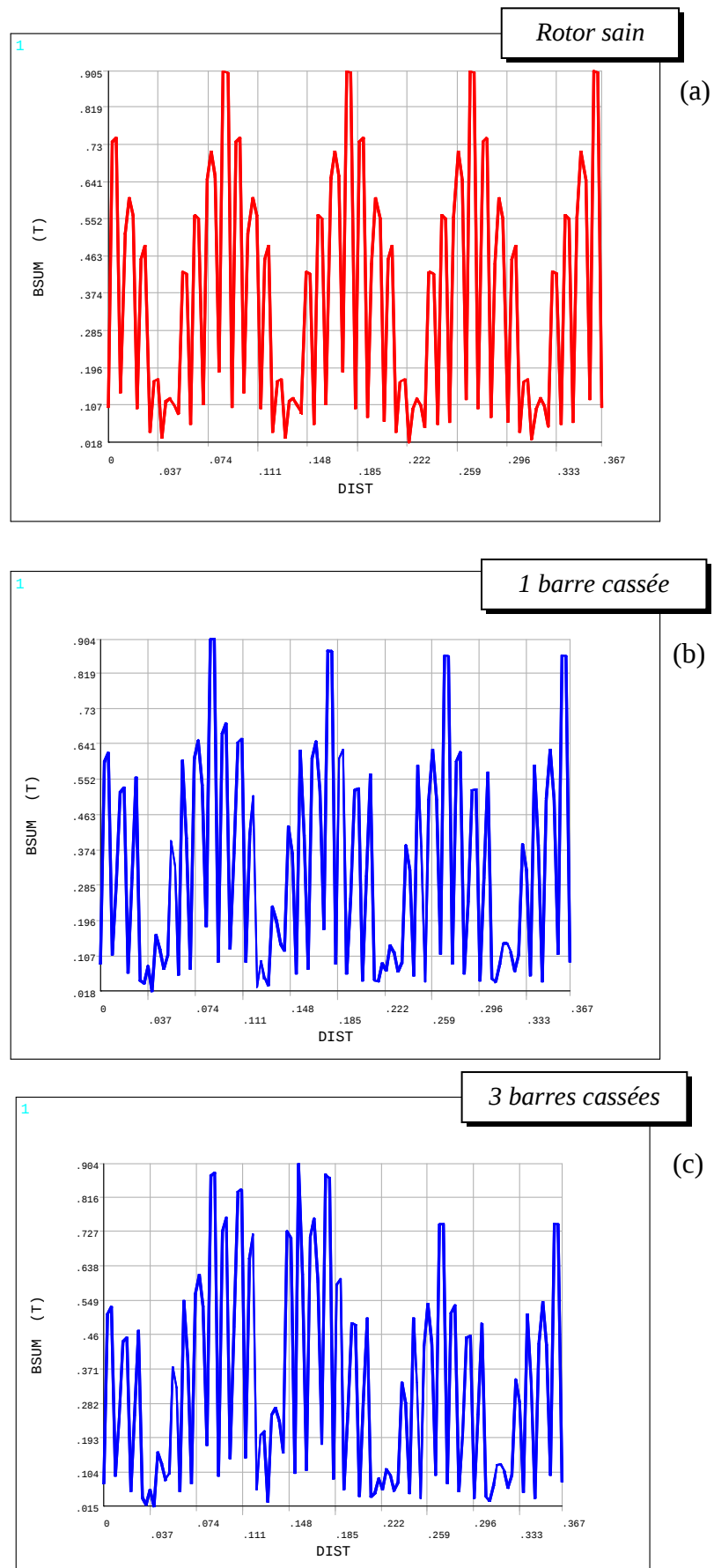


Figure 3.7 : Courbe de l'induction magnétique le long d'un contour circulaire à l'entrefer.

Pour un moteur sain, les courants dans les barres entraînent une répartition symétrique des lignes de flux, l'absence de courants dans les barres cassées annule leur participation à la création du flux, ce qui explique le resserrement des lignes de flux autour de ces barres (figures 3.6.b, 3.6.c). Plus il y aura de barres cassées plus le déséquilibre de répartition des lignes de flux s'accroîtra.

La figure 3.7, montre l'effet du défaut de cassure des barres rotoriques sur la répartition de l'induction magnétique dans l'entrefer, pour un moteur sain la répartition de l'induction est symétrique pour les deux paires de pôles, l'apparition du défaut provoque une dissymétrie. Cette dissymétrie augmente fortement avec le nombre des barres

3.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous simulons un défaut de cassure de barres pour un nombre des barres différents. La visualisation des résultats montre que la cassure des barres rotoriques provoque un déséquilibre sur la répartition des lignes de flux magnétique. La distribution de l'induction magnétique montre aussi un déséquilibre lors de l'apparition des défauts. Notons que ces déséquilibres augmentent avec le nombre de barres cassées. Les barres saines adjacentes au défaut sont plus sollicitées. Toutefois, ce défaut peut aussi générer des ruptures de portions d'anneaux de court-circuit.

Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE

La détection précoce des défauts dans les machines asynchrones est devenue un enjeu économique très important. Dans ce cadre, le travail présenté dans ce mémoire traite le diagnostic et la simulation d'un défaut rotorique dans la machine asynchrone.

Un premier chapitre a permis d'exposer les fréquents défauts, ainsi que les différentes techniques de diagnostic utilisées. Ensuite, les signatures de quelques défauts ont été présentées.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les différentes méthodes de diagnostic des défauts dans la machine asynchrone.

Enfin, le troisième chapitre exploite la simulation d'un défaut rotorique (cassure de barres). Celui ci présente les résultats de simulation de la machine à l'état sain et avec défauts. Ils mettent en évidence l'effet de défaut sur la distribution des lignes d'équiflux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] S. Bachir, "*Contribution au Diagnostic de la Machine Asynchrone par Estimation Paramétrique*", Thèse de doctorat, Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers, 2002.
- [2] B. Vaseghi, "*Contribution A L'Etude des Machines Electriques en Présence de Défaut Entre-Spires Modélisation – Réduction Du Courant De Défaut*", Thèse de doctorat, L'Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [3] "*présentation des avaries. Machines électriques tournantes* ", Cahier des préventions. CP2, Allianz. 1988.
- [4] N. Halem, "*Etude et Simulation du Modèle Muliti-Enroulements de la Machine Asynchrone*", thèse d'ingénieur, Université de Biskra, 2007.
- [5] Thorsen, O.V, Dalva, M, "*Condition monitoring, failure identification and analysis for high voltage motors in petrochemical industry*", END97, 1997, Conference Publication n°444, IEEE 1997.
- [6] F. Filippetti, G. Franceschini, C.Tassoni, P.Vas, "*Broken bar detection in induction machines: comparaison between current spectrum approach*", IEEE Industry Application Conference 94, Denver USA, Oct 1994.
- [7] R. Fiser, S. Ferkolj, "*Modelling of dynamic performance of induction machine with rotor faults*", Proc. Of the Int. Electrical Machines ICEM 96, pp17-22, Vigo, Spain, 1996.
- [8] N. Halem, " *Modélisation des Machines Asynchrones en Vue du Diagnostic avec Prise en Compte Adéquate de Circuit Magnétique par Eléments Finis*", thèse de magistère, Université d'El-Oued, 2010.
- [9] T. Boumagoura, "*Rcherche de signature electromagnétique des défauts dans une machine asynchrone et synthèse d'observateurs en vue du diagnostic*", thèse de doctorat, l'école doctorale d'electrotechnique de Lyon 2001.

- [10] M. Sahraoui "*contribution à l'étude du diagnostic de la machine asynchrone*", thèse de magistère, Université Mohamed Khider Biska 2003.
- [11] A. Ghoggal, "*Diagnostic de la Machine Asynchrone Triphasée : Modèle Dédié à la Détection des Défauts*", mémoire de magister, Université de Batna, 2005.