

1.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons le système étudié qui se limite dans notre cas à la machine asynchrone triphasée à cage d'écureuil.

Après avoir rappelé les éléments de constitution de cette machine ; nous effectuons une analyse des différents défauts pouvant survenir sur chacun d'eux (on s'intéresse aux défauts rotoriques).

I.2. Eléments de constitution de la machine asynchrone

I.2.1. Le stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôle d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Ces tôles sont pour les petites machines découpées en une seule pièce alors qu'elles sont pour les machines de puissance plus importantes, découpées par sections, figure (1-1)[G].

Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique.

Une fois cette étape d'assemblage terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet.

Ces enroulements peuvent être insérés de manières imbriquées, ondulées ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches

L'isolation entre les enroulements électrique et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone.

Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique. Nous représentons sur la figure (1-3) les différentes parties de constitution du stator d'une machine asynchrone. Nous pouvons visualiser la présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement de la machine lorsque celle-ci fonctionne en charge[G][J].

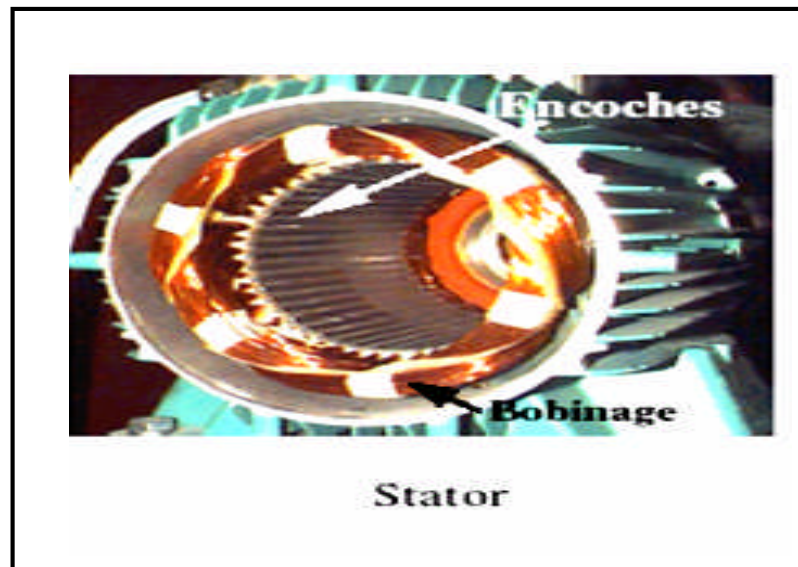


Figure (1.1)

1.2.2. Rotor

Tout comme le stator, le circuit magnétique rotorique est constitué de tôles d'acier qui sont en général de même origine que celles utilisées pour la construction du stator. Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotorique).

Les phases rotorique sont alors disponibles grâce à un système de bagues balais positionné sur l'arbre de la machine. En ce qui concerne les rotors à cage d'écureuil, les enroulements sont constitués de barres de

cuivre pour les gros moteurs ou d'aluminium pour les petits. Ces barres sont court-circuitées à chaque extrémité par deux anneaux dits "de court circuit " eux aussi fabriqués en cuivre ou en aluminium.

Il existe différentes structures de rotor à cage qui dépendent principalement de la taille du moteur et de l'application qu'il en sera faite ; nous donnons à la figure (1-2) les différents éléments de constitution d'un rotor à cage d'écureuil.

Nous pouvons visualiser l'arbre sur lequel les tôles sont empilées; les deux anneaux de court –circuit ainsi que les barres d'aluminium formant la cage d'écureuil , très souvent ces barres sont uniformément inclinées pour limiter les harmoniques et ainsi diminuer très fortement le bruit lors de l'accélération de la machine asynchrone.

L'isolation des barres avec les tôles magnétiques n'est en général pas nécessaire du fait de la faible tension induite aux bornes de chacune d'entre elles ; de plus la résistivité de l'alliage utilisé pour la construction de cette cage est suffisamment faible pour les courants ne circulent pas à travers les tôles magnétiques n'est en général pas nécessaire du fait de la faible tension induite aux bornes de chacune d'entre elles.

De plus, la résistivité de l'alliage utilisé pour la construction de cette cage est suffisamment faible pour que les courants ne circulent pas à travers les tôles magnétiques sauf lorsque la cage rotorique présente une rupture de barre.

Le rotor de la machine asynchrone est aussi pourvu d'ailettes de ventilation pour permettre un refroidissement de la cage le plus efficace possible, comme le montre la figure (1-3)[J][L].

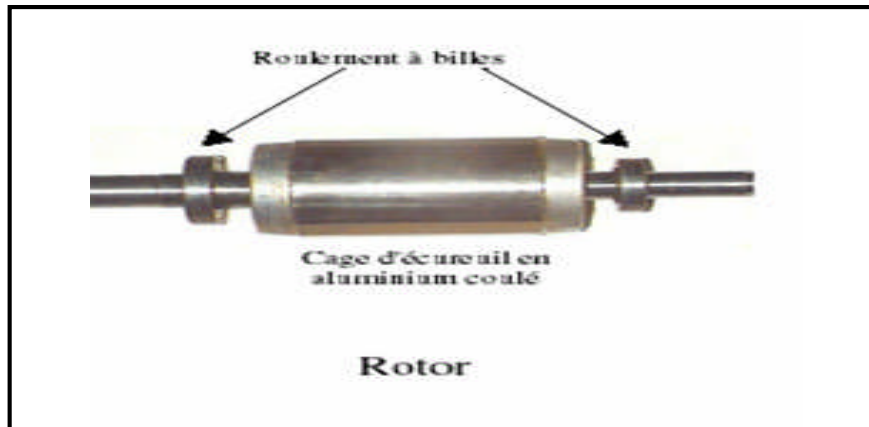


Figure (1.2)

1.2.3. Paliers

Les paliers qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques moulés en fonte sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme nous pouvons le visualiser sur la figure (1.3).

L'ensemble ainsi établi constitue alors la machine asynchrone à cage[G].

1.3. Le principe de fonctionnement de la machine asynchrone

Le principe de fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur l'interaction électromagnétique du champ tournant, créée par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs du rotor sont coupés par le champ tournant. Cette interaction électromagnétique du stator et du rotor de la machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant diffère de celle du rotor. De cette façon, nous pouvons dire que, le fonctionnement d'une machine asynchrone est comparable à celui d'un transformateur dont l'enroulement secondaire est tournant[J].

Le rotor de la machine asynchrone tourne à la vitesse de Ω_R exprimée en (rad/ sec) et la force magnétomotrice produite par les courants statoriques tourne à la vitesse de synchronisme à Ω_S exprimée en (rad/sec) mais la vitesse Ω_R est généralement inférieure à Ω_S [J].

Pour caractériser la vitesse du rotor, on définit le glissement (g), qui est l'écart relatif entre la vitesse de synchronisme N_s et la vitesse réelle N soit:

$$g = \frac{N_s - N}{N_s} = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$$

Où: $\omega_m = \frac{2\pi N}{60} P$

P: Nombre de paires de pôles [J].

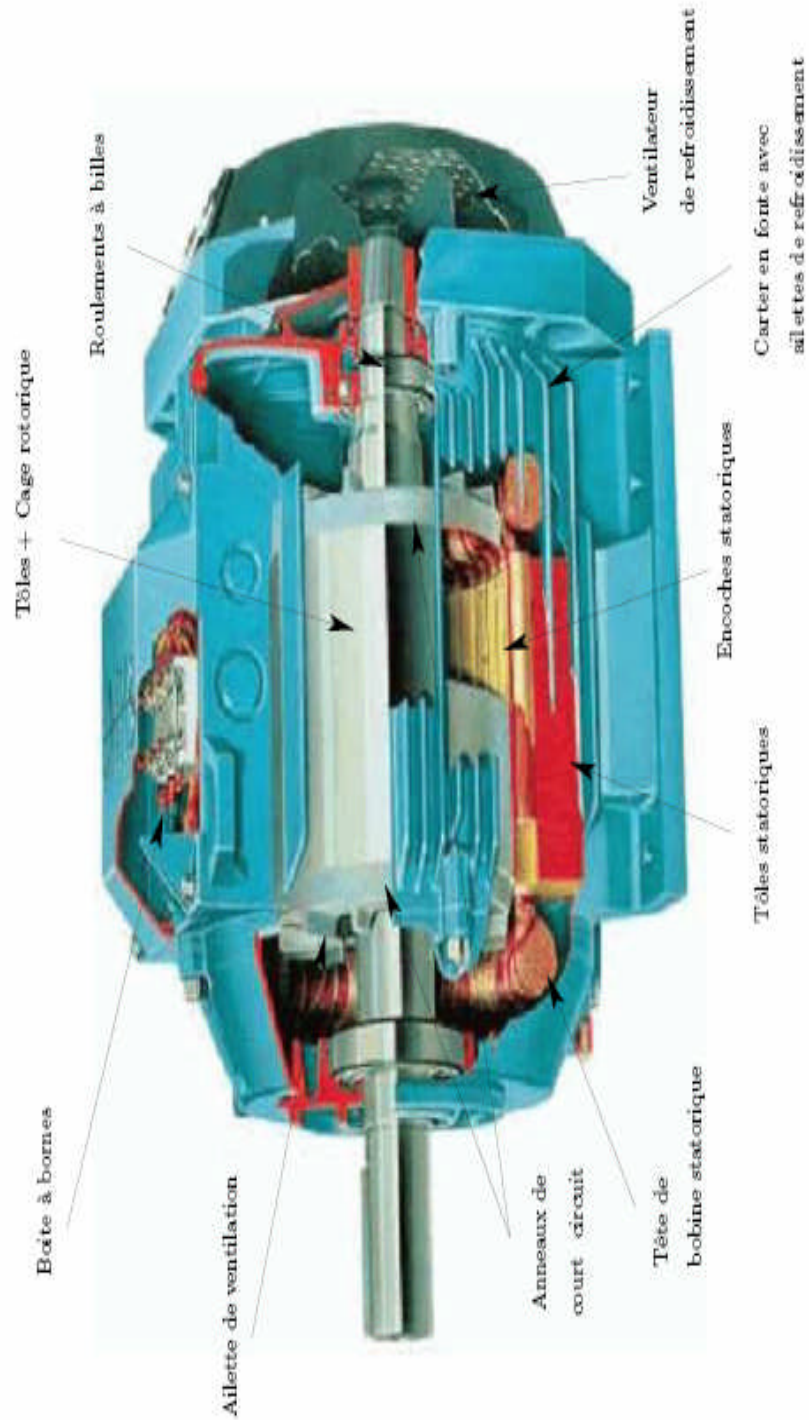


FIG. I.1 : Eléments de constitution d'une machine asynchrone à cage d'écureuil |

Figure (1.3) [G]

1.4. Défaillances de la machine asynchrone

Bien que la machine asynchrone à cage d'écureuil soit réputée robuste, elle peut parfois présenter différents types de défauts; ces dernières peuvent être prévisibles, mécaniques, électriques ou magnétiques et leurs causes sont très variées [J].

L'étude des défauts des machines asynchrones a double objectif[T] :

- Comprendre leur genèse de manière à prévoir leur gravité et leur développement.
- Analyser leur impact sur le comportement de la machine on déduire les signatures permettant à posteriori, de remonter jusqu'à la cause de la défaillance.

1.4.1. Présentation des différents défauts (causes, effets, statistiques)

1.4.1.1.Introduction

Les défauts dans les entraînements électriques se répartissent en deux catégories : les défauts qui se produisent dans la machine électrique (défauts des roulements, inclinaison de l'axe) et ceux qui produisent dans la chaîne d'entraînement à l'extérieur de la machine électrique (défauts dans la boîte de vitesse mécanique).

Notre étude est restreinte aux problèmes électriques qui se développent dans la machine asynchrone.

1.4.1.2. Les causes des défaillances

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

- Les initiateurs de défauts : surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survoltage d'alimentation...etc.
- Amplification de défauts : surcharge fréquente, vibrations mécaniques, environnement humide, alimentation perturbée (instabilité de la tension ou de la fréquence), échauffement permanent, mauvais graissage, vieillissement...etc.
- Les défauts de fabrication: défauts de fabrication, défectuosité des composants, protections inadaptées, mauvais dimensionnement de la machine...etc.

Donc la majorité de tous les défauts du rotor et du stator sont provoqués par une combinaison des divers efforts qui agissent sur ces deux composants de la machine

Pour le stator, ces efforts peuvent être groupés comme suit:

➤ Efforts thermiques

- vieillissement
- surcharge
- cycle de démarrage fréquent

- coupures
- **Efforts Mécaniques**
- mouvement d'enroulement
- excentricité du rotor
- **Efforts électriques**

- diélectrique
- surtension
- l'effet de couronne, effet de peau

Pour le rotor ces efforts sont des conséquences des contraintes et des conditions suivantes:

- Couple de fonctionnement.
- Force dynamique non équilibrée.
- Vibration de torsion et des couples transitoires.
- Forces résiduelles du bâti, de la soudure, de l'usinage, et des fils (radial, axial, autre).
- Force magnétique provoquée par le flux de fuite d'encoche.
- Force magnétique provoquée par l'excentricité de l'entrefer.
- Force de centrifuge.
- Effort thermique provoqué par l'échauffement de l'anneau du court-circuit.
- Effort thermique provoqué par la différence de la température dans la barre pendant le démarrage (effet de peau).

1.4.1.3. Les différents défauts

Des études statistiques nous révèlent que certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres, ce qui nous amène à axer notre étude vers les types de défauts les plus courants. Parmi les pannes majeures, nous présentons les suivantes :

***Les cassures de barres et de portions d'anneaux de court-circuit [T] :**

La détection de ces défaillances est rendue difficile par le fait que lors de leur apparition, la machine continue de fonctionner. Ces défauts ont par ailleurs un effet cumulatif. Le courant qui conduit dans une barre cassée, par exemple, se répartit sur les barres adjacentes. Ces barres sont alors traversées par plusieurs courants, ce qui conduit à leurs ruptures, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine. Elles provoquent aussi une dissymétrie de répartition de courants au rotor et des "à-coups" de couples, ceci va générer des vibrations et l'apparition de défauts mécaniques.

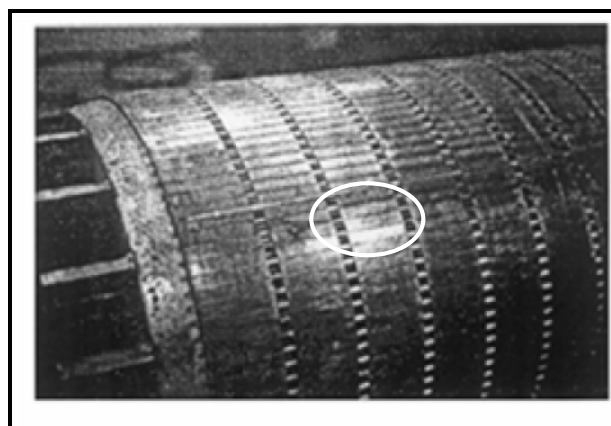


Fig. (1.4) : Rotor à cage avec rupture d'une barre.

***Les courts-circuits internes**

Un court-circuit entre phases provoquerait un arrêt net de la machine. Cependant, un court-circuit au bobinage près du neutre ou entre spires n'a pas d'effet aussi radical. Il conduit à un déséquilibre de phases, ce qui provoque une répercussion directe sur le couple. Ce type de défauts perturbe également de manière sensible les commandes développées sur la base du modèle de Park

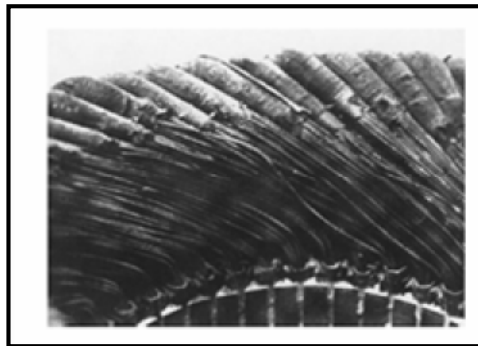


Figure (1.5): Court-circuit spire-spire
phase

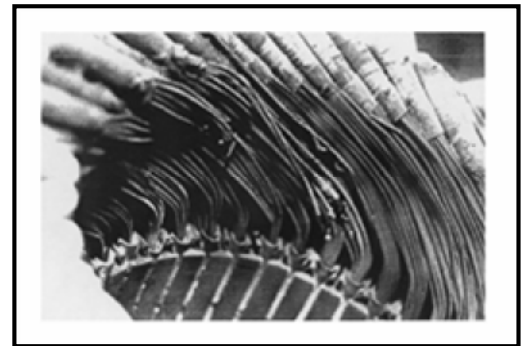


Fig (1.6): Court-circuit phase-

***Les décharges partielles**

Ce phénomène naturel dû aux décharges dans les isolants entre conducteurs ou entre conducteurs et la masse s'amplifie avec le vieillissement des isolants. Il est pratiquement imperceptible dans les isolants neufs par les moyens de mesures classiques car son effet n'est pas discernable par rapport aux bruits de mesure. Sa présence précède l'apparition des courts-circuits entre phases ou entre phase et masse lorsque ces décharges partielles ont suffisamment détérioré les isolants

***Dissymétrie du rotor (excentricité)**

Celui-ci provoque la variation de l'entrefer dans le moteur, une répartition non homogène des courants dans le rotor et le déséquilibre des courants statoriques. Le déséquilibre des efforts sur les barres génère un couple global non constant [T].

Quand l'excentricité devient grande, les forces radiales résultantes causées par le stator avec la bande de frottement du rotor, ce qui conduit à des dommages du stator et du rotor.

La géométrie du rotor peut présenter des dissymétries d'ordre naturel. Celles-ci relèvent de trois catégories d'excentricité de l'entrefer [D] ; à savoir :

- L'excentricité statique : lorsque l'axe du stator coïncide avec l'axe de rotation et non avec l'axe du rotor.
- l'excentricité dynamique : lorsque l'axe de rotation du rotor ne coïncide pas avec l'axe de symétrie du stator.
- L'excentricité mixte : lorsque l'axe de rotation du rotor ne coïncide pas avec les axes de symétrie du rotor et du stator.

***Défauts de roulement à billes**

Les défauts de roulement se manifestent comme des défauts d'asymétrie au rotor qui sont usuellement rangés dans la catégorie des défauts relatifs à l'excentricité. Un défaut de roulement se manifeste par la répartition continue du contact défectueux avec la cage de roulement extérieur comme intérieur.

1.4.1.4.Etudes statistiques[J]

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

60% défauts dans le stator.

22% défauts dans le rotor.

18% autres défauts.

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

| | | | |
|---------------------|-----|---------------------|-----|
| Enroulements stator | 13% | Couplage magnétique | 4% |
| Défauts au rotor | 8% | Roulements | 41% |
| Autres | 34% | | |

Les contraintes mécaniques sont les plus grandes pour ce type de machines ; ce qui explique la domination des défauts de roulements sur les défauts électriques.

1.4.2.L'effet des défauts sur les paramètres de la machine

Un défaut au rotor engendre un déséquilibre des courants dans la cage d'écureuil ainsi que dans ses paramètres physiques. L'apparition d'un défaut dans le rotor provoque un déséquilibre dans les phases rotorique. Alors que pour une machine saine ces trois paramètres restent toujours égaux quelque soit le point de fonctionnement.

1.4.2.1 L'effet de cassures de barres

La cassure de barres est un des défauts les plus fréquents au rotor. La détérioration des barres entraîne une augmentation de la résistance rotorique, diminution de la résistance statorique et réduction dans la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmentation d'amplitude des oscillations. L'effet de la cassure de barres croît rapidement avec le nombre de barres cassées. La grande amplitude des oscillations accélère la détérioration de la machine et des composants de la chaîne de traction.

1.4.2.2.L'effet de cassures d'une portion d'anneau de court-circuit

La cassure de portion d'anneau de court-circuit est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres. En fait les cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux[T].

Les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants très importants par rapport ceux des barres rotorique. De ce fait, ce la entraîne un mauvais fonctionnement (température, humidité....) une surcharge de couple et donc de courants tous entraîne la cassure des portions d'anneau de court-circuit.

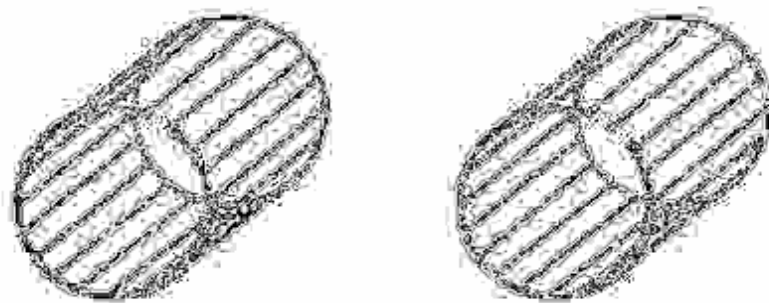


Figure (1.7) : Rupture d'une et deux portions adjacentes d'anneau de court-circuit

1.4.2.3.L'effet d'un court-circuit dans une phase

Un court-circuit entre spires de la même phase est un défaut assez fréquent. Il peut se manifester soit entre les spires au milieu du bobinage ou bien entre une spire et le neutre.

***Court-circuit spire neutre**

Le courant dans la phase concernée a une amplitude supérieure par rapport au courant des autres phases. Toutefois, les courants qui parcourent ces phases sont amplifiés par rapport au cas de la machine saine. Plus important est le nombre de spires en court-circuit, plus forte est l'augmentation des courants.

De plus le facteur de puissance diminue avec l'augmentation de nombre de spires en court-circuit. Ce qui explique la modification des bobinages, qui implique une variation de l'inductance propre de la phase affectée également par le défaut et affecte les autres par couplage magnétique.

***Court-circuit au milieu de la phase**

le court-circuit entre spires loin du neutre augmente les courants dans les phases statoriques, dans les barres, et les portions d'anneaux du circuit rotorique.

***Court-circuit entre phases différentes**

L'apparition d'un court-circuit proche de l'alimentation entre deux phases, induirait une des courants très forts conduisant à la fusion des conducteurs. Cependant, un court-circuit proche du neutre

engendre un déséquilibre sans provoquer la fusion des conducteurs. De plus, les courants des barres sont amplifiés lors de l'apparition du défaut.

Le Tableau. (1.1) résume la variation des paramètres du modèle du moteur asynchrone à cage d'écureuil selon les défauts. Dans le cas d'un défaut, il y a une modification de tous les paramètres. Un court-circuit spire-spire se produit dans la phase a par exemple, **R_{sa}** et **L_{sa}** diminuèrent tandis que **R_{sb}** de **L_{sb}** et **R_{sc}** **L_{sc}** augmentera. C'est l'information "appropriée" pour la localisation de défaut [G].









| 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. |  |  |  |  | | |
| Court-circuit entre spires d'une phase statorique. |  |  |  |  | R_{sa}, L_{sa} | |
| | | | | | $R_{sb}, R_{sc},$ | |
| | | | | | L_{sb}, L_{sc} | |

Tableau (1.1): variation des paramètres de la machine en fonction du défaut[T].

1.5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques rappels sur la constitution de la machine asynchrone à cage d'écureuil et son principe de fonctionnement, après nous avons fait une présentation de différents défauts qui peuvent apparaître dans la machine asynchrone avec des études statistiques ont été présentées pour illustrer l'impact de ces défauts dans le domaines industriel.

Dans le prochain chapitre, nous essayerons de transcrire le modèle physique constitué du stator et du rotor en équations mathématiques ; ce qui constituera la tâche de la modélisation de la machine asynchrone.