

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



**Université El-chahid Hamma Lakhdar  
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**

**Défaut de court-circuit dans  
les machines électriques**

**Dirigé par:**

Dr. HALEM Noura

**Réalisé par:**

Haraizi mabrouka

Hanzab sawsen

CHouiref fatma

Menacour yasmina

Soutenu 2015

## Sommaire

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|-----------------------|---|

### Chapitre 1

#### *Défaut de court-circuit dans la machine asynchrone triphasée*

|           |                                                                        |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1       | Introduction                                                           | 4  |
| 1.2       | Définitions                                                            | 4  |
| 1.2.1     | La Maintenance                                                         | 4  |
| 1.2.1.1   | Maintenance Corrective                                                 | 4  |
| 1.2.1.2   | Maintenance Préventive                                                 | 5  |
| 1.2.1.2.1 | Maintenance préventive systématique                                    | 5  |
| 1.2.1.2.2 | Maintenance préventive conditionnelle                                  | 7  |
| 1.2.3     | La Surveillance                                                        | 8  |
| 1.2.4     | Le Diagnostic                                                          | 8  |
| 1.3       | Définition de la machine asynchrone                                    | 9  |
| 1.3.1     | Principe de fonctionnement                                             | 9  |
| 1.3.2     | Eléments de constitution de la machine asynchrone                      | 11 |
| 1.3.2.1   | Stator                                                                 | 11 |
| 1.3.2.1   | Rotor                                                                  | 12 |
| 1.3.2.3   | Paliers                                                                | 13 |
| 1.4.1     | Analyse statistique des origines des défauts statoriques et rotoriques | 14 |
| 1.4.2     | Causes des défauts                                                     | 15 |
| 1.4.3     | Principaux défauts                                                     | 16 |
| 1.4.4     | Défauts statoriques                                                    | 17 |
| 1.4.4.1   | Défauts dans les enroulements statoriques                              | 18 |
| 1.4.4.2   | Défauts d'isolant dans un enroulement                                  | 19 |
| 1.4.4.3   | Un court-circuit entre spires de la même phase                         | 19 |

---

|         |                                                                         |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.4.4 | Un court-circuit entre phases                                           | 20 |
| 1.4.5   | Défauts rotoriques                                                      | 20 |
| 1.4.6   | Défaillances du circuit magnétique                                      | 13 |
| 1.5     | Effet de court-circuit statorique dans une machine asynchrone triphasée | 13 |
| 1.6     | Conclusion                                                              | 13 |

## **Chapitre 2 :**

### *Défauts de court-circuit dans le transformateur*

|       |                                            |    |
|-------|--------------------------------------------|----|
| 2.1   | Introduction                               | 23 |
| 2.2   | Définition                                 | 23 |
| 2.3   | Constitution générale d'un transformateur  | 23 |
| 2.4   | Les contraintes                            | 25 |
| 2.4.1 | Surtension                                 | 25 |
| 2.4.2 | Court- circuit                             | 26 |
| 2.4.3 | Surcharges                                 | 26 |
| 2.5   | Les techniques de diagnostic               | 27 |
| 2.5.1 | Défaillance du transformateur de puissance | 27 |
| 2.5.2 | Dégradation des isolants                   | 28 |
| 2.5.3 | Calcul du vieillissement                   | 29 |
| 2.6   | Modes De Défaillances                      | 29 |
| 2.6.1 | Mode de Défaillance Electrique             | 30 |
| 2.6.2 | Courts circuits                            | 31 |
| 2.7   | Conclusion                                 | 31 |
|       | Conclusion générale                        | 33 |
|       | Références Bibliographiques                | 34 |

---

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Actuellement, la plupart des équipements industriels sont à base de machines asynchrones triphasées, du fait de leur robustesse et de leur faible coût. Cependant, quoi que robustes, ces machines subissent des perturbations auxquelles elles sont sensibles. Les principaux défauts recensés sont les court-circuits entre spires des bobinages du stator (dus au vieillissement des isolants), les dégradations des anneaux au rotor et tous les problèmes de barres (ruptures ou imperfections).

Le transformateur de puissance est un élément principal dans le système de transport d'électricité. Le manque de sa sûreté de fonctionnement n'affecte pas uniquement sur la disponibilité en énergie électrique, mais aussi, elle conduit à des condamnations technico-économiques, très balances en conséquences (techniques, financières, commerciales, environnementales) ; d'où la tâche de diagnostic des défauts de cette machine est plus que nécessaire toujours dans le but de détecter les défauts en premiers stages.

A la suite de ce qui précède, le mémoire est partagé en deux chapitres.

Le premier recense les notions de bases de la surveillance ensuite une présentation des différents défauts des machines asynchrones d'une manière plus ou moins brève, on y trouve des statistiques sur les types de défauts et leurs causes, en mettant l'échelle sur le défaut de court-circuit.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du transformateur de puissance et les défauts qui peuvent affecter ce type de machine.

Ensuite une conclusion clôture notre travail.

# Chapitre 1

## *Défaut de court-circuit dans la machine asynchrone triphasée*

## Chapitre 1

### Défaut de court-circuit dans la machine asynchrone triphasée

#### 1.1 Introduction

Nous présenterons dans ce premier chapitre un ensemble des notions de base concernant les activités de la maintenance et le diagnostic. Puis, nous explorons les différents constituants de la machine asynchrone à cage. Nous rappellerons essentiellement les divers défauts qui peuvent affectés ces constituants, en mettant l'échelle sur le défaut de court-circuit. Nous montrerons par la suite les effets de court-circuit sur le fonctionnement de la machine asynchrone triphasée à cage.

#### 1.2 Définitions

##### 1.2.1 La Maintenance

La tâche principale d'un ingénieur est de garantir la disponibilité des systèmes industriels, c'est-à-dire, d'assurer que le système fonctionne lorsqu'on le sollicite. La responsabilité de cette tâche repose sur la maintenance. Selon l'association française de normalisation (AFNOR), la maintenance est « ensembles des activités destinées à maintenir ou à établir un bien dans un état pour accomplir une fonction requise ». Il y a deux grandes classes de la maintenance [1]:

- ❖ Maintenance corrective ;
- ❖ Maintenance préventive : - systématique ;  
- conditionnelle.

##### 1.2.1.1 Maintenance Corrective

C'est un ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien. Autrement dit, la maintenance corrective est effectuée après la détection d'une panne : Elle devra s'appliquer automatiquement aux défaillances complètes et soudaines. Ce type de maintenance sera réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques pour la production et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité [1].

La maintenance corrective comprend : la localisation de la panne, et son diagnostic, la remise en état et le contrôle du bon fonctionnement avant la remise en service. Le taux d'utilisation de cette politique est égal à 50 % des industries générales.

Les avantages de ce type de maintenance sont :

- Faible coût de maintenance (si la panne est sans conséquences graves) ;
- Nécessite très peu de planification.

Les inconvénients sont :

- Coût de réparation très important lorsque la panne est intempestive ;
- Stockage important de pièces ;
- Peu de sécurité des travailleurs ;
- Temps de réparation élevé ;
- Ruptures de production et par conséquent des pertes économiques considérables.

#### **1.2.1.2 Maintenance Préventive**

Ce type de maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des équipements au cours de l'utilisation. La mise en pratique de ce type de maintenance nécessite la décomposition des sous-systèmes en composants (roulement, circuit magnétique, etc...). Les buts de la maintenance préventive, sont [1]:

- Augmenter la durée de vie des équipements.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- Supprimer les causes des accidents graves.

*On distingue deux types de la maintenance préventive :*

##### **1.2.1.2.1 Maintenance préventive systématique**

La maintenance systématique est un type de maintenance planifiée dans le temps (graissage, lubrification, nettoyage, dépoussiérage, calibrage,...). Il s'agit là d'éviter les causes de défaillances et de vieillissement des composantes du système.

Généralement, la maintenance préventive systématique s'adresse aux éléments dont le coût des pannes est élevé, mais ne revenant pas trop cher en changement (les meilleurs exemples sont le changement systématique de l'huile, des filtres, changement de la courroie de

synchronisation, des roulements, des paliers de rotation ...). À noter que dans une maintenance planifiée, le remplacement des composantes, se fait dans des échéances inférieures à leurs durées de vie, ce qui peut constituer dans d'autres conditions, une sorte de gaspillage [1].

Pratiquement, la maintenance préventive systématique s'exécute sans contrôle préalable de l'état du système et à des intervalles de temps définis (révision périodique.). Par exemple :

▪ **Le remplacement :**

- De l'huile des boîtes de vitesse, des réducteurs, des mécanismes en mouvement ;
- Des filtres (air, huile, carburant,...) ;
- Des pièces d'usure normale (plaques de glissière, plaquettes de freins, disques d'embrayage, courroie de transmission,...) ;
- Des roulements, paliers de rotation ;
- Des ressorts et d'autres pièces sujets à un phénomène de fatigue mécanique et électrique.

▪ **Le réglage et l'étalonnage :**

- Des jeux de glissières ou des cales d'ajustement ;
- Des tensions de courroies ;
- Des niveaux de pressions ;

▪ **Le contrôle de l'état général :**

- Des divers blocages ;
- Des niveaux d'huile ;
- Apparence d'usure ou de fissure.

Les avantages de ce type de maintenance sont :

- ✓ Réduction des coûts et des durées de maintenance par rapport à l'entretien correctif ;
- ✓ Bonne planification des réparations et des ressources ;
- ✓ Contrôle du niveau de stockage des pièces de rechange ;
- ✓ Généralement, peu de catastrophes ;
- ✓ Sécurité renforcée.

Tandis que les inconvénients sont :

- Révisions non nécessaires (l'entretien n'est pas fonction de l'état de la machine, mais plutôt de la durée d'utilisation) ;
- Remplacement de pièces en bon état ;
- Création de défauts lors des remontages (si les procédures ne sont pas claires et contrôlées).

#### **1.2.1.2.2 Maintenance préventive conditionnelle**

C'est un type de maintenance déclenché suite à un symptôme observable (température, vibration, jeu excessif, ...) permettant de prédire une défaillance prochaine. Il s'agit là d'intervenir juste avant que la panne ne survienne. La maintenance préventive conditionnelle est réalisée dès lors qu'une mesure dépasse une valeur précise (seuil) d'une grandeur physique (température, pression...).

La maintenance préventive conditionnelle s'adresse aux pièces des machines coûtant chers en remplacement et pouvant être surveillées par des méthodes non – destructives (vibration, huile, température, courant, etc.). Autrement dit, on ne change l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usure affectant les performances du fonctionnement. La maintenance préventive conditionnelle nécessite une équipe de maintenance de niveau technologique plus élevé formée en méthodes du diagnostic..

Les avantages de ce type de maintenance sont :

- Réduction de coût et de la durée de réparation par rapport à l'entretien préventif systématique;
- L'accroissement de la durée de vie des pièces par rapport à une politique de changement systématique ;
- Remplacement uniquement des pièces défectueuses ;
- Pas de catastrophes et sécurité accrue ;
- Planification optimisée des périodes de travail ;
- Meilleur rendement de la production.

Les outils ou bien les signaux qui peuvent être utilisés par la maintenance préventive conditionnelle sont :

- Mesure de température, thermographie infrarouge (lignage, roulements, paliers)
- Mesures de pression (paliers) ;
- Mesure de débit (paliers) ;
- Analyse d'huile (roulements, paliers, engrenages) ;
- Mesure de vibration (déséquilibre, lignage, roulements, paliers, engrenages, jeux, etc.) ;
- Mesure du courant statorique, du couple, de la vitesse ou de la puissance.

Enfin, la méthodologie suivie par la maintenance conditionnelle pour aboutir à ces objectifs est :

- ✓ Choisir un paramètre descriptif de l'évolution du défaut ;
- ✓ Suivre ce paramètre dans le temps (maintenance continue ou périodique.) ;
- ✓ Établir des seuils limites d'avertissement (pré-alarme.) à partir duquel on signalera l'existence d'un défaut ;
- ✓ Établir le diagnostic de défaut ;
- ✓ Prédire la date de bris ;
- ✓ Commander les pièces de rechange ;
- ✓ Déterminer la date d'entretien avant le bris.

D'après ces définitions, il apparaît donc que si un composant d'un système est jugé défaillant, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance corrective ; si celui-ci est jugé non défaillant mais en état dégradé, sa réparation ou son remplacement doit être considéré comme de la maintenance préventive [1].

### **1.2.3 La Surveillance**

C'est un ensemble des actions réalisées manuellement ou automatiquement, destinée à observer l'état d'un bien. La surveillance donne une réponse aux besoins d'information de la maintenance ; et elle sert d'une part à signaler les anomalies de fonctionnement et d'autre part, prendre en compte les actions destinées à maintenir l'opération des systèmes.

### **1.2.4 Le Diagnostic**

Le diagnostic fait partie de la maintenance. C'est un ensemble des actions consistent à identifier les causes probables de la défaillance. Les deux principales tâches de diagnostic sont : la détection et la localisation des défauts [2]. La détection consiste à signaler l'existence du défaut, tandis que la localisation a pour objet de trouver le type de défaut.

Aucun système industriel ni à l'abri des anomalies ou des perturbations accidentels, qui entraînent un mauvais fonctionnement. Trois types d'anomalies sont à considérer [2] :

- ◆ **Erreur** : tout écart entre la valeur mesurée et la valeur réelle ;
- ◆ **Défaut** : l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec des performances définies dans les spécifications techniques ;
- ◆ **Défaillance** : l'incapacité d'un dispositif à accomplir une fonction requise.

Alors, le diagnostic a pour objectif de détecter d'une manière précoce un défaut avant qu'il ne conduise à une défaillance totale dans l'installation industrielle. La procédure de diagnostic s'articule autour des étapes suivantes.

- L'extraction des informations issues de capteurs de la machine pour obtenir des indicateurs de défauts ;
- Les indicateurs de défauts doivent être évalués afin de produire des symptômes (ou indices) cette étape consiste à définir un seuil à partir duquel on déclarera l'existence du défaut ;
- La décision représente la dernière étape de la tâche de diagnostic. Il s'agit de déclarer l'élément défaillant à partir de la comparaison de la signature actuelle avec une référence. L'étape de la décision va nous permettre de différencier les défauts, c'est-à-dire, trouver la cause de l'anomalie.

### 1.3 Définition de la machine asynchrone

La machine asynchrone est une machine à courant alternatif qui ne possède pas de connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse du rotor est différente de la pulsation des courants du stator.

#### 1.3.1 Principe de fonctionnement

Pour appréhender le fonctionnement de la machine asynchrone, on considère l'expérience du flux coupé en fonctionnement générateur que l'on modifie de la façon suivante, cette fois les

conducteurs de longueur  $l$  sont fixés entre eux et court-circuités par des barres conductrices extrêmes formant ainsi un rail

En outre, le champ magnétique se déplace rapidement au dessus de cet ensemble.

D'après la loi du faraday, une tension est induite dans chaque conducteur coupé par le champ magnétique.

Une première conséquence apparait. Comme chaque conducteur est court circuité, un courant se met à circuler dans le conducteur qui est momentanément en dessous du champ magnétique (ou de l'aimant), comme ce courant traverse le champ magnétique, d'après la loi de Laplace, une force mécanique est appliquée sur ce conducteur. Cette force entraine le conducteur dans le sens de déplacement du champ magnétique. Si ces conducteurs sont mobiles, ces derniers accélèrent et à mesure qu'ils atteignent de la vitesse, la vitesse à laquelle le champ magnétique est coupé par ces conducteurs ralentit et la tension induite diminue, de même que le courant. Cet effet de la loi de Lenz a pour conséquence de diminuer la force de Laplace. Ainsi si les conducteurs se déplaçaient à la même vitesse que le champ magnétique, la tension induite, le courant et la force s'annuleraient. La vitesse du rotor est donc légèrement inférieure à la vitesse du champ magnétique. Dans une machine asynchrone à cage, le rail en dessus est recourbé pour former la cage d'écureuil et le déplacement du champ magnétique devient un champ tournant créé par trois bobines/enroulements au stator. Les bobinages au stator sont alimentés par un système triphasé de courant de même pulsation et engendrent des flux statoriques. De part le théorème de Ferraris, un champ magnétique tournant est créé dans l'entrefer (et se reboucle dans la carcasse du rotor et du stator). Sa vitesse encore appelée la vitesse du synchronisme est égale à la pulsation du système triphasé équilibré de courants qui parcourent ces enroulements, pour le stator de la machine asynchrone étudiée, le champ magnétique généré par le stator tourne de un tour par période des grandeurs électriques.

Comme expliqué précédemment, la vitesse de l'arbre de la machine est inférieure à la vitesse de synchronisme en régime établi, les conducteurs du rotor sont alors soumis à un champ magnétique variable qui tourne par rapport à eux-mêmes à une vitesse relative.

Les enroulements au stator étant en circuit fermés sur eux-mêmes pour les machines à cage, les forces électromotrices induites vont donner naissance dans le circuit rotorique fermé à des courants rotoriques de même pulsation. Ces courants créent à leur tour un champ magnétique rotorique qui tourne par rapport au rotor à la vitesse. Le champ magnétique généré par les enroulements du rotor et le champ magnétique généré par les enroulements du stator tournent donc à la même vitesse du synchronisme et s'associent pour créer «un champ magnétique

résultant» dans l'entrefer. Ainsi, les phénomènes physiques engendrés par le circuit statorique, y compris ceux induits par le circuit rotorique vont générer des grandeurs électriques au niveau du circuit statorique. Les grandeurs électriques propres au circuit rotorique seront toutes à la pulsation.

### 1.3.2 Éléments de constitution de la machine asynchrone

On se propose, dans cette partie, de donner quelques précisions sur les éléments de constitution des machines asynchrones. Cette description va nous permettre de comprendre de quelle façon le système est réalisé physiquement. Les machines asynchrones triphasées peuvent se décomposer, du point de vue mécanique, en trois parties distinctes (figure 1.1):

- *Le stator*, partie fixe de la machine où est connectée l'alimentation électrique.
- *Le rotor*, partie tournante qui permet de mettre en rotation la charge mécanique.
- *Les paliers*, partie mécanique qui permet la mise en rotation de l'arbre moteur.

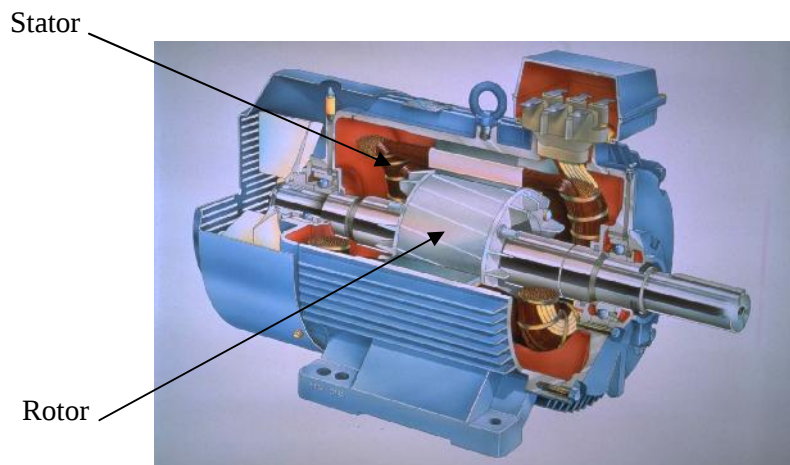


Figure 1.1: Structure de la machine asynchrone triphasée à cage.

#### 1.3.2.1 Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles 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. 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 manière imbriqués, ondulés 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 électriques 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 les différentes parties de constitution du stator d'une machine asynchrone. Nous pouvons visualiser la présence d'ailettes de ventilation assurant le refroidissement la machine lorsque celle-ci fonctionne en charge.

Figure d'un stator de la machine asynchrone (figure 1.2).



Figure 1.2: Stator d'une machine asynchrone.

### 1.3.2.1 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 de machines asynchrones peuvent être de deux types (figure 1.3) [1]:

- a. Les rotors bobinés sont construits de la même manière que le bobinage statorique (insertion des enroulements dans les encoches rotoriques). Les phases rotoriques sont alors disponibles grâce à un système de bagues-balais positionné sur l'arbre de la machine.

- b. 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 dit "de court-circuit", eux aussi fabriqués



Figure 1.3: rotor à cage d'écureuil et rotor bobiné.

### 1.3.2.3 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.

## 1.4 Défauts de la machine asynchrone triphasée

Le moteur asynchrone triphasé est maintenant largement utilisé dans des applications nécessitant une vitesse variable. Il peut faire appel à une multitude de commandes. Ces machines ont la réputation d'être robustes, et adaptées à des applications de large gamme de puissances. A cet effet, des études statistiques démontrent que certaines pannes sont plus fréquentes que d'autres, ce qui nous amène à axer notre étude sur les types de défauts les plus fréquents à savoir :

- ❖ Les défauts du stator résultant de la coupure ou du court-circuit d'une ou de plusieurs phases de l'enroulement statorique ;
- ❖ Les connexions anormales de l'enroulement statorique ;
- ❖ Les court-circuits dans l'enroulement rotorique ;
- ❖ Les défauts sur les roulements ;
- ❖ La cassure d'une barre du rotor ou le craquement de l'arbre de la machine ;
- ❖ Les irrégularités de l'entrefer;

- ❖ L'inclinaison de l'axe du rotor (pouvant résulter d'un frottement entre le rotor et le stator).

Le fonctionnement à vitesse variable de la machine asynchrone nécessite le contrôle de l'énergie par un convertisseur statique, et par un circuit de commande (qui est en général, boucle fermée). Par conséquent, on peut envisager d'autres types de défauts potentiels qui peuvent survenir sur la partie puissance et commande ; à savoir :

- La défaillance d'un bras d'onduleur: un des composants électroniques (transistor ou thyristor) est maintenu ouvert ;
- L'un des composants (Transistor ou Thyristor) est maintenu fermé;
- La défaillance d'un capteur: la valeur mesurée n'est pas transmise au circuit de commande (défaut sur la commande);
- La défaillance partielle du capteur de vitesse (offset sur le capteur).

Par ailleurs, Les défauts qui se produisent au niveau du stator et du rotor ont des effets importants sur les paramètres de la machine asynchrone: électriques (courant, couple, flux), mécaniques (vibration) et chimiques (modification de la composition de l'huile des paliers).

Par ailleurs, certaines études statistiques indiquent les quotes-parts des défauts qui se produisent au niveau de la machine asynchrone

Une autre étude statistique effectuée en 1988 par une compagnie allemande d'assurance de systèmes industriels sur les pannes des machines asynchrones de moyenne puissance (de 50 kW à 200 kW) a montré que 50% des défauts sont des défauts statoriques et seulement 22%

#### **1.4.1 Analyse statistique des origines des défauts statoriques et rotoriques**

Les origines des défaillances statoriques sont principalement dues à un problème : thermique (surcharge sur l'arbre du moteur); électrique (diélectrique, bobinage); environnemental (agression). Par ailleurs, pour le rotor, les effets sont essentiellement dus à un problème:

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

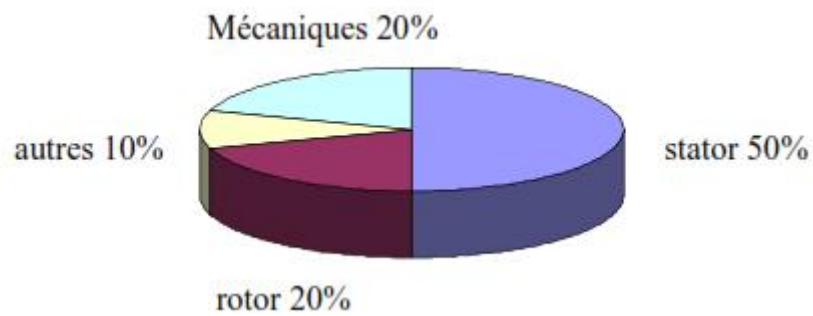


Figure 1.4: Défauts de la machine asynchrone en pourcentage [3].

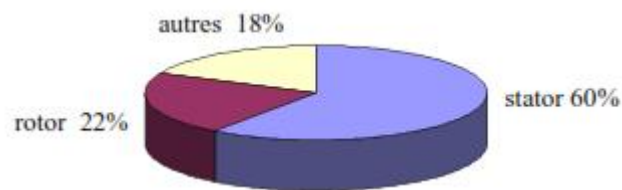


Figure 1.5: Répartition des types de défauts des machines asynchrones de moyenne puissance [3].

Le comportement de la machine asynchrone à rotor bobiné a des défauts suivants :

- ❖ Coupure d'une phase statorique;
- ❖ Coupure de deux phases statoriques;
- ❖ Coupure d'une phase rotorique;
- ❖ Coupure de deux phases rotoriques.

#### 1.4.2 Causes des défauts

La figure 1.6 présente les phénomènes à l'origine des défauts dans la machine, la principale source de défauts provient de la mécanique; la deuxième cause de défauts est la surchauffe du moteur qui accentue le vieillissement des composants; la troisième cause de défauts référencés est le claquage d'isolants conduisant à des courts-circuits.

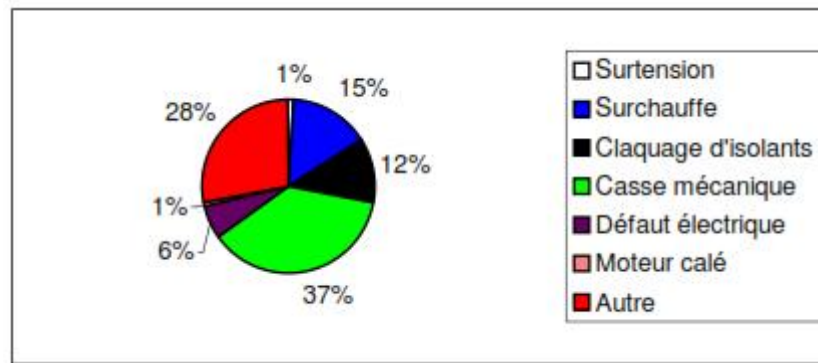


Figure 1.6: Répartition des causes des défauts pour une machine asynchrone [4].

La figure 1.7 précise les conditions qui aggravent le défaut: la première source d'aggravation provient de l'usure des éléments avec l'âge et la durée de service. Cette usure est renforcée par les différentes conditions de fonctionnement (surchauffe, humidité, exposition,...). En règle générale, toute différence par rapport au point de fonctionnement nominal contribue à aggraver le défaut naissant voir à le faciliter.

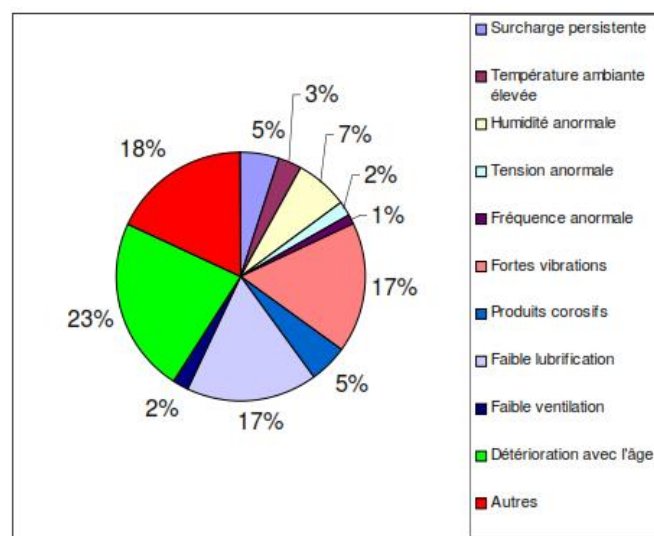


Figure 1.7: Facteurs aggravant le défaut [4].

### 1.4.3 Principaux défauts

Les principaux défauts pouvant se produire dans une machine à cage peuvent être classés comme suit:

- ✓ Défauts au stator résultant d'une ouverture ou d'un court-circuit sur au moins une phase du stator ;
- ✓ Connexion anormale des enroulements stator;

- ✓ Cassure de barre ou d'anneau de court-circuit au rotor;
- ✓ Excentricité dynamique ou statique;
- ✓ Axe plié (proche de l'excentricité dynamique) ;
- ✓ Roulements.

Une étude conduite pour IEEE [5] a établi une statistique des différents défauts pouvant se produire sur une machine électrique (figure 1.8).

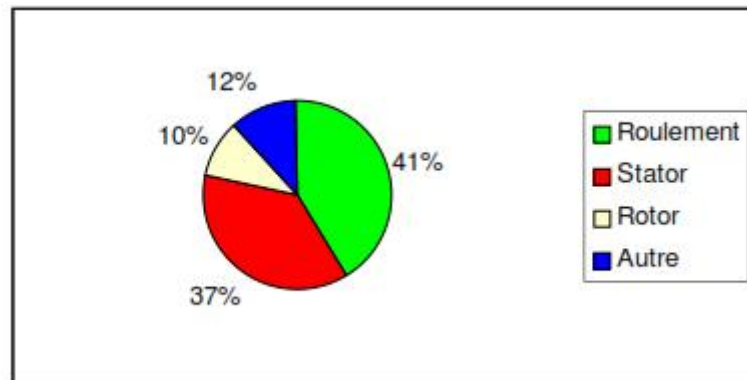


Figure 1.8: Répartition des défauts [4].

Ces statistiques ne sont pas détaillées par type de branches industrielles; au conséquent, elles peuvent avoir des significations différentes selon qu'on parle d'industries hydrocarbures ou cimentières ou autres.

#### 1.4.4 Défauts statoriques

La majeure partie des défauts au stator des machines asynchrones est due à des défauts d'isolement (Figure 1.9) [5].

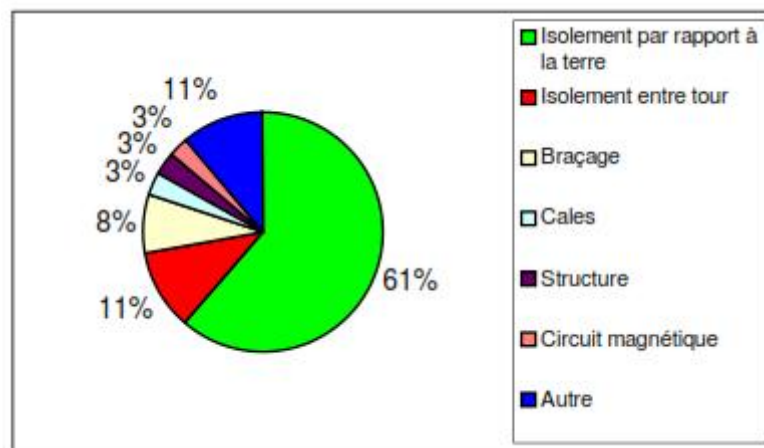


Figure 1.9: Répartition des défauts stator.

L'existence de courants de court-circuit, que ce soit entre phase ou par rapport à la terre, conduit à la destruction des couches de vernis protecteur des enroulements; par conséquent, la machine devient non équilibrée et change également de classe d'isolation.

#### 1.4.4.1 Défauts dans les enroulements statoriques

Un défaut de court circuit se schématise par la connexion franche entre deux points du bobinage. Un court circuit intervient généralement dans des bobines de phases différentes et dans les têtes de bobines puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de différentes phases se croisent.

Dans les enroulements statoriques, il peut y avoir cinq cas de défauts à savoir (figure 1.10):

- Court-circuit entre spires.
- Court-circuit à la tête de la bobine.
- Ouverture de la phase.
- Court-circuit phase à phase.
- Court-circuit phase- terre.

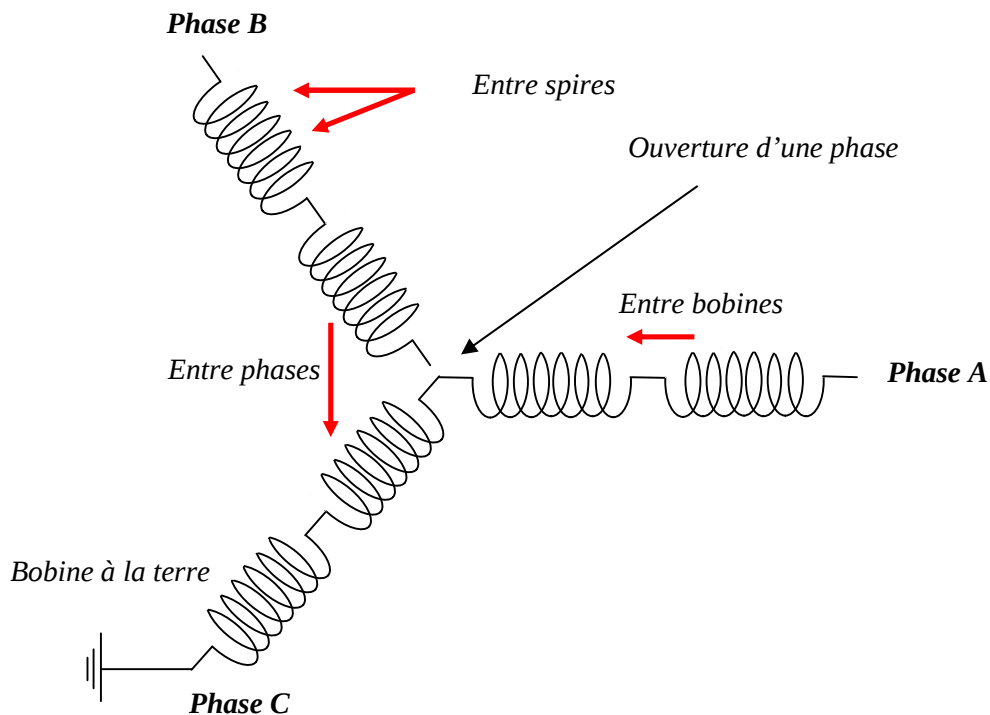


Figure 1.10: Représentation des différents défauts statoriques.

#### 1.4.4.2 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 mécanique, de température et de tension. Dans ce cas, un court-circuit peut apparaître dans l'enroulement concerné.

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 [6].

#### 1.4.4.3 Un court-circuit entre spires de la même phase

Le chauffage excessif provoqué par le court-circuit entre spires est la raison pour laquelle les moteurs tombent en panne presque toujours en quelques minutes, si ce n'est quelques secondes. Ainsi, chaque 10°C additionnel augmente la détérioration de l'enroulement deux fois plus rapidement que dans un fonctionnement à température normale. Le défaut de court-circuit entre spires de la même phase est assez fréquent dans la machine asynchrone, 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 aussi le facteur de puissance et amplifie les courants dans le circuit rotorique. Donc, la conséquence est une augmentation de la température au niveau du bobinage et, de ce fait, une dégradation accélérée des isolants, pouvant encourager l'apparition d'un 2<sup>ème</sup> court-circuit, alors un défaut en chaîne. 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 [6].

#### 1.4.4.4 Un court-circuit entre phases

Ce défaut peut arriver en tout point du bobinage, mais les plus fréquents apparaissent dans les têtes de bobines, puisque c'est dans celles-ci que les conducteurs de phases différentes se côtoient. L'influence de ce type de défaut sur le fonctionnement de la machine dépend de la localisation du défaut (de la partie affectée). Si le court-circuit est proche de l'alimentation entre phases, il induit des courants très élevés qui conduisent à la fusion des conducteurs d'alimentation ce qui provoque un arrêt net de la machine. Si le court-circuit est proche du neutre entre deux phases, il engendre un déséquilibre des courants de phases avec un risque moindre de fusion des conducteurs. L'apparition de ce type de défaut dans le cas des machines asynchrones, provoque une augmentation des courants dans les barres ainsi que dans les anneaux du rotor à cage [6].

#### 1.4.5 Défauts rotoriques

La majorité des défauts au rotor ont trait à la cage. La seconde source de défauts provient d'une déformation de l'axe du rotor (Figure 1.11) [5].

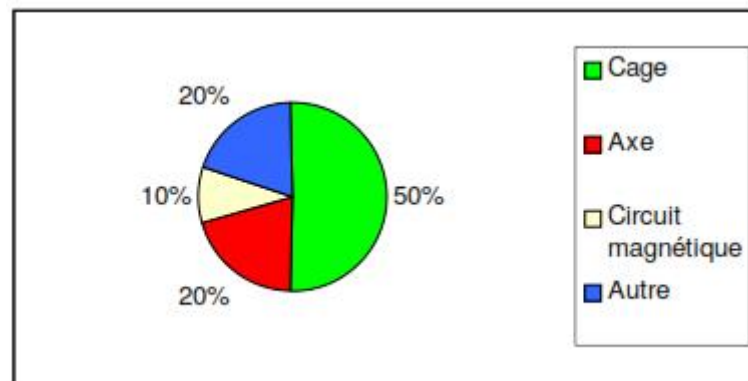


Figure 1.11: Répartition des défauts rotoriques

Ces deux défauts ont pour origine des contraintes de fonctionnement trop fortes sur la cage qui provoquent sa déformation. Ces défauts s'expliquent par les méthodes employées auparavant pour la construction de la cage; la part de celle-ci dans les défauts rotor et les défauts rotor eux-mêmes ont diminué.

- Coupure d'une phase rotorique;
- Coupure de deux phases rotoriques;
- Ouverture de la phase;

### 1.4.6 Défaillances du circuit magnétique

Les tôles du circuit magnétique sont feuilletées et isolées entre elles, cependant elles peuvent se retrouver court-circuitées. Les causes les plus fréquentes de défaut de circuit magnétiques sont généralement liées à un défaut sévère d'excentricité statique et/ou dynamique qui peut conduire à un contact front entre le stator et le rotor ce qui détruit le circuit magnétique, ou bien court-circuit des conducteurs qui peut également provoquer un échauffement local intense dans les tôles, ainsi la projection des corps étrangers dans l'entrefer peut entraîner l'abrasion des tôles et ainsi les court-circuitées [6].

### 1.5 Effet de court-circuit statorique dans une machine asynchrone triphasée

La vérification (pratiquement ou par simulation) de la machine asynchrone sous un défaut de court-circuit entre spires confirme le fait que la maille court-circuitée sera le siège d'un fort courant pouvant entraîner la fusion du fil et par conséquent, l'ouverture du circuit de la maille. S'il arrive que cet incident ne cause aucun dommage au reste du bobinage, la machine continue à fonctionner pendant un certain temps mais dans des conditions faisant que le courant de la phase objet du défaut sera plus intense. L'ensemble de système de courant sera déséquilibré avec d'avantage *de pulsations de vitesse et de couples*. Sans parler des conséquences de ce déséquilibre et de ce couple pulsatoire, cette situation favorisera en premier lieu *la détérioration totale du bobinage affecté* [7].

### 1.6 Conclusion

Ce premier chapitre présente les notions de bases de la surveillance et la maintenance, ainsi que le diagnostic. Ainsi nous avons présenté brièvement la construction de la machine asynchrone avant de présenter les différentes défaillances dans ce type de machine ainsi que les facteurs qui causent et amplifient la sévérité des défauts. Dans ce chapitre et d'après notre recherche basée sur des références qui ont réalisé récemment, on peut soulever les points suivants:

- ✓ *Parmi tous les défauts qui peuvent affecter la machine asynchrone, le défaut de court-circuit est le plus dangereux car ce défaut génère une série de défauts, ce qui cause la cessation du moteur.*
- ✓ *La dégradation des isolants est le facteur principal qui conduit à générer le défaut de court-circuit.*

# Chapitre 2

## *Défauts de court-circuit dans le transformateur*

## **Chapitre 2**

### **Défauts de court-circuit dans le transformateur**

#### **2.1 Introduction**

Le transformateur de puissance a un rôle très important dans les installations électriques, c'est le composant le plus critique et le plus cher des éléments du transport de l'énergie électrique [8]. Comme toutes les machines électriques, ce dispositif n'est jamais à l'abri de défaillance surtout au niveau du bobinage, dans ce chapitre nous montrons les défauts qui peuvent affecter le transformateur, ainsi que leurs causes et leurs conséquences, en mettant l'échelle sur le défaut de court-circuit.

#### **2.2 Définition**

Le transformateur est une machine électrique statique destinée à transformer une tension (courant) alternative en une tension (courant) alternative de même fréquence, et d'amplitudes généralement différentes afin de l'adapter aux différents besoins d'utilisations.

Comme on peut l'appeler convertisseur statique à induction qui comporte deux ou plusieurs enroulements fixes, inductivement couplés et destiné à la conversion, par l'intermédiaire de l'induction électromagnétique, des paramètres (tension, intensité de courant, fréquence, nombre de phases) de l'énergie électrique de courant alternatif.

Seuls les transformateurs de puissance permettent très économiquement de minimiser les pertes en ligne, en assurant le transport de l'énergie à longue distance sous tension élevée (200KV et 400KV et plus entre phases), puis d'abaisser en suite cette tension, étape par étape, pour alimenter les réseaux de distribution régionaux et locaux, jusqu'à la tension d'alimentation domestique [8] [9].

#### **2.3 Constitution générale d'un transformateur**

Le transformateur de puissance se compose essentiellement d'un circuit magnétique et circuit électrique.

##### **❖ Circuit magnétique**

Le noyau est composé d'un empilage de tôles ferromagnétiques haute perméabilité et à cristaux orientés isolées électriquement entre elles. Il doit être conçu de façon à réduire les pertes par courant de Foucault et par hystérésis qui se produisent lors de la variation

périodique du flux magnétique. On parvient à résoudre ce problème en prenant des mesures à savoir :

- Emploi d'acier magnétiquement doux ayant une petite surface du cycle d'hystérésis et de faible perte par hystérésis;
- Emploi d'aciers spéciaux présentant, grâce à des additifs, une résistivité élevée;
- Emploi de tôles dont l'épaisseur est choisie tel que les courants de Foucault soient pratiquement sans effet.

Suivant la forme du circuit magnétique, on distingue deux dispositions principales qui sont:

- Type cuirassé;
- Type à colonnes.

### ❖ **Circuit électrique**

Pour les transformateurs de basse tension et faible puissance, les enroulements primaire et secondaire sont constitués par des bobines en file de cuivre émaillé, chaque couche étant isolée de la suivante par du papier pour les appareils à haute tension et grande puissance les bobines, quelque fois fractionnées par des isolants tels que fibre, mica, etc.

On distingue trois dispositions principales des bobines sur les noyaux:

- ***Bobinage concentrique simple***

Le bobinage basse tension est enroulé sur le noyau et après isolement est recouvert par le bobinage haute tension

- ***Bobinage concentrique double***

La moitié du bobinage basse tension est enroulée sur le noyau et isolée puis on enroule le bobinage haut tension et enfin, on termine par deuxième moitié du bobinage basse tension. Autrement dit le bobinage haut tension est en sandwich entre les deux moitiés basses tensions

- ***Bobinage à galette***

Les bobinages hauts et bas sont fractionnés et constitués par des couronnes ou galettes qui sont enfilées alternativement sur les noyaux.

Parfois pour les transformateurs à forte intensité les bobinages sont calés à l'aide de ressorts permettant de légers déplacements dans le cas de fortes actions électrodynamiques.

### ❖ La cuve

La construction de la cuve du transformateur est liée aux calculs thermiques du transformateur.

Elle a pour rôles:

- Réservoir d'huile.
- Assurer la résistance au court-circuit (pour les transformateurs cuirassé uniquement).
- Maintenir à l'intérieur de la cuve la majorité du flux de fuite produit par le courant dans les enroulements.

Elle sert à la protection de la partie active du transformateur. Elle est ajourée pour permettre la circulation naturelle de l'air autour du transformateur.

Pour les transformateurs dont la puissance dépasse 25KVA, la surface lisse de la cuve devient insuffisante pour évacuer les pertes dans les conditions normales d'échauffement; il faut alors prévoir une cuve de surface ondulée.

## 2.4 Les contraintes

Un réseau électrique doit fournir une énergie avec une meilleure qualité possible, cette qualité se dégrade avec l'apparition des anomalies dont la durée peut conduire à des arrêts des fonctionnements prolongés.

### 2.4.1 Surtension

Les surtensions sont dangereuses dans un réseau de distribution car elles soumettent les isolants à des contraintes qui risquent de les détruire ou du moins de les vieillir.

Les surtensions peut être causées par:

- Contact avec une ligne de plus forte tension.
- Coupure brutale d'une ligne.
- Coups de foudre directs ou indirects.

*Les conséquences des surtensions sont:*

Dans le cas ou la surtension persiste, elle risque d'entraîner des surcharges dangereuses pour les récepteurs et même pour les générateurs.

En cas de claquage de l'isolant elles ont pour conséquence immédiate un court-circuit même s'il seulement d'un arc dans l'air, celui-ci persistes sur les réseaux de tension supérieure à quelque milliers Volts, même après disparition de la surtension.

On a alors le courant de suite qui ne sera coupé que par isolement de la ligne ou de l'appareil atteint.

Les surtensions de longue durée augmentent le courant magnétisant des transformateurs, d'autant plus que leur circuit magnétique est saturé.

### **2.4.2 Court- circuit**

Un court circuit est la disparition intempestive de l'isolement relatif de deux conducteurs de tensions différentes à la même source, sans interposition d'une impédance convenable.

***Le court-circuit peut être causé par:***

- -Installations intérieurs: frottement- écrasement- rupture de conducteur contact avec le conducteur voisin...
- Ligne aériennes coup de foudre balancement de conducteur chutés du branches...
- Lignes souterraine: mouvement de terrain - infiltration d'humidité – coup de pioche...
- Potes: avarie d'un appareil vieillissement, détérioration ou claquage des isolants.

*Les conséquences de surintensités sont*

La chaleur de l'arc ou celle dépensée dans le contact imprévu, peut faire fondre les métaux environnants, carboniser les isolants et même déclencher les incendie.

Les efforts électrodynamiques des courants de court circuit sont très dangereux, les enroulements des transformateurs sont véritablement secoués. Ils peuvent même causer un décalage de galettes.

L'échauffement de tous les conducteurs traversés par le courant de court-circuit est très important, il concentre ses effets sur les points faibles: bornes des transformateurs.

Les effets de la chute de tension, s'ils font courir moins de danger au matérielle, n'en sont pas moins gênants, la tension devient quasi-nulle au voisinage du court-circuit [9].

### **2.4.3 Surcharges**

Les surcharges sont dues essentiellement à une augmentation de la demande d'énergie, mais parfois aussi à un dimensionnement incorrect des équipements qui composent les installations électriques.

Les surcharges se caractérisent par des courants supérieurs aux courants maximums admissibles. Si ces courants se maintiennent trop longtemps ils peuvent d'une part

endommager les matières isolantes et d'autre part provoquer la rupture des conducteurs par suite de la dégradation de leur résistance mécanique [9].

*Les conséquences des surcharges sont:*

Un régime de charge d'un transformateur au-delà des valeurs de la plaque signalétique a les conséquences suivantes:

- Les températures des enroulements, des calages, des connexions, des isolants et de l'huile vont augmenter, et peuvent atteindre des niveaux inacceptables.
- L'induction magnétique du flux de fuite en dehors, du circuit magnétique augmente et provoque un accroissement de l'échauffement par courant de Foucault dans les parties métalliques embrassées par le flux de fuite.
- Comme la température varie, les taux d'humidité et teneur en gaz dans l'isolation et dans l'huile sont modifiés.
- Les traversées, les changeurs de prises, les connexions d'extrémités de câble et les transformateurs de courant sont également soumis à des contraintes plus élevées qui réduisent leurs marges de conception et d'application.

Par conséquent il y a un risque de défaillance prématurée lié à l'augmentation des courants et des températures. Ce risque peut être d'un caractère à court terme immédiat ou résulter de l'effet cumulatif du vieillissement thermique de l'isolation du transformateur sur de nombreuses années.

## **2.5 Les techniques de diagnostic**

L'utilisation des techniques de diagnostic, a une grande utilité car elle permet d'évaluer l'état de composants du transformateur et de programmer des activités préventives, de manière faciliter la programmation des travaux et réduire les temps d'indisponibilité.

Dans ce cadre, les actions de diagnostic effectuées par SONEGAS sur les transformateurs de puissance sont:

### **2.5.1 Défaillance du transformateur de puissance**

Les conséquences des défauts latents à l'intérieur du transformateur de puissance sont souvent remarquables, qui peuvent diminuer à la fois ses tenues: diélectriques, thermiques et mécaniques à des valeurs inadmissibles, au dessous des contraintes appliquées. Ceci peut progresser à un point où l'isolation ne peut résister face à ces surcharges provoquées par le courant de défaut ou de surtension (court circuit, vibrations, surcharges, décharges partielles,

foudre...). Ainsi, le diagnostic de ces défauts est étroitement lié à l'évaluation de l'état d'isolation solide et liquide.

### 2.5.2 Dégradation des isolants

Le vieillissement des isolants est le résultat d'une détérioration graduelle due à des réactions physico-chimiques affectant la tenue mécanique et diélectrique du système d'isolation. La détérioration du papier enrobant les spires des enroulements sont normalement touchées par la pyrolyse, l'oxydation et l'hydrolyse qui se produit dans les matériaux.

Par ailleurs, elles sont accélérées par toute augmentation de la température, de l'oxygène et du taux d'humidité [8] [10].

La dégradation chimique des papiers et des cartons se manifeste par l'affaiblissement des propriétés mécaniques de la cellulose. Cependant, bien que les pertes diélectriques tendent à augmenter, cependant, la rigidité diélectrique du papier n'est pas touchée de manière significative par ces détériorations. L'huile isolante est également altérée par la détérioration chimique. Elle s'oxyde, ce qui forme des composés acides et des boues.

Ceux-ci réduisent la rigidité diélectrique et affectent la capacité d'évacuation de chaleur du transformateur. Un certain nombre de facteurs, avec leur combinaison, accélèrent souvent ces détériorations, notamment :

- ❖ La chaleur;
- ❖ La présence des forces mécaniques;
- ❖ L'application d'une tension;
- ❖ La contamination.

Les vibrations, les efforts électrodynamiques causés par les courts-circuits et les courants d'appel, les chocs au cours du transport ainsi que les efforts résultant des variations des différents matériaux sont les principales contraintes mécaniques qui altèrent le papier et le carton. Si celles-ci sont suffisamment fortes, elles détruiront les matériaux isolants et entraîneront une défaillance diélectrique. En outre, les efforts de compression entraînent le tassement des isolants solides et par conséquent une prise de jeu de l'ensemble de l'assemblage et du serrage. Ceci rendra le transformateur plus vulnérable en cas de court-circuit. Les contraintes occasionnées par l'application d'un champ électrique provoquent également un vieillissement de l'isolation électrique. Sous l'action de ce champ, le matériau est le siège de décharges partielles qui conduisent à son érosion et affectent par conséquent sa rigidité diélectrique et sa tenue mécanique.

Cependant, dans les transformateurs modernes bien imprégnés, cet effet est très faible: en fonctionnement normal, les isolants sont soumis à des champs dont le niveau est inférieur au seuil d'apparition des décharges partielles. Enfin, le vieillissement peut être accéléré par la contamination de l'huile, les particules métalliques et conductrices, les fibres humides et les bulles de gaz présentes dans l'huile peuvent pénétrer dans des endroits où le champ électrique est élevé. De plus, la rigidité diélectrique de la cellulose peut diminuer en raison d'infiltration d'humidité.

### 2.5.3 Calcul du vieillissement

La durée de vie d'un transformateur dépend beaucoup d'événements exceptionnels, tels que les surtensions, les courts-circuits sur le réseau et les surcharges. En plus, des paramètres de fonctionnement normal, ils représentent autant de grandeurs susceptibles d'influencer le vieillissement des isolants. Le phénomène de vieillissement est complexe et difficile à modéliser. À ce jour, seule l'influence des contraintes thermiques sur l'évolution des propriétés mécaniques et chimiques fait l'objet d'un modèle mathématique.

En négligeant toutes les autres influences, sous l'effet de la température de l'huile, comme cela a été expliqué au paragraphe précédent, l'isolation subit une dégradation chimique. Après un certain temps d'exploitation, selon un certain critère retenu, l'isolation est affaiblie. La loi d'Arrhenius sur les réactions chimiques donne l'intervalle de temps pour atteindre ce point final:

$$\text{Durée de vie} = \alpha e^{(\beta/T)}$$

Où  $\alpha$  est la vie initiale,  $\beta$  est une constante dépendant des propriétés du matériau à étudier et  $T$  la température absolue en Kelvin (K).

Comme il est difficile de déterminer de manière univoque la fin de vie d'un transformateur du fait, aussi qu'elle est liée aussi à la vie du papier, la vitesse de vieillissement a été définie sur la base de la durée de vie selon Montsinger et la norme CEI :

$$\text{Vitesse de vieillissement } [\Delta\%] = 2^{\frac{\theta_{hs}-98}{6}}$$

$\theta_{hs}$ : Température du point chaud.

En pratique, un incrément de 6°C au delà de 98°C multiplie de deux fois la vitesse du vieillissement (cas du papier non amélioré thermiquement) [8] [9].

## 2.6 Modes De Défaillances

Un transformateur est constitué des sous-systèmes suivants:

- Le circuit électromagnétique.
- Le circuit de courant.
- Le système diélectrique.
- La structure mécanique.
- Le système de refroidissement.
- Traversés (Bushings).
- Régleur en charge (load tap changer) LTC.
- Préservation d'huile et système d'expansion.
- Système de protection.

Le modèle de vie du transformateur est basé sur le changement de son état avec le temps, ou une réduction superficielle ou sensible de sa tenue sous l'impact combiné des efforts: thermiques, électriques, électromagnétique, électrodynamique, associés aux diverses transformations et contaminations chimiques est enregistrée et marquée par les quatre principaux états du transformateur cités auparavant :

Le but principal de l'évaluation de la condition permet de donner une idée sur la criticité et le risque que le transformateur soit en train de subir d'un côté et de l'autre côté l'identification de l'anomalie, sa nature et sa gravité Il y a cependant des causes internes et externes de défaillance comme il est illustré brièvement ci dessous [9] [10]:

### **2.6.1 Mode de Défaillance Electrique**

La plupart de défauts électriques sont associés à la surchauffe des contacts, des joints et des connections, et peuvent être attribués aux problèmes de fiabilité au cours du processus de dégradation rapide.

Les défauts typiques qui affectent la fiabilité à court terme dans le circuit de courant

Sont:

- ❖ La surchauffe d'isolation des connexions et des conducteurs lors d'un court-circuit.
- ❖ La surchauffe des connexions de traversée BT avec menace d'un court circuit à la terre.
- ❖ La surchauffe des contacts (mobile et fixe) du régleur en charge lors d'un court-circuit entre les phases.

### 2.6.2 Courts circuits

Un court-circuit externe sur le transformateur cause souvent des dommages graves sur les enroulements. Le taux de défaillance en cas de court circuit est de 40% pour les transformateurs au-dessus de 100 MVA. Des courants répétés d'irruption, particulièrement dus à la commutation fréquente sur l'enroulement, sont également connus pour causer les efforts qui peuvent mener à la défaillance [8].

Des courts circuits répétés peuvent entraîner les effets suivants :

- Inclinaison ou enchevêtrement des conducteurs, ce qui réduit la rigidité diélectrique.
- Déplacement des enroulements, qui entrave la circulation d'huile dans les canaux de refroidissement.
- Déplacement de certaines pièces isolantes, ce qui peut nuire à l'écoulement de l'huile ou réduire la rigidité diélectrique.
- Pertes de serrage.
- Défaut entre spires causées par des enroulements décalés.

## 2.7 Conclusion

Le transformateur est une machine électrique dominante pour le transport de l'énergie électrique, cette machine peut avoir des anomalies causées par plusieurs facteurs. Dans ce chapitre nous avons présenté les composants de base d'un transformateur de puissance, ainsi que leurs défaillances. Nous avons trouvé que le défaut de court-circuit est le plus fréquent pour ce type de machine, qui est causé généralement par une dégradation des isolants.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Le diagnostic et la détection de défauts à ce jour beaucoup joue un rôle très importants dans le domaine d'électricité et surtout l'électricité industriel.

La machine asynchrone triphasée ou bien le transformateur de puissance ne sont jamais à l'abri de défaut. Et comme le bobinage électrique constitue une grande partie de ces deux machines il est très affecté par le défaut de court-circuit.

D'après notre travail on peut facilement considérer que le défaut de court-circuit soit pour la machine asynchrone triphasée ou bien le transformateur puisque ce type de défaut génère une chaîne de court-circuit et entraîne par conséquent la cessation de la machine.

Aussi d'après ce travail on peut conclure que la principale cause de défaut de court-circuit est la dégradation des isolants. La dégradation peut venir d'un vieillissement naturel de l'isolant ou bien par des contraintes thermiques qui sont encore causés par la surcharge ou surtension. D'autre côté les causes environnementale influent fortement sur la dégradation des isolants comme la température ambiante ou humidité.

## Références bibliographiques

- [1] A. Abed, "*Contribution à l'Etude et au Diagnostic de la Machine Asynchrone*", Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-1, France, Mars 2002.
- [2] M. Sahraoui, "*Etude Comparative des Méthodes de Diagnostic des Machines Asynchrones*", Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Algérie, 2010.
- [3] Allianz, "*Présentation des Avaries. Machines Electriques Tournantes*", Cahier des préventions, CP2, 1988.
- [4] T. Boumegoura, "*Recherche de Signature Electromagnétique des Défauts dans une Machine Asynchrone et Synthèse d'Observateurs en vue du Diagnostic*", Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon, France, 2001.
- [5] A. Lebaroud, "*Modélisation et techniques orientées vers le diagnostic de la machine asynchrone associée à des sources variables*", Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2006.
- [6] B. Vaseghi, "*Contribution à l'Etude des Machines Electriques en Présence de Défaut Entre-Spires Modélisation-Réduction du Courant de Défaut*", Thèse de Doctorat, Université de Nancy, France, 2009.
- [7] A. Ghoggal, "*Contribution à la Modélisation de la Machine Asynchrone Triphasée Dédiée au Diagnostic*", Thèse de Doctorat, Université Mohammed Khider, Biskra, Algérie, 2010.
- [8] N. Mezari, "*Diagnostic Des Transformateurs De Puissance* " Mémoire de Magister, Université de Tizi-ouzou, Algérie, 2010.
- [9] L. Bouchaoui, "*Diagnostic Des Transformateurs De Puissance Par La Méthode D'analyse Des Gas Dissous: Application Des Réseaux De Neurones*" Mémoire de Magister, Université de Sétif, Algérie, 2010.
- [10] M. Bélanger "*Transformateur de Puissance à l'huile Minérale*" Recherche du Dysfonctionnement Méthodologie de l'entretien Expertise, Seidel, Janvier 2002.