

I.1.Introduction

Le diagnostic de défauts des machines électriques a bénéficié d'un intérêt intense de recherche. La surveillance des machines électriques, pour le diagnostic et la prévision de pannes, a suscité de nombreux travaux ces dernières années, à cause de son influence considérable sur la continuité opérationnelle de nombreux processus industriels [3].

Un bon diagnostic et une détection précoce de défauts permettent de minimiser le temps d'arrêt ainsi que le temps de maintenance du processus en question. Ils permettent aussi d'éviter les conséquences nuisibles, parfois dévastatrices, des défauts ainsi que de réduire les pertes financières.

De nombreux types de défauts touchent les machines électriques et les systèmes d'entraînement. Ces défauts ont influence négative sur le fonctionnement et le rendement des machines. Au cours de ce chapitre, on va définir les machines électriques ainsi leur classification et connaître les divers défauts survenus dans ces dernières.

I.2. Définition d'une machine électrique

Une machine électrique est un dispositif électromécanique basé sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique par exemple en travail ou énergie mécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

_ Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont communément appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.

_ Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont communément appelées des moteurs.

Cependant, toutes les machines électriques étant réversibles et susceptibles de se comporter soit en « moteur » soit en « générateur » dans les quatre quadrants du plan couple vitesse la distinction moteur/générateur se fait « communément » par rapport à l'usage final de la machine.

Les moteurs rotatifs produisent une énergie correspondant au produit d'un couple par un déplacement angulaire (rotation) tandis que les moteurs linéaires produisent une énergie correspondant au produit d'une force par un déplacement linéaire.

En dehors des machines électriques fonctionnant grâce à l'électromagnétisme il existe aussi des machines électrostatiques et d'autres utilisant l'effet piézoélectrique.

Les transformateurs sont aussi classifiés comme des machines électriques. Ils permettent de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme [4-5].

I.3. Classification d'une machine électrique

Les machines électriques sont classées comme suit :

I.3.1. Machine à courant continu

Comme toutes les machines tournantes, les machines électriques à courant continu sont constituées d'un stator(inducteur) et d'un rotor(induit) , Le stator crée une magnétisation longitudinale fixe à l'aide d'enroulements (inducteur) ou d'aimants permanents. Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif. Le collecteur rotatif permet de maintenir fixe la direction transversale de magnétisation du rotor lorsque celui-ci tourne. Grâce à ce dispositif, les magnétisations, rotorique et statorique, sont toujours décalées de façon optimale(en quadrature) Ce décalage provoque un couple selon la loi du flux maximum (un pôle nord attire un pôle sud), provoquant ainsi la rotation du rotor.

L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation.

Le défaut principal de la machine à courant continu réside dans l'ensemble balais/ collecteur rotatif qui se dégrade, est complexe à réaliser et consomme de l'énergie. Un autre problème

limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné c'est le phénomène de « défretage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires (le fretage). Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer au rotor, comme les moteurs « disques » ou les moteurs « cloches », qui néanmoins possèdent toujours des balais. Les inconvénients ci-dessus ont été radicalement éliminés grâce à la technologie du moteur brushless, aussi dénommé « moteur à courant continu sans balais », ou moteur sans balais [4-5].

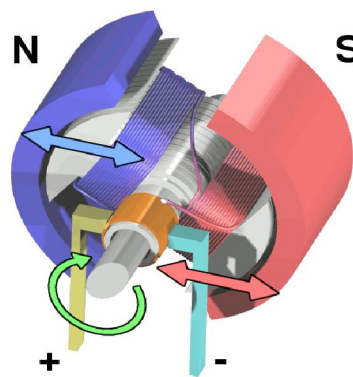


Figure I.1: Description de la machine à courant continu

I.3.2. Les moteurs sans balais

Un moteur sans balais, ou moteur « brushless », est un moteur synchrone, dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et pourvu d'origine d'un capteur de position rotorique.

Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation Brushless vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun balai. Par contre un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques. Ce dispositif peut être soit intégré au moteur, pour les petites puissances, soit extérieur. Le rôle de l'ensemble capteur-électronique de commande est d'assurer l'autopilotage du moteur c'est-à-dire le maintien de l'orthogonalité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique, rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu. Les moteurs brushless équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD de nos ordinateurs. Ils sont également très utilisés en modélisme pour faire se mouvoir des modèles réduits d'avions, d'hélicoptères et de voitures ainsi que dans l'industrie, en particulier dans les servomécanismes des machines-outils et en robotique [6].

I.3.3. Machines à courant alternatif

Pour les applications de faible et moyenne puissance (jusqu'à quelques kilowatts), le réseau monophasé standard suffit. Pour des applications de forte puissance, les moteurs à courant alternatif sont généralement alimentés par une source de courants polyphasés. Le système le

plus fréquemment utilisé est alors le triphasé (phases décalées de 120°) utilisé par les distributeurs d'électricité. Ces moteurs alternatifs se déclinent en trois types :

- _ Les moteurs universels .
- _ Les moteurs asynchrones .
- _ Les moteurs synchrones.

Ces deux dernières machines ne diffèrent que par leur rotor indifféremment en courant continu ou en courant alternatif, d'où son nom. Pour limiter les courants de Foucault qui apparaissent systématiquement dans toutes les zones métalliques massives soumises à des champs magnétiques alternatifs, son stator et son rotor sont feuilletés.

Dans la pratique, ces moteurs ont un mauvais rendement, mais un coût de fabrication très réduit. Leur couple est faible, mais leur vitesse de rotation est importante. Quand ils sont utilisés dans des dispositifs exigeant un couple important, ils sont associés à un réducteur mécanique. Ils sont principalement utilisés dans l'électroménager, par exemple les aspirateurs, l'outillage électroportatif de faible puissance (jusqu'à environ 1200 W) et de nombreuses applications domestiques. On règle facilement leur vitesse de rotation avec des dispositifs électroniques peu coûteux tels que les gradateurs [7].

a- Les machines synchrones

La machine synchrone est souvent utilisée comme génératrice. On l'appelle alors « alternateur ». Mis à part pour la réalisation de groupe électrogène de faible puissance, cette machine est généralement triphasée. Pour la production d'électricité, les centrales électriques utilisent des alternateurs dont les puissances peuvent avoisiner les 1500 MW. Comme le nom l'indique, la vitesse de rotation de ces machines est toujours proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. Ce type de machine peut être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation. On appelle celle-ci un « compensateur synchrone ».

Les machines synchrones sont également utilisées dans les systèmes de traction (tel le TGV), dans ce cas elles sont souvent associées à des onduleurs de courants, ce qui permet de contrôler le couple moteur avec un minimum de courant. On parle « autopilotage » [5].

b- Les machines asynchrones

La machine asynchrone, connue également sous le terme d'origine anglo-saxonne de « machine à induction », est une machine à courant alternatif sans alimentation électrique du rotor. Le terme anglais provient des courants induits dans le rotor par induction électromagnétique. Le terme « asynchrone » provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément synchronisée avec la fréquence des courants qui les traversent.

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), de l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager, ...etc. Elles étaient à l'origine uniquement utilisées en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, elles sont de plus en plus souvent utilisées en génératrice. C'est par exemple le cas

dans les éoliennes. Pour fonctionner en monophasé, ces machines nécessitent un système de démarrage, condensateur en série sur l'un des enroulements (P max. 6 kW) ou bague de démarrage (P max. 400 W). Les moteurs à bague de démarrage sont employés dans les hottes aspirantes, pompes de vidange de machine à laver et ventilateurs car le couple de démarrage est extrêmement faible. Pour les applications de puissance, au-delà de 6 kilowatts, les moteurs asynchrones sont uniquement alimentés par des systèmes de courants triphasés [7].

I.3.4. Les machines auto synchrones

Ce sont des machines synchrones dont le démarrage se fait en asynchrone et lorsque la fréquence de rotation est proche du synchronisme, le rotor s'accroche au champ statorique en se synchronisant sur la vitesse du champ magnétique. L'autopilotage (contrôle de la fréquence statorique en fonction de la vitesse rotorique) tend à faire disparaître cette technologie [7].

I.3.5. Moteurs pas à pas

Un autre genre de moteur électrique est le moteur pas à pas. Un rotor interne contenant des aimants permanents est déplacé par un ensemble d'électroaimants placés dans le stator commutés par une électronique de puissance. L'alimentation ou non de chacun définit une position angulaire différente (l'enchaînement permet le mouvement). Les moteurs pas à pas simples ont un nombre limité de positions, mais les moteurs pas à pas à commande proportionnelle (alimentation variable des bobines) peuvent être extrêmement précis. On parle alors de « micro pas » puisque le moteur peut s'équilibrer entre deux pas. Ces moteurs commandés par une électronique numérique sont une des formes les plus souples des systèmes de positionnement, en particulier dans les organes servocommandes numériquement: exemple, les moteurs de positionnement des têtes de lecture/écriture des disques durs d'ordinateur ont longtemps été positionnés par ce type de moteur, désormais trop lents pour cette application, ils ont été remplacés par des moteurs linéaires à impulsion beaucoup plus rapides [8].



Figure I.2: Deux moteurs pas à pas [8]

I.3.6.Moteurs linéaires

Un moteur linéaire est essentiellement un moteur asynchrone dont le rotor a été « déroulé » de sorte qu'au lieu de produire une force de rotation par un champ électromagnétique tournant, il produise une force linéaire sur sa longueur en installant un champ électromagnétique de déplacement [8].

I.4. La nature des défauts

Les défauts des entraînements électriques se divisent en deux parties: les défauts qui se produisent dans la machine électrique (défauts des roulements, inclinaison de l'axe ..etc.)et les défauts qui produisent dans la chaîne d'entraînement à l'extérieur de la machine électrique [9].

I.5. Les causes des défauts

De nombreuses défaillances peuvent apparaître sur les machines électrique . Elles peuvent être électriques, mécaniques ou magnétiques. Leurs causes, très variées, elle sont classées en trois groupes:

✚ Les initiateurs de défauts (les générateurs de pannes): surchauffe du moteur, défaut électrique (court-circuit), problèmes mécaniques, rupture de fixations, problème d'isolation, survolage 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 [9].

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

- Efforts thermiques (vieillesse, surcharge, cycle de démarrage fréquent et coupures).
- Efforts mécaniques (mouvement d'enroulement et excentricité du rotor).
- Efforts électriques (diélectrique, surtension et l'effet de couronne) [9].

I.6.Les types des défauts

Généralement, il existe plusieurs types des défauts tels que :

I.6.1.Déséquilibre massique des rotors. Balourds

Le balourd est la principale cause des problèmes de vibrations. Il s'agit d'un déséquilibre qui se produit lorsque l'axe des centres de gravité du rotor ne coïncide pas avec l'axe de rotation.

L'axe des centres de gravité est défini comme une ligne joignant les centres de gravité de tranches minces fictives dont l'alignement formerait le rotor. La figure (I.3) illustre un quelques causes de balourd dans un rotor. En réalité, l'axe des centres de gravité a plutôt la forme d'un serpent enroulé autour de l'axe de rotation [10].

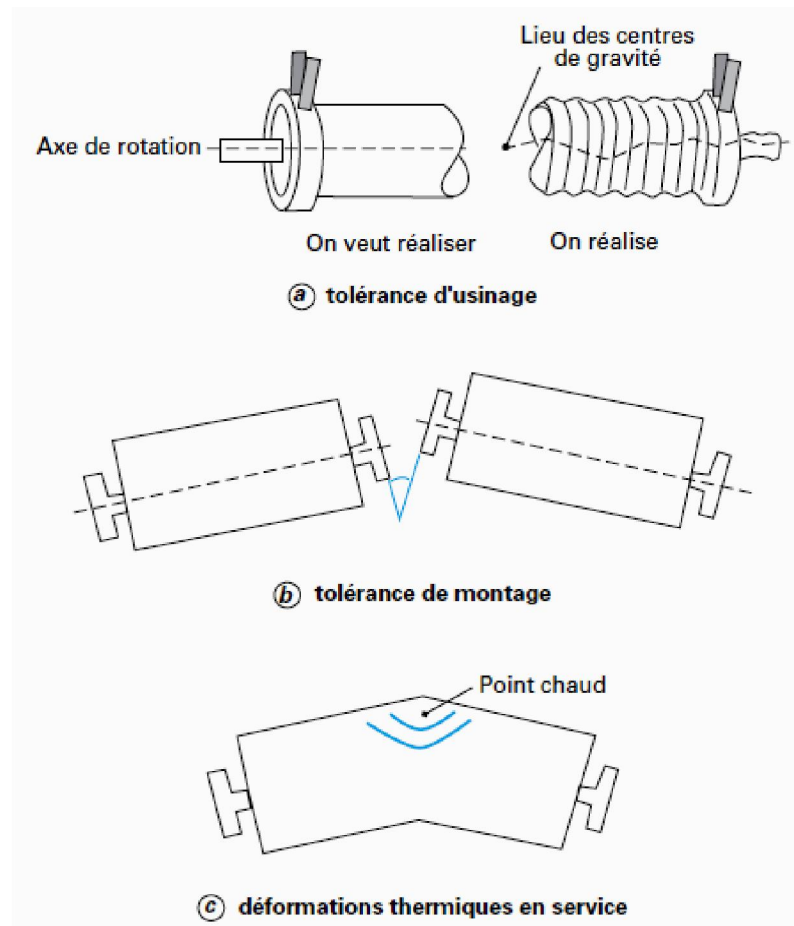


Figure I.3: Quelques causes de déséquilibres (ou balourds)

La cause la plus commune des modifications temporaires du balourd est l'arcure transitoire du rotor sous l'effet des contraintes thermiques qui sont générées lorsqu'un côté de l'arbre est plus chaud que le côté opposé. On peut designer :

a-Déséquilibre statique

Ce déséquilibre agit aussi s'il n'y a pas de rotation, on l'appelle alors "déséquilibre statique". Il provoque un déplacement du centre de la masse en dehors du plan géométrique, durant son utilisation, le rotor oscille parallèlement à son axe de rotation [10].

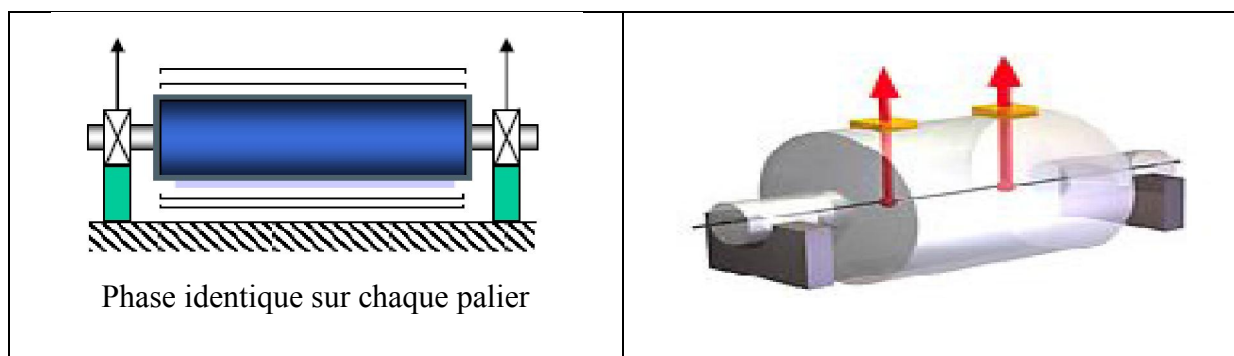


Figure I.4: Déséquilibre statique

b-Déséquilibres de couple

Cette répartition du déséquilibre ne peut plus être déterminée par oscillation, car le rotor n'accepte plus aucune position stable. Le rotor tourne, ce qui donne un mouvement de saut autour de son axe (verticalement par rapport à l'axe de rotation), car les deux déséquilibres déclenchent un couple. Par conséquent, cette sorte de répartition du déséquilibre est indiquée comme un déséquilibre de couple [10].

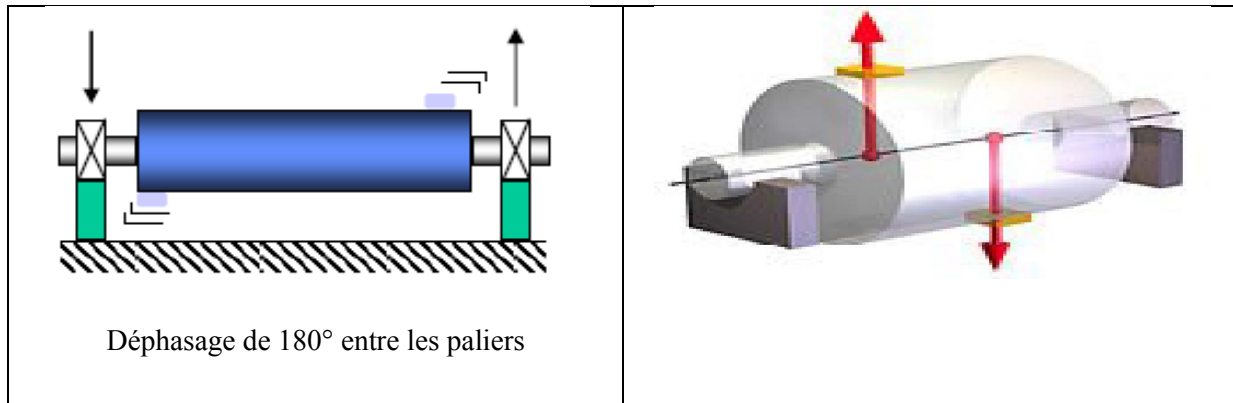


Figure I.5: Déséquilibres de couple

c- Déséquilibres dynamiques

Le rotor réel possède non seulement un déséquilibre indépendant, mais théoriquement plusieurs autres qui sont répartis arbitrairement le long de l'axe de rotation. Ceux-ci peuvent être remplacés par deux déséquilibres résultants (comme ici, représentés par les flèches) dans deux plans quelconques qui ont en général des intensités diverses et des positions angulaires différentes. Puisque ce non-état d'équilibrage ne peut être établi complètement que pendant la rotation, on parle d'un déséquilibre dynamique. Il peut se décomposer en un déséquilibre statique et un déséquilibre de couple. Pour corriger complètement le déséquilibre dynamique, il est nécessaire d'avoir deux plans de compensation. Le déséquilibre dynamique se produit pratiquement sur tous les rotors. C'est pourquoi, on emploie, pour effectuer l'équilibrage, des machines à équilibrer verticales aussi bien qu'horizontales [10].

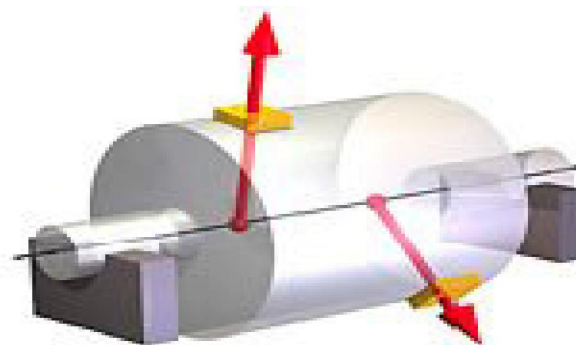


Figure I.6: Les déséquilibres dynamiques

On peut conclure que les origines de différents types de balourds sont:

-Balourd d'origine mécanique

Lorsqu'il y a une masse de matière qui se détache du rotor ou vient se déposer sur ce dernier (perte d'ailette ou rupture d'une aube, érosion ou dépôt de matière, fluage du rotor), on observe généralement une évolution instantanée des vibrations [8].

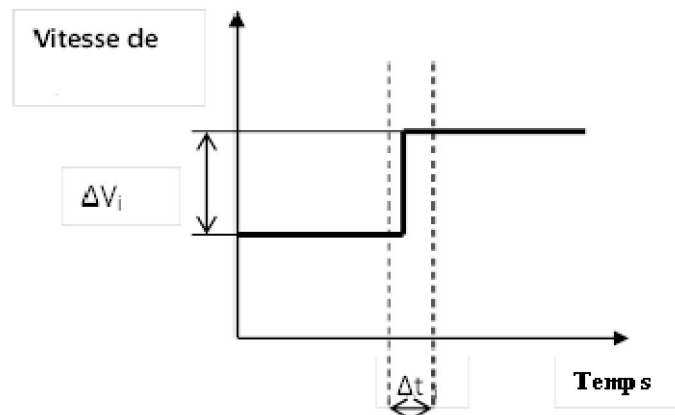


Figure I.7 : Evolution brutale de la vibration du balourd

- Balourd d'origine thermique

Lorsque les rotors ne sont pas homogènes, ou lorsque la température n'est pas répartie de façon uniforme, les rotors se déforment sous l'effet de contraintes thermiques (Perte d'ailette, Déformation des rotors de turbine,..etc.) . S'ils se déforment de façon dissymétrique, les centres de gravité se déplacent et les efforts varient. Le critère de diagnostic repose alors sur la corrélation entre les variations de température et l'évolution des vibrations. La rapidité de l'évolution renseignera sur l'origine du défaut.

-Balourd évolutif (Balourd créé par l'échauffement):

Si au passage par un orifice (palier, joint d'étanchéité par exemple) l'arbre s'échauffe de manière dissymétrique, soit parce qu'il frotte, soit parce que le brassage d'huile provoque un échauffement plus intense d'un côté de l'arbre que de l'autre, si de plus, la déformation de l'arbre qui résulte de cet échauffement déplace à son tour le point chaud (vibration maximum décalée par rapport au point chaud qui lui donne naissance) alors, toutes les conditions sont réunies pour amorcer un phénomène de variations cycliques du déséquilibre [10].

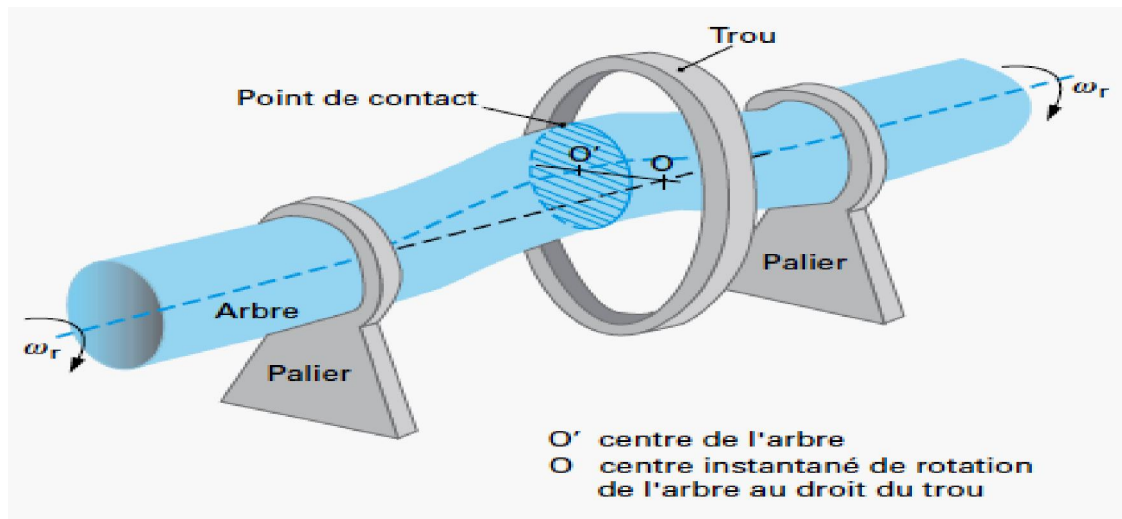


Figure I.8 : Phénomènes de frottement-échauffement (rotor / parties fixes)

Toute machine, même de conception et de réalisation très soignées, présente malgré tout un déséquilibre résiduel (acceptable ou non). Ce déséquilibre induit un effort circulaire qui se confond avec la rotation. L'image vibratoire sera donc constituée d'une composante d'amplitude prépondérante à la fréquence de rotation du rotor, la figure(I.9) représente une présentation spectrale d'un défaut de balourd.

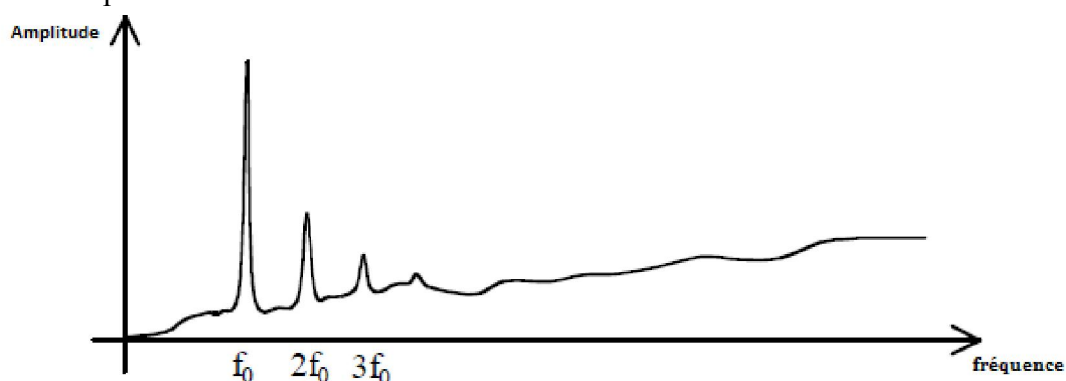


figure I.9: Représentation spectrale d'un défaut de balourd

I.6.2.Cambrure et fléchissement

Le balourd et le désalignement peuvent varier sous l'effet de certaines déformations de l'arbre appelées cambrure et fléchissement. Ces déformations sont plus prononcées lorsque l'arbre est long comme c'est le cas dans les groupes turbogénérateurs à vapeur.

La cambrure est une courbure du rotor vers le haut qui se produit lorsque la partie supérieure de l'arbre est plus chaude que la partie inférieure.

Cette différence de température est due à la couche thermique du liquide autour de l'arbre ,

Le liquide plus froid, et par conséquent plus lourd, descend à la partie inférieure et le liquide plus chaud, donc plus léger, monte à la partie supérieure.

C'est ce qui arrive lorsque la machine se refroidit ou se réchauffe. Par exemple, la cambrure du rotor se produit dans une pompe à eau chaude après son déclenchement ou lorsque la vapeur est introduite dans les presse-garnitures d'une turbine pendant que le rotor est immobile [10].

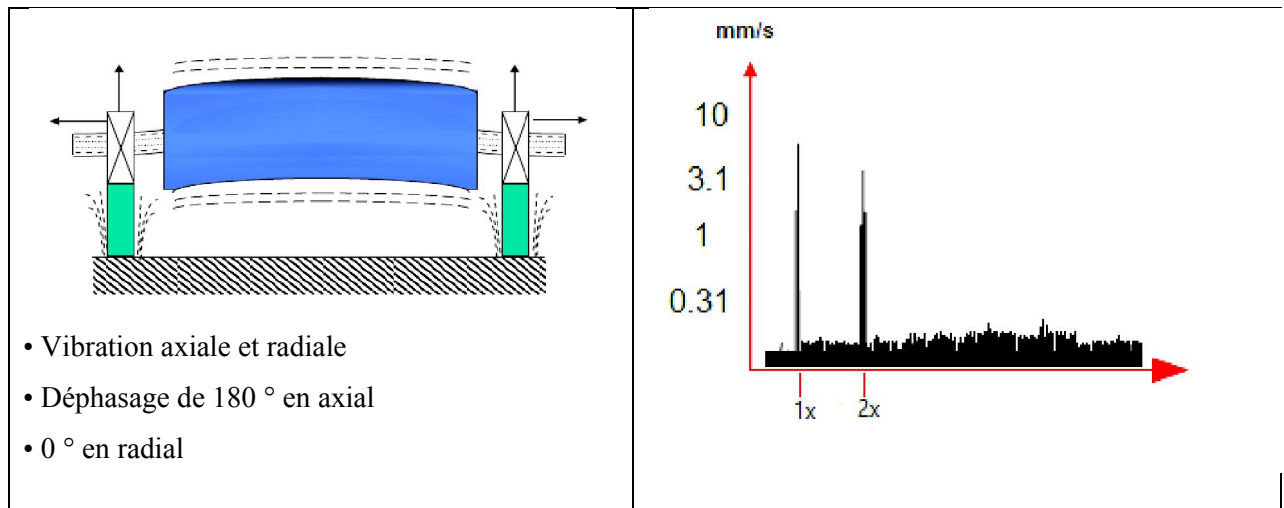


Figure I.10 : Défaut de cambrure et fléchissement d'arbre

I.6.3. Désalignement angulaire

Le désalignement angulaire survient lorsque les axes des arbres se croisent. La vibration est radiale et axiale. Un arbre courbé se comporte de façon identique. Lorsque le désalignement angulaire est critique, l'amplitude de la vibration axiale est supérieure à l'amplitude de la vibration radiale [10].

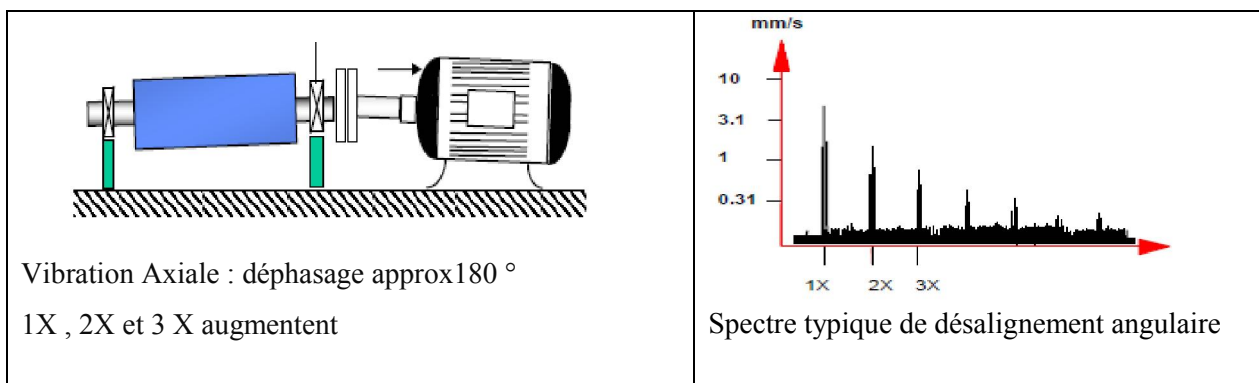


Figure I.11: Désalignement angulaire

I.6.4. Désalignement parallèle

Lorsque les lignes médianes des arbres sont montées parallèle sans se rencontrer, on a un désalignement parallèle. Si l'amplitude de la vibration dans la direction radiale aux harmoniques $2x$, $3x$ et $4x$ est supérieure à l'amplitude de la vibration à $1x$, le désalignement parallèle est sévère.

Si on détecte une vibration à l'harmonique $5x$, alors le problème n'est pas le lignage, mais plutôt un choc périodique [10].

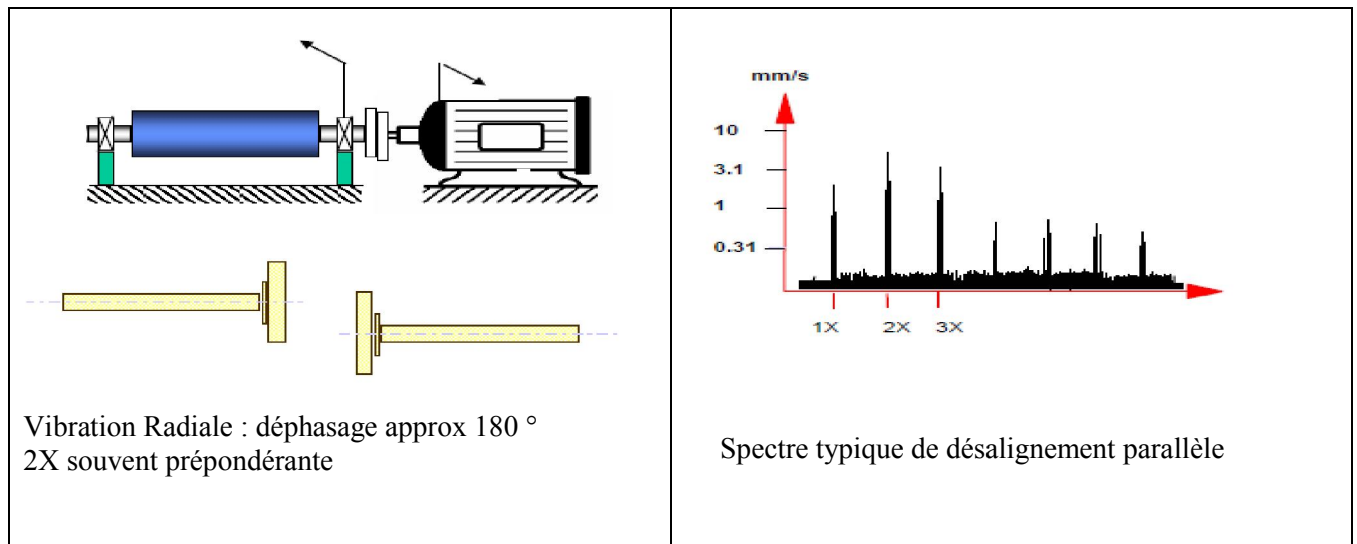


Figure I.12: Désalignement parallèle

I.6.5. Défauts des roulements

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage)...etc. [10].

Tous ces défauts ont un point commun : ils se traduisent tôt ou tard par une perte de fragments de métal. Ce défaut consécutif de la destruction est l'écaillage. Il se traduit par des chocs répétés des billes sur la cage de roulement.

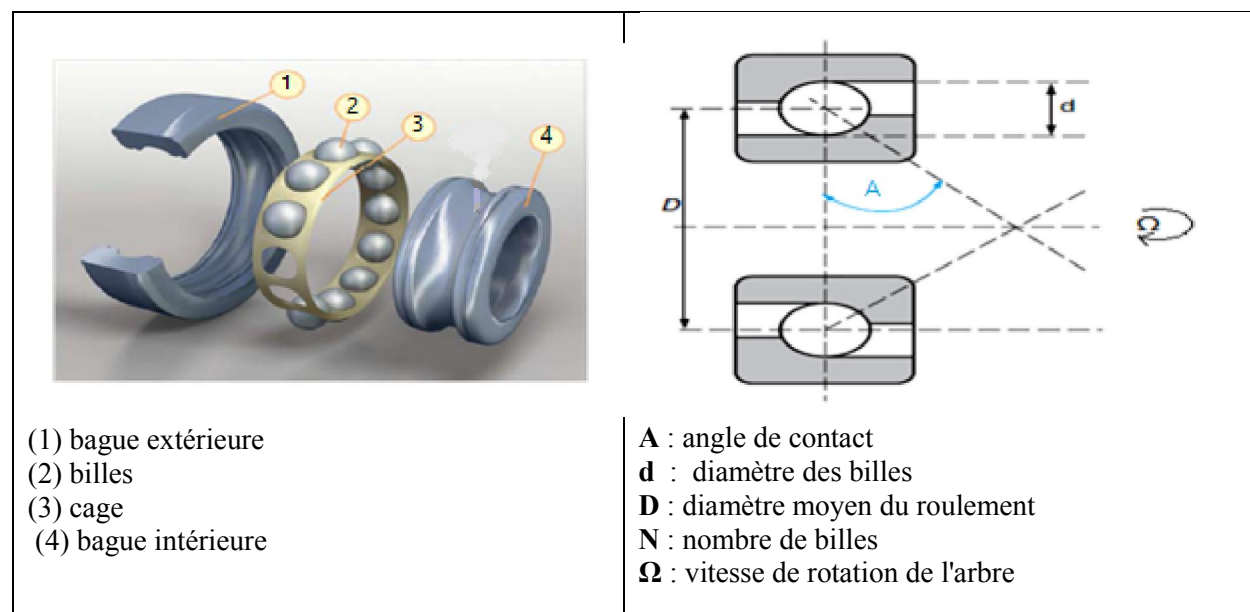


Figure I.13: Principaux éléments d'un roulement à billes

Les fréquences théoriques liées aux défauts sur chaque élément tournant s'écrivent :

I.6.5.1. Défaut sur la bague extérieure

Ce type de défaut est présenté par la figure (I.13) et la fréquence de défaut de la bague extérieure est donnée par la formule suivante :

$$f_{ORBP} = \frac{N\Omega}{120} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha\right) \quad (II-01)$$



Figure I.14 : Défaut sur la bague extérieure

I.6.5.2. Défaut sur la bague intérieure

Le défaut sur la bague intérieure est montré sur la figure (I.14) et la fréquence de ce type de défaut est exprimée par la relation suivante :

$$f_{IRBP} = \frac{N\Omega}{120} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha\right) \quad (II-02)$$



Figure I.15 : Défaut sur la bague intérieure

I.6.5.3. Défaut sur la cage

La figure (I.15) présente le défaut sur la cage et la fréquence de ce défaut est donnée par la relation suivante :

$$f_{FTF} = \frac{\Omega}{120} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha\right) \quad (II-03)$$



Figure I.16 : Défaut sur la cage

I.6.5.4. Défaut sur la bille

On peut exprimer la fréquence de défaut sur la bille par la formule ci-dessous et la figure (I.16) représente ce type de défaut.

$$f_{BSF} = \frac{D\Omega}{120d} (1 - (\frac{d}{D} \cos \alpha)^2) \quad (II-04)$$



Figure I.17: Défaut sur la bille

I.6.5.5. Durée de vie d'un roulement

L'équation ci-dessous illustre la durée de vie d'un roulement

$$L_h = \frac{(\frac{C}{P})^3 10^6}{6 \alpha N} \quad (II-05)$$

Avec:

P : charge dynamique équivalente

C : charge dynamique de base en (N)

N : vitesse de rotation en tr/m

Pour assurer une durée de vie optimale, les bagues d'un roulement doivent être parfaitement alignées, c'est-à-dire que l'angle formé par les axes des bagues intérieure et extérieure doit être nul. En pratique, il existe toujours un certain défaut d'alignement entre l'arbre et le logement. L'effet de ce défaut d'alignement sur la durée de vie dépend de l'importance du déversement exprimé en degrés, du type et de la géométrie interne du roulement et de la charge appliquée. Le défaut d'alignement provoque une distribution de contraintes non uniforme le long de la ligne de contact rouleau/chemin de roulement, voire des contraintes aux extrémités des rouleaux qui réduisent considérablement la durée de vie d'un roulement de manière plus ou moins importante selon son type :

- les roulements dits rigides (roulements rigides à billes, roulements à rouleaux cylindriques), les butées à billes ou à rouleaux cylindriques ne supportent guère des déversements d'un angle supérieur à 5 minutes sans induire des contraintes importantes.

- les roulements à alignement automatique (roulements à rotule sur billes ou sur rouleaux, butées à rotule sur rouleaux) sont capables de compenser les défauts d'alignement. Les valeurs maximales admissibles sont données pour chaque type de roulement par les constructeurs. Un déversement de bague se manifeste dans le domaine vibratoire par la présence d'une raie d'amplitude importante dont la fréquence correspond à la fréquence de défaut de la bague déversée, l'amplitude de cette composante étant largement prépondérante face à ses premiers

harmoniques avant que ce défaut n'induisse, par fatigue, des écaillages . L'amplitude de cette composante dépend de l'importance du déversement, du type de roulement [11].

I.6.6.Défaut d'Engrenages

I.6.6.1. Engrenage

L'engrenage est un des mécanismes élémentaires les plus utilisés pour transmettre du mouvement, et adapter les vitesses de rotation entre organes moteurs et récepteurs. Il est constitué de deux roues dentées mobiles autour d'axes de rotation, et dont l'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact.

Les engrenages sont parmi les organes les plus sensibles de la chaîne cinématique et peuvent être soumis à un grand nombre d'avaries apparaissant lors du fonctionnement, et dont les causes sont multiples [12].

Mis-à-part les défauts de fabrication et de montage, on distingue principalement deux catégories de défauts pouvant atteindre un jeu d'engrenage, les défauts généralisés et localisés.

I.6.6.2.Défauts généralisés

a- Usure abrasive

Phénomène présent sur une grande partie de la denture se caractérisant par un enlèvement de matière dû au glissement des deux surfaces en contact. Le développement de cette usure est lié à la charge mécanique à transmettre et à la vitesse de glissement, ainsi qu'à la présence d'éléments abrasifs dans le lubrifiant. Elle peut être normale, inversement proportionnelle à la dureté superficielle de la denture et progressant lentement, ou anormale lorsque le lubrifiant est pollué de particules abrasives ou corrosives. Elle conduit à un mauvais fonctionnement voir à une mise hors service [12].

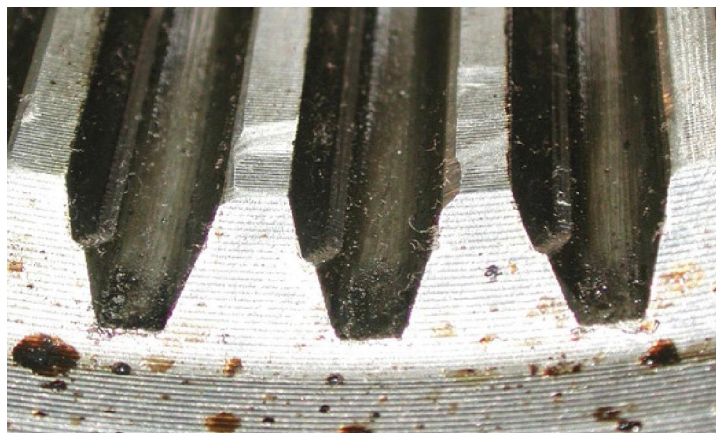


Figure I.18:Usure abrasive "Engrenages"

b- Puttings ou piqûres

Il s'agit de trous plus ou moins profonds qui affectent toutes les dents. Se produisant surtout sur des engrenages en acier de construction relativement dur. Cette avarie peut apparaître à la suite de légers désalignements d'axes par exemple, à cause de surpressions locales [10].



Figure I.19: Putting ou piqûres "Engrenages"

I.6.6.3. Défauts localisés**a-Écaillage**

Se manifestant par des trous moins nombreux que ceux du putting, mais plus profonds et plus étendus. Les dégradations sont produites par fatigue en sous-couche, au point de cisaillement maximal. Ce phénomène rencontré le plus souvent dans les engrenages cémentés, évolue très rapidement vers la rupture, sans passer par une phase d'usure [12].

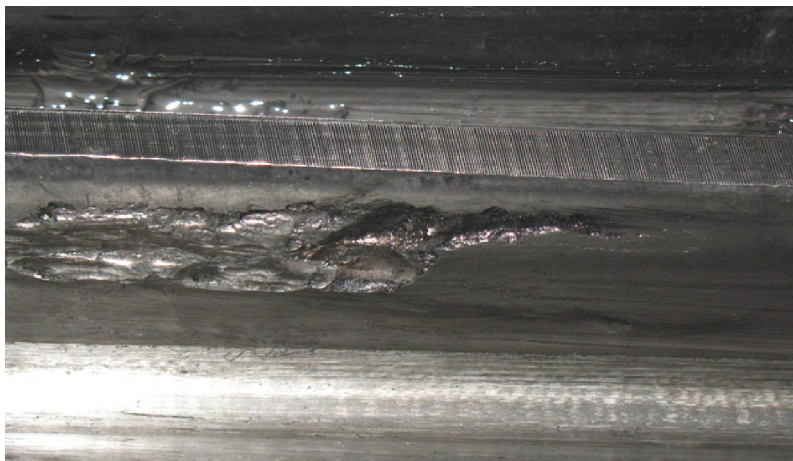


Figure I.20: Ecaillage "Engrenages"

b-Fissuration

Généralement au pied de la dent, elle progresse à chaque mise en charge. Son apparition est due à un dépassement de la limite élastique en contrainte au pied de dent, du côté de la dent en traction [12].

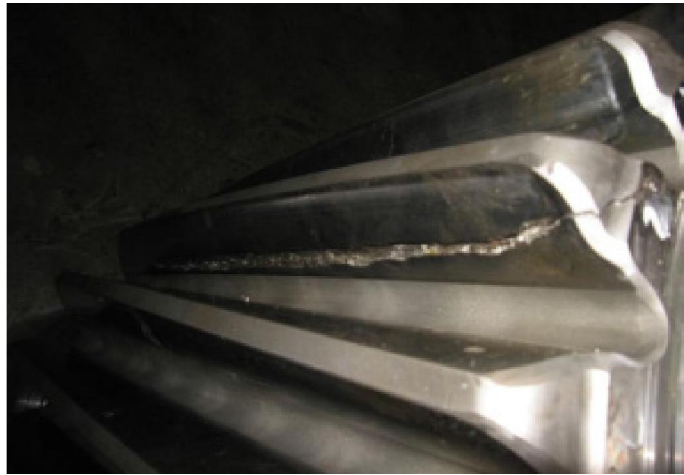


Figure I:21.Fissuration ou cracks "Engrenages"

c-Grippage

Conséquence directe d'une destruction brutale du film d'huile, ou d'un frottement sous charge provoquant des hausses de températures. Le grippage est favorisé essentiellement par des vitesses élevées, de gros modules, un faible nombre de dents en contact [12].

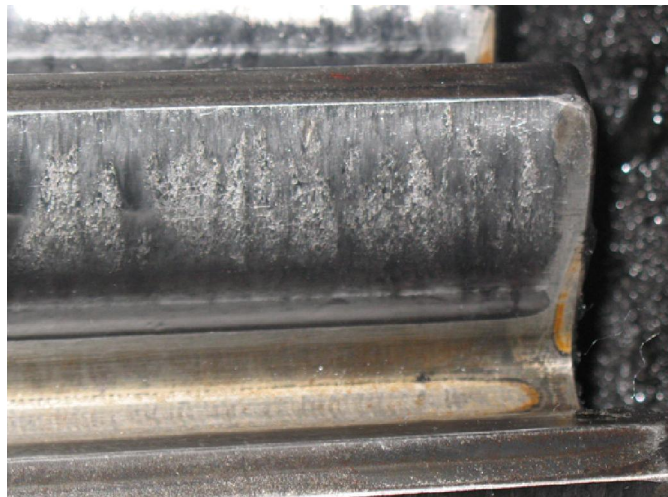


Figure I.22 :Le grippage "Engrenage"

I.6.7.Excentricité

L'excentricité d'une machine électrique est un phénomène qui évolue dans le temps et qui existe de sa fabrication. Celle-ci passe en effet par différentes étapes d'usinage et de montage qui induisent un décentrement du rotor par rapport au stator. Lors du fonctionnement de la machine, deux causes principales aggraveront l'excentricité:

La première est inhérente à la chaîne cinématique dans laquelle la machine intervient et qui peut imposer une force radiale sur l'arbre de cette machine, qui va engendrer une usure des roulements et une amplification du décentrement. Le deuxième phénomène risquant d'aggraver l'excentricité est quant à lui inhérent au fonctionnement de la machine ; en effet, le décentrement génère un déséquilibre dans la distribution des efforts radiaux entre le stator et le rotor [13- 14].

L'effort radial est maximal à l'endroit où se situe l'épaisseur minimale de l'entrefer et va tendre à diminuer encore plus la valeur de l'entrefer minimum et augmenter par conséquent encore plus le déséquilibre des efforts radiaux. Le point ultime de l'excentricité est le frottement du stator sur le rotor, qui est synonyme de destruction rapide de la machine.

Trois catégories d'excentricité sont généralement distinguées [15-16] :

- L'excentricité statique (Figure I.23(a)) – généralement due à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. La cause principale c'est un défaut de centrage des flasques.
- L'excentricité dynamique (Figure I.23(b)) – correspond, elle à un centre de rotation du rotor différent du centre géométrique du stator, mais, de plus, le centre du rotor tourne autour du centre géométrique de ce stator [17]. Ce type d'excentricité est causé par une déformation du cylindre rotorique, une déformation du cylindre statorique ou la détérioration des roulements à billes.
- L'excentricité mixte (Figure. I.23.(c)) – la somme des deux cas présentés ci-avant.

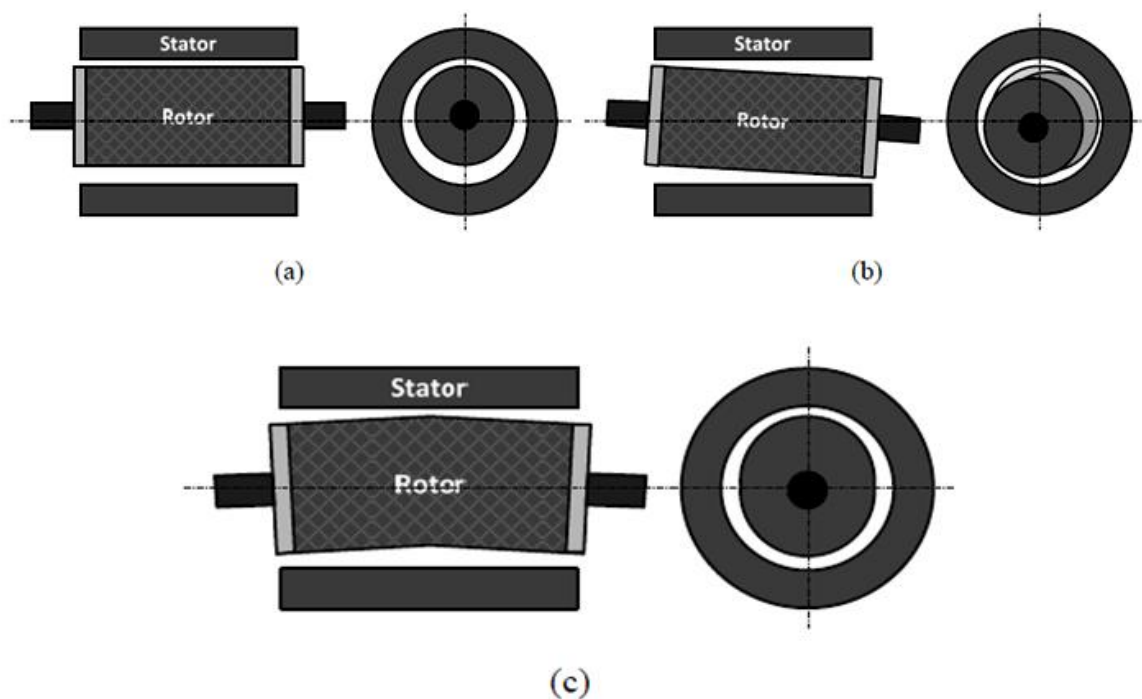


Figure I.23 : Types d'excentricité : (a) statique ; (b) dynamique ; (c) mixte

I.6.8. Défauts de rupture de barres et d'anneau de court-circuit

Pour une machine asynchrone avec un rotor à cage d'écureuil, les défauts se résument à la rupture de barres ou à la rupture d'anneaux de court-circuit (Figure I.24).

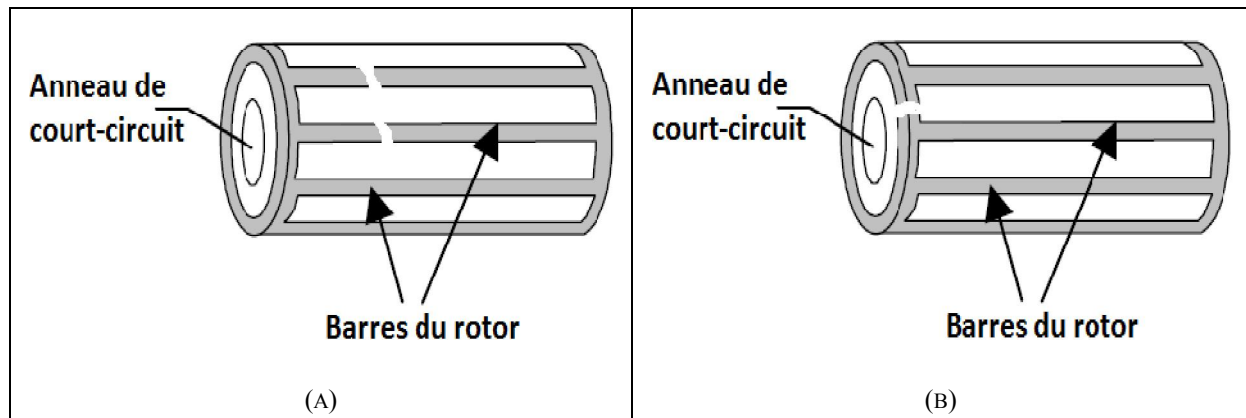


Figure I.24 : Défaut d'un rotor à cage d'écureuil : (a) rupture de barres ; (b) rupture d'anneau de court-circuit

Les ruptures de barres ou de portions d'anneau peuvent être dues, par exemple, à une surcharge mécanique (démarrages fréquents,... etc.), à un échauffement local excessif ou encore à un défaut de fabrication (bulles d'air ou mauvaises soudures), [18].

Cela fait apparaître des oscillations sur les courants et le couple électromagnétique d'autant plus apparentes que l'inertie est très grande (vitesse constante) [19-20]. Si l'inertie de l'entraînement est plus faible, des oscillations apparaissent sur la vitesse mécanique et sur l'amplitude des courants statoriques.

La cassure de portion d'anneau est un défaut qui apparaît aussi fréquemment que la cassure de barres dans une machine asynchrone à cage. Ces cassures sont dues soit à des bulles de coulées ou aux dilatations différentielles entre les barres et les anneaux, d'autant que les portions d'anneaux de court-circuit véhiculent des courants plus importants que ceux des barres rotoriques [21]. Il convient de mentionner, qu'un mauvais dimensionnement des anneaux, conduit à une détérioration des conditions de fonctionnement ou une surcharge de couple et, donc, à des courants pouvant entraîner leur cassure [21-22].

L'apparition d'un défaut de rupture de barres n'induit pas à un arrêt de la machine, du fait que le courant qui traversait la barre cassée se répartit sur les barres adjacentes [22]. Ces barres sont alors surchargées, et les contraintes thermiques et électromécaniques engendrées peuvent conduire à leur rupture, et ainsi de suite jusqu'à la rupture d'un nombre suffisamment important de barres pour provoquer l'arrêt de la machine.

Devant la multitude des défauts envisageables et les conséquences de leurs apparitions, les techniques de surveillance se sont rapidement imposées auprès des utilisateurs des machines électriques. Elles commencent également à intéresser les concepteurs, [22].

I.7.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la machine électrique et vu leurs classifications, ensuite; on a présenté les natures et les causes de défauts des machines électriques. Il existe plusieurs défauts de ces machines tels que les défauts électriques et les défauts mécaniques. Pour détecter ces défauts, il doit utiliser un outil qui nous permet de connaître la nature et le type de défauts. Dans le chapitre prochain, nous allons étudier la maintenance préventive conditionnelle et leurs techniques de détection des défauts des machines électriques.