

Diagnostic de défaut d'excentricité par mesure de courant statorique .

1. Introduction :

L'excentricité de la machine est le résultat du non uniformité d'entrefer. Ce défaut peut être la cause d'une flexion de l'arbre, d'un mauvais positionnement du rotor par rapport au stator, de l'usure du roulement ou encore d'un déplacement du noyau statorique.

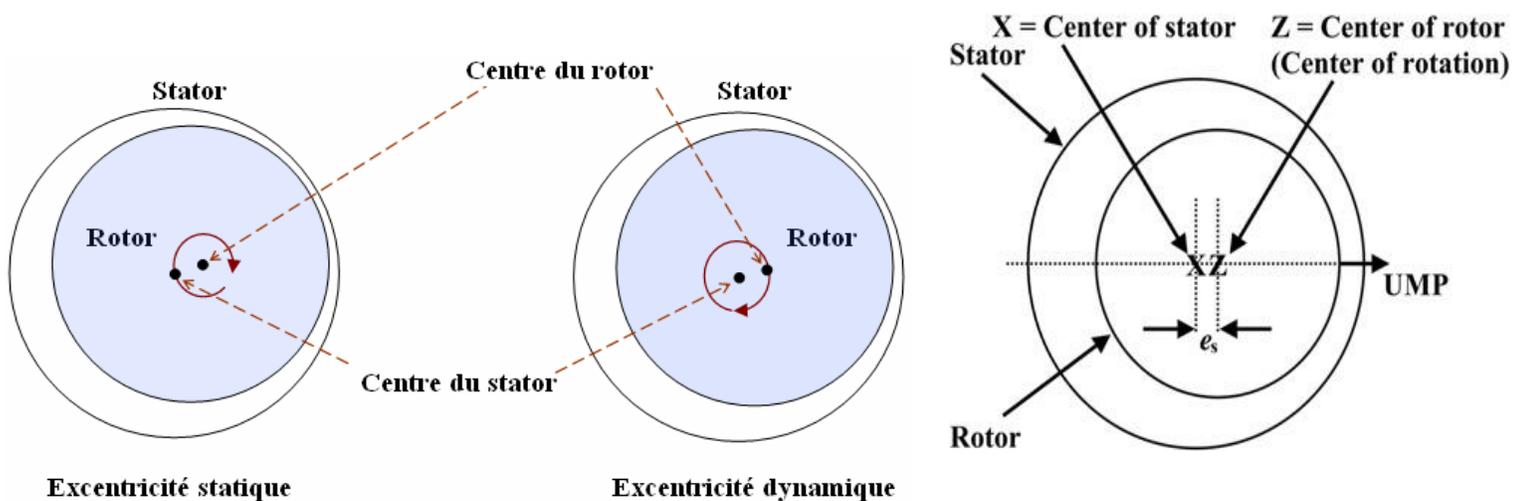
L'analyse par mesure de courant statorique est très utilisée pour faire le diagnostic de cette machine afin de remplacer (ajouter des informations) la méthode de vibration.

La littérature fournit les éventuelles signatures des harmoniques représentant les défauts d'excentricité.

2. Excentricités statique, dynamique, mixte ou globale :

Excentricité statique: Généralement le défaut d'excentricité statique est dû à un désalignement de l'axe de rotation du rotor par rapport à l'axe du stator. L'entrefer dans ce cas est constant avec la rotation du rotor.

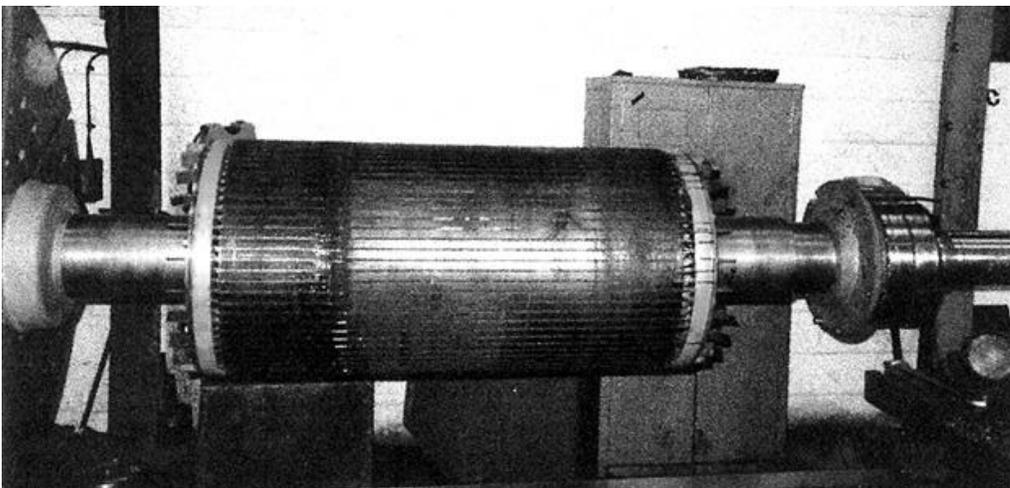
Excentricité dynamique: L'entrefer dans ce cas est variable avec la rotation du rotor. En pratique, des combinaisons d'excentricité statique et dynamique existe simultanément.



3. Causes de l'excentricité de l'entrefer :

1. Les diamètres d'alésage du rotor et du stator sont constants autour de leur circonférence et le long de leurs longueurs mais le centre du rotor ne coïncide pas avec l'axe central de rotation et le centre de l'alésage du stator.
2. Le diamètre extérieur du noyau du rotor n'est pas constant autour de sa circonférence ou sur toute sa longueur axiale.
3. L'alésage du noyau du stator n'est pas constant autour de son circonférence et le long de sa longueur axiale.
4. Usure avancée des roulements, en particulier avec des roulements à rouleaux (entrefer dynamique excentricité).
5. Une augmentation de l'excentricité peut être causée par conditions de travail après la fabrication du moteur et pendant sa durée de vie.
6. Dégradation mécanique des cales sous les pieds du moteur pendant une période du temps en raison de la rouille ou de la contamination chimique provoquant la chute du stator.

4. Exemples de dégâts au stator et rotor dus à une excentricité



5. Modélisation de l'excentricité :

L'excentricité du rotor, encore appelée excentricité de l'entrefer, non uniformité de l'entrefer ou bien désalignement

Est donnée par :

$$g(\theta, t) = g(1 - e_s \cos(\theta) - e_d \cos(\omega t - \theta))$$

Ou:

$g(\theta, t)$ = longueur de l'entrefer radial en fonction de l'entrefer,

θ = position angulaire en degrés autour de la circonférence,

t = temps (s),

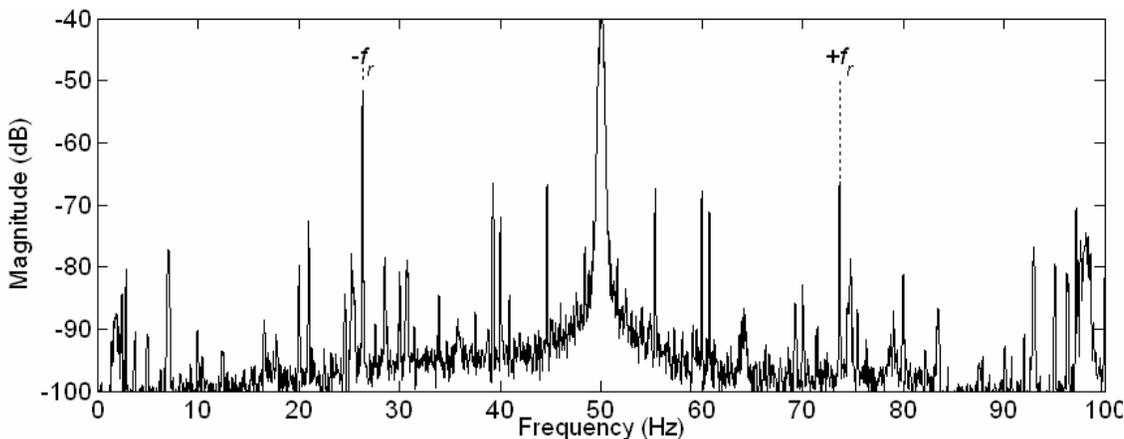
g = valeur nominale de la longueur de l'entrefer radial (mm).

6. Les fréquences caractéristiques de l'excentricité:

6.1 Excentricité du rotor autour du fondamental :

Les fréquences des bandes latérales autour de la fréquence d'alimentation sont donnée par:

$$f_{ecc} = f_s \pm k f_r, k = 1, 2.$$



6.2 Excentricité autour des harmoniques d'encoches rotoriques

Les fréquences de l'excentricité sont données par:

$$f_{ecc} = \left[\left(\frac{kN_R \pm n_d}{p} \right) (1 - g) \pm n_{\omega s} \right] \cdot f_s$$

où f_s est la fréquence fondamentale, g est le glissement, k est un nombre entier, p est le nombre de paires de pôles, N_R est le nombre de barres, $n_d = 0, 1, 2, \dots$ est l'ordre d'excentricité, et $n_{\omega s} = 1, 3, 5$ est l'ordre des harmoniques du temps.

Excentricité statique: $n_d = 0, k = 1$.

Pas de nouveaux harmoniques, mais une augmentation d'amplitude des harmoniques d'encoches rotoriques.

Excentricité dynamique: $n_d = 1, 2, 3, 4, \dots, k = 1$.

$$f_{ecc} = N_R \cdot f_r \pm n_{\omega s} \cdot f_s \pm f_r$$

Exemple 1 : Les données de la plaque signalétique du moteur triphasé

6600 V, 3600 kW / 4830 CV, 376 A, 3564 tr / min, 60 Hz, p.f. 0,88, rendement 95,2 %, connexion en étoile, Nombre de barres $N_R = 46$. Calculer les fréquences de RSH.

Solution:

$$f_{rs} = f_s \left[\left(\frac{N_R}{p} \right) (1 - s) \pm n_{\omega s} \right]$$

$$f_{rs} = N_R \cdot f_r \pm n_{\omega s} \cdot f_s$$

$$f_{rs(+1)} = 2792 \text{ Hz}, \quad +n_{\omega s} = +1$$

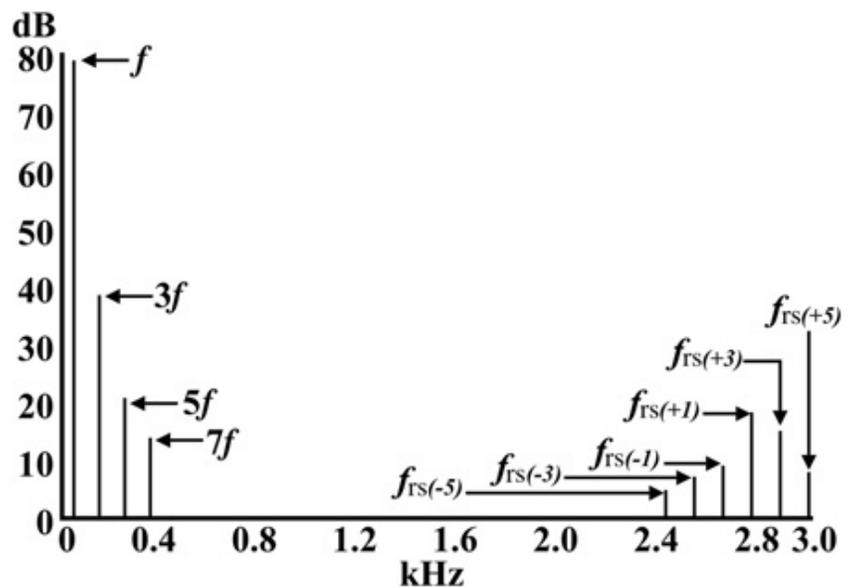
$$f_{rs(-1)} = 2672 \text{ Hz}, \quad -n_{\omega s} = -1$$

$$f_{rs(+3)} = 2912 \text{ Hz}, \quad +n_{\omega s} = +3$$

$$f_{rs(-3)} = 2552 \text{ Hz}, \quad -n_{\omega s} = -3$$

$$f_{rs(+5)} = 3032 \text{ Hz}, \quad +n_{\omega s} = +5$$

$$f_{rs(-5)} = 2432 \text{ Hz}, \quad -n_{\omega s} = -5$$



Exemple 2 : Un moteur asynchrone triphasé a $N_R = 32$, $f_r = 24$ Hz (f_r est la fréquence de rotation) et $f_s = 50$ Hz, Calculer les fréquences de RSH et d'excentricité dans les spectres de courant.

Solution: $N_R \cdot f_r = 768$ Hz, $f_{RSH} = 768 \pm 50, 150 \dots = \dots, 618, 718, 818, 918, \dots$ Hz.

La fréquence de passage de barres du rotor, $N_R \cdot f_r$, est indiquée par la ligne en gras et les RSH de chaque côté sont indiquées par les lignes pointillées.

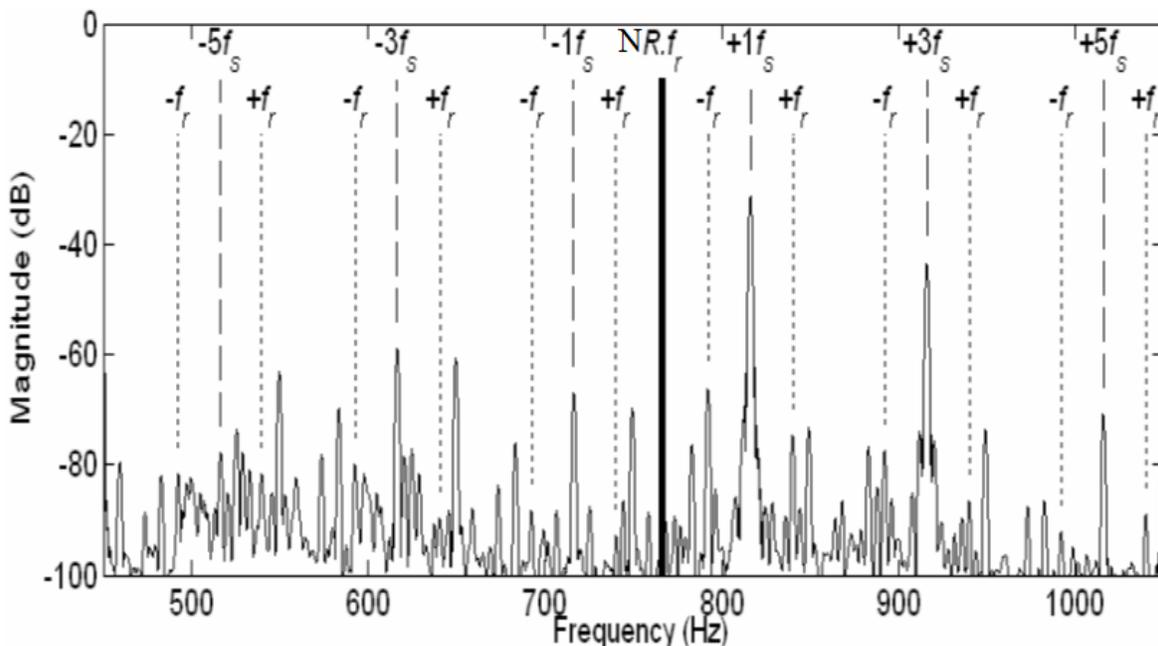
$nd = 1$ donne des bandes latérales du RSH, déplacées du RSH d'une quantité égale à $f_r = 24$ Hz, c'est-à-dire qu'elles se produisent à des fréquences données par:

$$f_{RSH SB} = f_{RSH} \pm f_r$$

Les bandes latérales d'excentricité dans les spectres de courant

$f_{RSH SB} = 718 \pm 24, 818 \pm 24, \dots = \dots, 694, 742, 794, 842, \dots$ Hz. Ils sont indiqués par les lignes pointillées.

Bien que ces composants aient été prédits pour l'excentricité dynamique, ils sont également affectés par la présence d'excentricité statique, ses composants sont dus à l'excentricité globale.



6. Stratégie de détection des défauts d'excentricité globale :

1. On note les harmoniques dites d'encoches rotoriques (RSH) ayant pour fréquences:

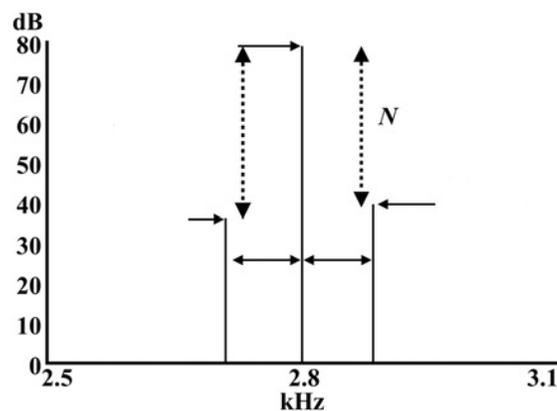
$f_{rs}(+1)$ avec $+n\omega_s = +1$; $f_{rs}(-1)$ avec $-n\omega_s = -1$;

$f_{rs}(+3)$ avec $+n\omega_s = +3$; $f_{rs}(-5)$ avec $-n\omega_s = +5$.

2. Sélectionnez le plus grand composant RSH (en dB) qui est normalement $f_{rs}(+1)$ car ceci est une fonction de la composante fondamentale de la Fmm.

3. On recherche les harmoniques $f_{rs}(+1) \pm fr$ autour de $f_{rs}(+1)$ et on mesure l'amplitude de la moyenne de N (dB) entre $\pm fr$ et $f_{rs}(+1)$.

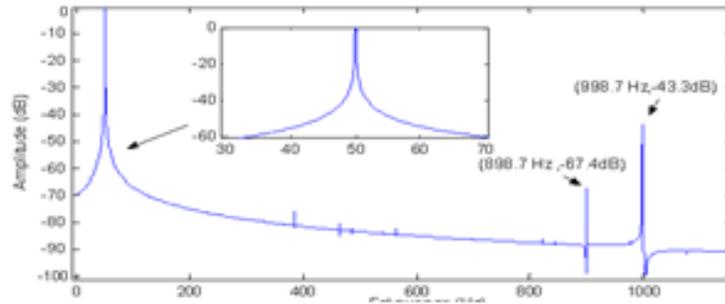
4. Le tableau suivant est une interprétation de la signature actuelle due à la combinaison d'excentricité statique et dynamique de l'entrefer, et donne normalement des estimations raisonnables du niveau opérationnel (en pourcentage) de l'excentricité globale (excentricité mixte) de l'entrefer.



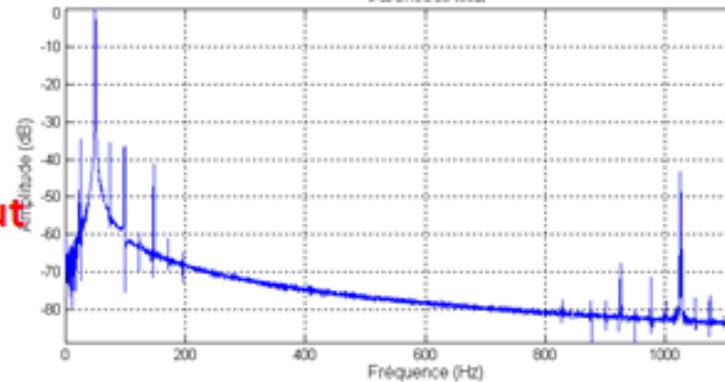
Différence en Amplitude (dB)	Niveau de l'excentricité
>40	Excellent. L'excentricité de l'entrefer est <5%.
35–40	Bon. L'excentricité de l'entrefer est < 10%.
25–35	Moyen. L'excentricité de l'entrefer est \geq 10%.
=25	Mauvais. L'excentricité de l'entrefer est autour de 15%.
<15	Médiocre. L'excentricité de l'entrefer est normalement > 20%.

8. Simulation numérique de l'excentricité mixte, Spectres du courant statorique pour un état sain et avec défaut.

Etat sain



Etat avec défaut



La relation $p-N_R$ qui influence sur les composants des harmoniques hautes fréquences a été donnée à travers des simulations dynamiques et des expériences. Des simulations ont été réalisées sans modéliser explicitement les effets de perméance des encoches. Cela implique que l'existence de R dans (1) est due aux harmoniques FMM du rotor en plus l'influence des harmoniques de perméance.

Les conclusions obtenues pour des niveaux modérés d'excentricité (environ 40% -50% maximum).

1) Les PSH peuvent être vu seulement quand p et N_R sont liés par la relation Suivant:

$$N_R = 2p [3 (m \pm q) \pm r]$$

$m \pm q = 0, 1, 2, 3, \dots$; $r = 0$ ou 1 .

2) Le seul statique ou seul excentricité dynamique.

Les composants sont fortement observés lorsque p et R sont lié par :

$$N_R = 2p [3 (m \pm q) \pm r] \pm k$$

$m \pm q = 0, 1, 2, 3, \dots$; $r = 0$ ou 1 ; $k = 1$ ou 2 .