

Nocivité et propagation de fissure en fatigue dans une frette d'alternateur

V.-X. Tran, L. May (EDF / R&D / AMA), G. Fréville (EDF / R&D / MMC)

Contexte et objectifs

Les extrémités des conducteurs des rotors d'alternateurs sont maintenues au moyen de pièces frettes, appelées frettes. Les frettes sont, sur le parc CP0-CP1 d'EDF, en grande partie en acier austénitique. Une étude a été engagée par la R&D afin d'étudier la nocivité et la propagation de défauts hypothétiques sur ces matériels.

Cette présentation vise à synthétiser les résultats de cette étude qui comprenait trois parties :

- étude de la nocivité des défauts sous sollicitations statiques,
- essais expérimentaux sur éprouvettes découpées dans un bec de frette usagé pour déterminer des cinétiques de fissuration,
- simulation numérique de la propagation de fissure en fatigue.

Modélisation de la frette d'alternateur

Analyse phénoménologique :

Les frettes sont usinées avec un diamètre intérieur plus petit que le diamètre du fût. Lors de la phase de montage, elles sont chauffées puis glissées autour des conducteurs et du fût. En refroidissant la frette comprime le fût, faisant apparaître des contraintes de frettage.

Au cours du fonctionnement de la machine elles s'opposent aux forces centrifuges. Une analyse du comportement de l'alternateur en fonctionnement a permis d'identifier les chargements pénalisants pour la tenue des frettes. Il s'agit d'une part des arrêts/démarrages qui impliquent des variations des forces centrifuges. Ces dernières font subir aux frettes des phases de gonflement/dégonflement, qui pourraient favoriser l'apparition ou le développement de fissures axiales. D'autre part la puissance réactive de l'alternateur entraîne un échauffement et une dilatation des bobinages, cela a pour effet d'étirer la frette et de favoriser également l'apparition ou le développement de fissures circonférentielles.

L'analyse des frettes d'alternateur nous a amené à identifier les chargements qui les sollicitent et les conditions aux limites (figure 1a). Le modèle CAO de la frette et des composants attachés ainsi que la localisation et la forme de la fissure semi-elliptique sont aussi présentés dans les figures 1b et 1c.

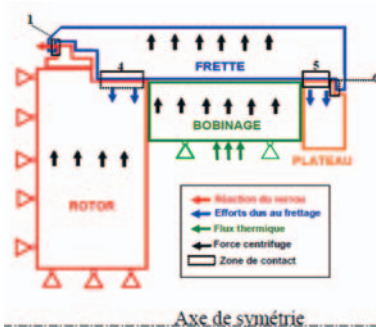


Figure 1 (a) : Conditions aux limites, zones de contact et chargements pour le calcul thermomécanique.

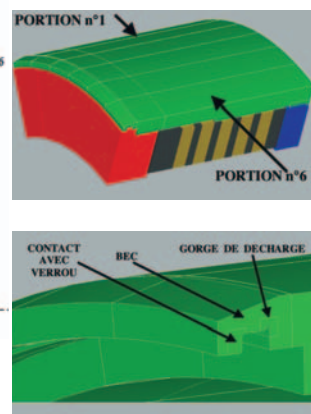


Figure 1 (b) : CAO de la frette (vert) et des composants attachés.

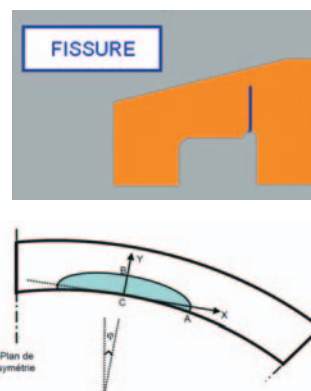


Figure 1 (c) : Fissure circonférentielle située au niveau de la gorge de décharge sur une coupe axiale du bec de la frette et forme de la fissure circonférentielle sur une section droite du rotor.

Nocivité et propagation de fissure en fatigue dans une frette d'alternateur

V.-X. Tran, L. May (EDF / R&D / AMA), G. Fréville (EDF / R&D / MMC)

Modélisation de la frette :

Les modèles numériques ont été réalisés en utilisant la méthode X-FEM (eXtended Finite Element Method). Cette méthode permet de représenter une fissure dans un modèle sans qu'il soit nécessaire de la mailler explicitement.

Une méthodologie de propagation des fissures elliptiques sous le chargement cyclique sous le chargement cyclique à amplitude constante est développée. Il s'agit de modéliser la propagation de la fissure elliptique à chaque pas d'avancement par une nouvelle ellipse de taille plus grande (figure 2). Celle-ci est ensuite introduite dans les modèles X-FEM pour calculer les facteurs d'intensités des contraintes servant à propager la fissure dans l'étape suivante. La durée de vie résiduelle de la frette fissurée est ensuite estimée par la loi de Paris avec la prise en compte des chargements déduits de la variation de la puissance réactive dans l'alternateur en fonctionnement d'une centrale.

La hauteur de ces fissures représente les deux tiers de l'épaisseur du bec de frette. Les facteurs d'intensité de contrainte (FIC) en fond de fissure (mode I uniquement) sont les suivants :

1500 trs/min 480 Mvar	Axiale, gorge	Axiale, logement de verrou	Circonférentielle, logement de verrou	Circonférentielle, gorge
FIC, K _I (MPa.m ^{0.5})	43	41	28	34

Pour comparer au seuil de rupture fragile en atmosphère sèche, on peut conclure à l'absence de risque de rupture fragile des frettes en atmosphère sèche.

Les données du seuil et de la vitesse de propagation de fissure obtenues à EDF R&D, au département Matériaux et Mécanique des Composants sont utilisées dans cette étude. Pour la simulation de propagation de fissure, seule une fissure circonférentielle est considérée.

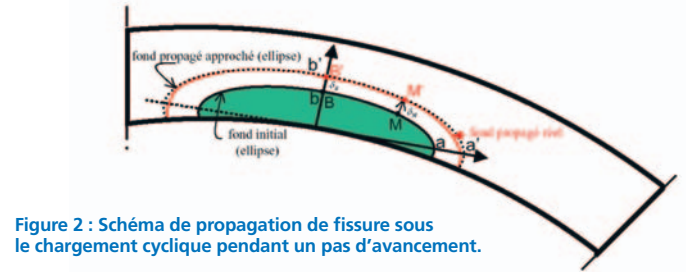


Figure 2 : Schéma de propagation de fissure sous le chargement cyclique pendant un pas d'avancement.

Les variations des chargements appliqués sont associées à celle de la puissance réactive typique entre 0 Mvar et 480 Mvar.

Les K_I pour la puissance réactive $Q = 0$ Mvar sont quasiment nuls. Seuls les K_I associés à $Q = +480$ Mvar ont été déterminés dans cette étude (figure 3a). Pour les autres valeurs de Q , on émet l'hypothèse d'une relation linéaire entre Q , ΔT et ΔK afin d'interpoler les FICs déduits à une puissance Q entre 0 Mvar et 480 Mvar.

La variation des K_I s'écrit :

$$\Delta K_I = K_I^{\max} - K_I^{\min} = K_I(Q=480 \text{ Mvar}) - K_I(Q=0 \text{ Mvar}) \approx K_I(Q=480 \text{ Mvar})$$

Les fonds de fissure propagés et approchés par la méthodologie développée dans cette étude sont présentés dans la figure 3b.

En utilisant la fréquence de la variation de la puissance réactive mesurée dans une centrale nucléaire, on peut déduire la durée de vie de la frette fissurée et adopter des politiques de maintenance nécessaires.

Nocivité et propagation de fissure en fatigue

Pour l'étude de nocivité, deux types de fissures ont été envisagés. Chacune des fissures a été positionnée au niveau de la gorge de décharge et au niveau du logement de verrou.

- fissure axiale de forme circulaire et de rayon 10 mm ;
- fissure circonférentielle de forme semi-elliptique de demi-grand axe 40 mm et de demi-petit axe 10 mm.

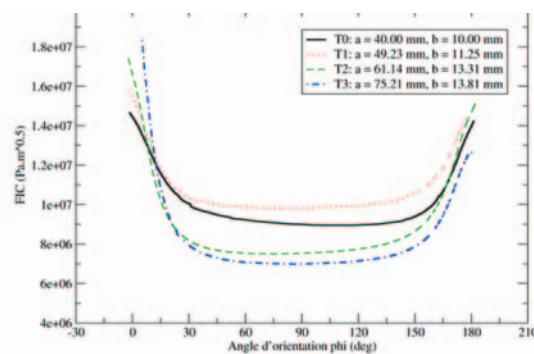


Figure 3 (a) : Profils des FICs K_I en fonction de l'angle d'orientation ϕ (associé au système de coordonnées de l'ellipse) pour différentes fissures au cours de la propagation.

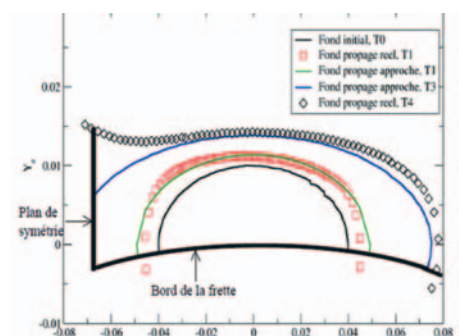


Figure 3 (b) : Fonds propagés réel et approché de la fissure elliptique initiale ($a=40$ mm et $b=10$ mm) du premier avancement critique de $\delta_m = 6$ mm jusqu'à la taille finale (au quatrième avancement).