

# Prédiction de la durée de vie en fretting-fatigue

G. Rousseau<sup>a</sup>, Y. Guilhem<sup>a</sup>, C.Montebello<sup>b</sup>, S.Pommier<sup>a</sup>

a. LMT (ENS Paris-Saclay, CNRS, Université Paris-Saclay)

[guillaume.rousseau@ens-paris-saclay.fr](mailto:guillaume.rousseau@ens-paris-saclay.fr)

[yoann.guilhem@ens-paris-saclay.fr](mailto:yoann.guilhem@ens-paris-saclay.fr)

[sylvie.pommier@ens-paris-saclay.fr](mailto:sylvie.pommier@ens-paris-saclay.fr)

b. Safran Aircraft Engine

[claudio.montebello@safrangroup.com](mailto:claudio.montebello@safrangroup.com)

## Résumé

*Prédire l'amorçage de fissures dans un assemblage soumis au phénomène de fretting-fatigue sous chargement d'amplitude variable est complexe. Les essais mis en place pour caractériser l'amorçage de fissures sont réalisés avec des géométries simples et des chargements d'amplitude constante. De plus, une modification de la géométrie entraîne un changement de la frontière d'amorçage. Cet article présente une méthode non locale, indépendante de la géométrie, permettant de définir une énergie dissipée caractéristique de l'amorçage de fissure.*

**Mots clés :** Fretting-fatigue ; Contact ; Amplitude variable ; Multiaxial

## 1. Introduction

Le fretting-fatigue est un phénomène complexe qui apparaît au niveau de la surface de contact de deux matériaux pressés l'un contre l'autre et soumis à des micro-déplacements. Dans cette configuration, des dommages peuvent apparaître au niveau de la frontière entre la zone en glissement partiel et la zone « collée », l'interface entre ces deux zones présentant une concentration de contraintes particulièrement sévère et subissant localement des états de contraintes multiaxiaux, non proportionnels et avec de forts gradients.

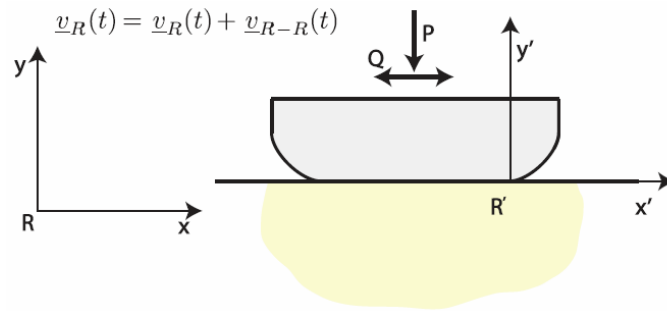
La prévision du risque d'amorçage de fissures et de la durée de vie des assemblages subissant des sollicitations de fretting-fatigue ne peut s'appuyer sur les modèles de fatigue usuels qui montrent leurs limites pour les problèmes présentant de forts gradients de contraintes. Par ailleurs, en utilisant la mécanique du contact pour établir la frontière d'amorçage des fissures, on s'aperçoit que cette dernière dépend de la géométrie et qu'il sera donc difficile de transposer les essais réalisés sur les géométries simples (cylindre/plan) sur des géométries réelles (3D et complexe).

La démarche introduite dans la suite présente une méthode pour calculer l'énergie dissipée par frottement permettant de s'affranchir de la dépendance géométrique.

## 2. Modélisation

### 2.1 Modélisation du champ de vitesses

Pour modéliser le champ de vitesses, on suppose que la discontinuité au niveau du contact est suffisamment forte pour imposer la forme de la distribution spatiale à son voisinage et que dans un repère attaché au front de contact (**Figure 1**), la géométrie est auto-similaire, ce qui permet d'appliquer le principe de similitude et ainsi appliquer un critère de fretting-fatigue identifié pour une géométrie de contact « de laboratoire » à une géométrie plus complexe de contact entre composants industriels 3D.

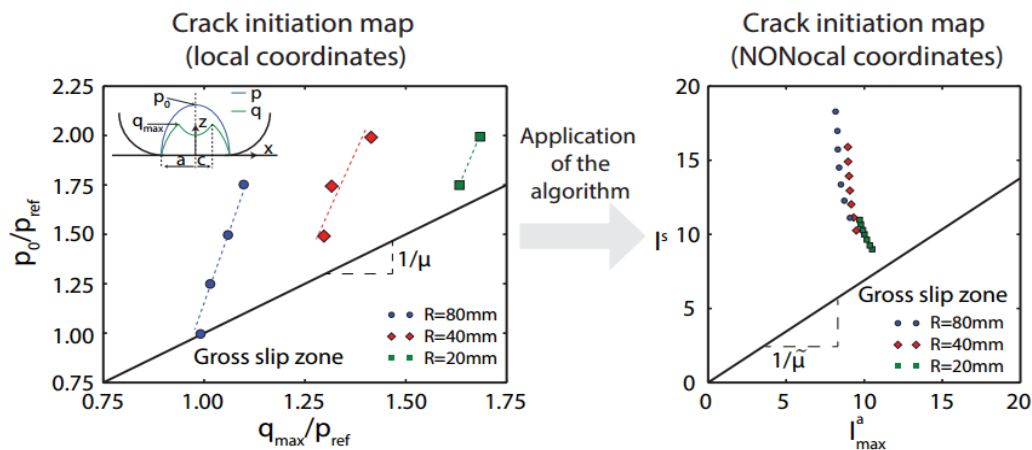


**Figure 1:** Référentiel attaché au front de contact

Pour cela, dans la thèse de Claudio Montebello (Montebello, 2015), une cinématique adaptée au problème de fretting-fatigue a été proposée (Eq. 1). On peut ainsi exprimer le champ de vitesses comme une somme de produits de facteurs d'intensité ( $I^s$ ,  $I^a$ ,  $I^c$ ) indépendants de la géométrie, et qui constituent les degrés de liberté indépendants du problème, et de fonctions de forme, définies une fois pour toutes et donnant la distribution spatiale du champ de vitesse dans un repère attaché au front de contact.

$$\underline{v}(\underline{x}, t)_{R'} \simeq \underbrace{\dot{I}^s(t) \underline{d}^s(\underline{x}) + \dot{I}^a(t) \underline{d}^a(\underline{x})}_{\underline{v}^e} + \underbrace{\dot{I}^c(t) \underline{d}^c(\underline{x})}_{\underline{v}^c}. \quad (1)$$

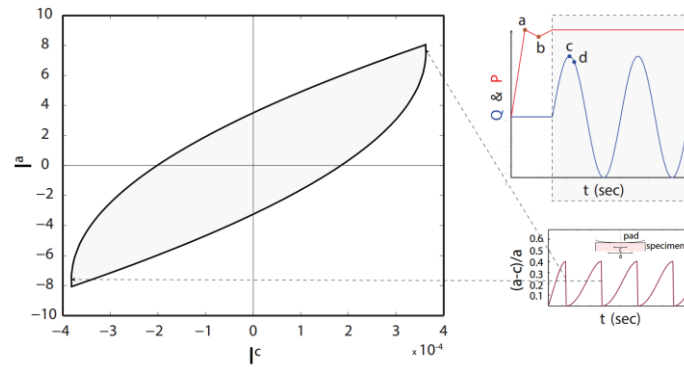
Les frontières d'initiation en fretting-fatigue (Figure 2) peuvent alors être représentées à l'aide des nouvelles grandeurs introduites ( $I^s$  et  $I^a$ ). Ces variables sont non-locales par construction (facteur d'intensité d'un champ) et permettent de s'affranchir de l'effet du rayon du cylindre qui était observé lorsque la même frontière était tracée en fonction des grandeurs locales ( $p$  et  $q$ ).



**Figure 2:** Frontière d'initiation en fretting-fatigue avec des variables locales et non locales

## 2.2 Prédiction de l'évolution de la variable $I^c$

En traçant l'évolution des variables non locales  $I^a$ , liée à la partie linéaire antisymétrique, et  $I^c$ , liée à la partie non linéaire (Figure 3), on cherchera à définir une loi de comportement reliant  $I^c$  aux autres variables  $I^a$  et  $I^s$  afin de pouvoir calculer l'énergie dissipée au cours d'un cycle de fretting. Dans notre cas  $I^s$  (partie linéaire symétrique) est constant, car l'effort normal  $P$  l'est également.



**Figure 3:** Evolution  $I^c/I^a$  sur un cycle de chargement

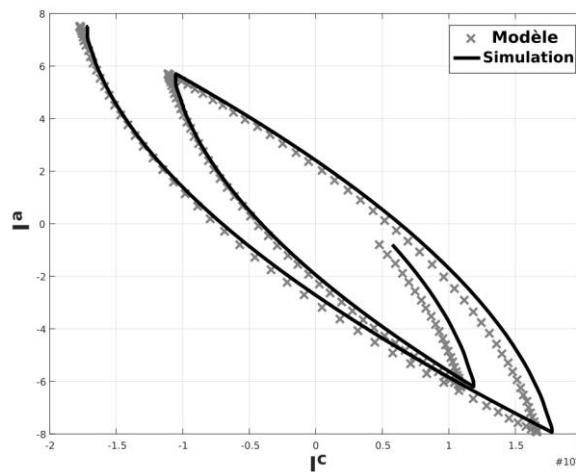
On utilisera une forme d'équation (Eq. 2) utilisée dans une loi de comportement développée par R. Desmorat (Desmorat, 2010) qui permet de modéliser un comportement élastoplastique cyclique multiaxial sans saturation en n'utilisant qu'une seule variable interne d'écrouissage ( $X$ ).

$$\underline{\dot{X}} = C \left[ \frac{2}{3} \underline{\dot{\varepsilon}}^p - \frac{\Gamma X_{eq}^{M-1}}{1 - \Gamma X_{eq}^{M-1}} \langle \underline{d} : \underline{\dot{\varepsilon}}^p \rangle \underline{d} \right] \text{ où } \underline{d} = \frac{\underline{X}}{X_{eq}} \quad (2)$$

En la déclinant pour un problème de fretting-fatigue dans le cas du mode II, on obtient :

$$\dot{I}^a + \Gamma |I^a|^{M-2} I^a |\dot{I}^a| = C \dot{I}^c \quad (3)$$

Après identification des paramètres ( $C, M, \Gamma$ ) à partir de la simulation, on est capable de prédire l'évolution de  $I^c$  en fonction de  $I^a$  lors d'un cycle de fretting où  $I^s$  reste constant (Figure 4).



**Figure 4:** Comparaison entre le modèle de comportement non local et la simulation

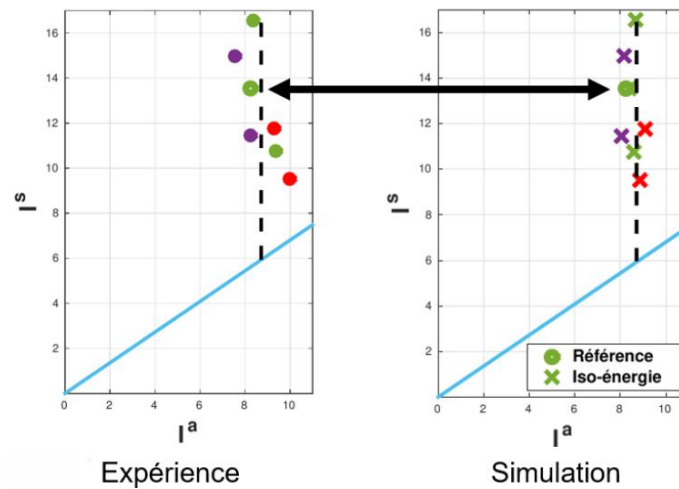
## 2.2 Calcul de l'énergie dissipée

Par analogie avec la mécanique de la rupture on peut définir un taux de restitution d'énergie (Eq. 4) et calculer l'énergie dissipée au cours d'un cycle (Eq. 5) où la longueur de fissure  $a$  sera remplacée par  $I^c$ , qui représente le saut de déplacement maximum au niveau du contact.

$$G_a = \text{sign}(I^a) \frac{1 - \nu^2}{E} \times I_a^2 \quad (4)$$

$$W(\tau) = \int_0^\tau G_a \times \frac{dI^c}{dt} dt \quad (5)$$

À partir des essais en fretting pur réalisés par R. Amargier (Amargier, 2011), on obtient une frontière unique en utilisant les grandeurs non locales ( $I^s$ ,  $I^a$ ). On peut donc considérer l'énergie dissipée, calculée en un point expérimental comme référence, puis recalculer la valeur de  $I^a$  pour les autres points afin de retrouver la même énergie (Figure 5).



**Figure 5:** Détermination des points iso-énergie

### 3. Conclusion et perspectives

Par ces travaux, on a montré qu'il était possible de définir une énergie dissipée, caractérisant l'amorçage des fissures, dans un contact soumis à du fretting. Cela donne la possibilité de prédire l'amorçage lorsque le contact est soumis à un chargement complexe à partir d'un essai fait avec un chargement à amplitude constante.

Pour pouvoir utiliser cette approche dans le cadre de contacts réels, la cinématique sera enrichie en prenant en compte le glissement partiel dans la direction parallèle au front de contact. De plus, afin de prendre en compte la variation de l'effort normal, il sera nécessaire de travailler dans un référentiel mobile, car cette formulation cinématique est uniquement valable dans un référentiel attaché au front de contact.

#### Remerciements

Les auteurs remercient le groupe Safran pour le support apporté à cette étude, et chacun des partenaires du projet IRG Cognac (Safran, ENSMA, Université de Brasilia, ENS Paris-Saclay) pour des échanges scientifiques fructueux.

#### Références

- Amargier, R., 2011. Amorçage de fissures et gradient de contrainte en fretting et en fatigue.
- Desmorat, R., 2010. Non-saturating nonlinear kinematic hardening laws. *Comptes Rendus Mécanique* 338, 146–151. doi:10.1016/j.crme.2010.02.007
- Montebello, C., 2015. Analysis of the stress gradient effect in Fretting-Fatigue through a description based on nonlocal intensity factors.