



**HAL**  
open science

# Propagation de fissure sous chargement thermomécanique cyclique anisotherme

Elias Merhy

► **To cite this version:**

Elias Merhy. Propagation de fissure sous chargement thermomécanique cyclique anisotherme. Mécanique des matériaux [physics.class-ph]. Ecole Polytechnique X, 2011. Français. NNT: . pastel-00658854

**HAL Id: pastel-00658854**

**<https://pastel.hal.science/pastel-00658854>**

Submitted on 11 Jan 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Thèse de Doctorat de l'École polytechnique

*spécialité : Mécanique*

présentée par

**Elias MERHY**

pour obtenir le titre de

DOCTEUR de l'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

## **Propagation de fissure sous chargement thermomécanique cyclique anisotherme**

**Application au dimensionnement de structures automobiles en alliage  
d'aluminium (Al-Si)**

Soutenance prévue le mardi 13 décembre 2011 devant le jury composé de

Dominique LEGUILLON  
Gilbert HENAFF  
Sylvie POMMIER  
Habibou MAITOURNAM  
Luc RÉMY  
Lucien LAIARINANDRASANA  
Louis AUGUSTINS

Président  
Rapporteur  
Rapporteuse  
Directeur de thèse  
Directeur de thèse  
Examineur  
Examineur

## Résumé

Jusqu'à présent, PSA Peugeot Citroën utilise l'approche du dimensionnement à l'amorçage de la fissure, la phase de propagation étant méconnue. Cependant, des essais réalisés sur des culasses montrent que certaines fissures peuvent être stables, alors que d'autres ont une durée de propagation voisine de la durée nécessaire à l'amorçage. Ainsi, en affinant le critère d'acceptation en fatigue de façon à ce qu'il tienne compte de la phase de propagation, en l'incluant dans la durée de vie de la pièce on peut avoir un dimensionnement optimal et éviter donc le surdimensionnement.

Le but du travail est donc de trouver, dans le domaine de fatigue oligocyclique, une loi de propagation de fissure sous chargement thermomécanique qui permet d'estimer la vitesse de propagation dans la culasse et donc de maîtriser le phénomène de propagation de fissure sous chargement anisotherme complexe. La loi trouvée permet ainsi de déterminer la stabilité de la fissure en appliquant un certain critère d'arrêt ou de non-arrêt de la fissuration en fonction de la longueur de fissure atteinte à un nombre de cycle donné. L'étude est menée sur les culasses des moteurs HDI PSA dont le matériau constitutif est l'AS7G03 "dopé" cuivre.

Le travail réalisé se résume par les cinq étapes suivantes :

- Etude bibliographique : Bibliographie sur la microstructure des alliages d'aluminium, les travaux traitant le comportement de ces alliages vis-à-vis du chargement en fatigue thermomécanique et surtout les critères de fatigue oligocyclique et les lois de propagation de fissure.

- Calcul numérique de structure : Des calculs globaux des champs de température de déformation inélastique et de densité d'énergie dissipée ont été réalisés sur la structure afin de mettre en évidence les zones critiques des culasses où des fissures sont détectées expérimentalement. Ces travaux ont été suivis d'une série de calcul des trajets de chargement sur l'étendue de la zone critique. Ces calculs nous ont permis de déterminer la nature et les amplitudes des chargements ainsi que la réponse thermomécanique de la structure dans la zone critique de la structure.

- Caractérisation expérimentale de la propagation de la fissure : Plusieurs campagnes d'essais de fissuration isotherme et anisotherme à rapport de charge positif et négatif ont été menées sur des éprouvettes CT16 et des éprouvettes SEN. Des résultats intéressants ont été obtenus concernant l'influence énorme de la température et de la valeur maximale du facteur d'intensité de contrainte  $K_{max}$  sur la vitesse de propagation de fissure à rapport de charge positif. Les essais à rapport de charge négatif ont montré un effet primordial de la partie compressive du cycle sur l'avancement de la fissure. L'interprétation et la comparaison des essais réalisés à  $R < 0$  et  $R > 0$  d'une part et les observations microstructurales (faciès de rupture, trajet de fissuration, plans de glissements, endommagements locaux dans les zones eutectiques, ...) d'autre part ont permis d'expliquer les mécanismes de fissuration dans les deux parties compressives et sous traction d'un cycle à  $R < 0$ .

- Loi de propagation de fissure : Une nouvelle loi de propagation de fissure **anisotherme** a été développée et validée. La loi consiste à calculer la quantité totale des déformations inélastiques dans toute la zone plastique monotone devant la pointe de la fissure. Afin de pouvoir prendre en compte les effets de plastification cyclique

cumulée en pointe de fissure et de l'effet du chargement monotone, un nouveau paramètre  $K_p$  a été introduit. Ce paramètre est basé sur le calcul du facteur d'intensité de contrainte  $K$  et de l'intégrale de Rice  $J$ . La loi prend alors en compte les effets de fatigue, du chargement monotone, de la compression et de l'anisothermie.

- Implémentation de la loi sous forme d'un modèle formel permettant l'automatisation totale de l'application de la loi par le biais des étapes suivantes :

- \* Le traitement des résultats des calculs par EF.
- \* Obtention des paramètres nécessaires à l'application de la loi de propagation.
- \* Déduction du nombre total de cycles correspondant à la ruine de la structure.