

Fatigue multiaxiale et rôle des défauts

[Yves NADOT](#) / Damien HALM / Carole NADOT-MARTIN / Gilbert HENAFF / Mandana ARZAGHI / Jonathan CORMIER

Thèses en cours (sept 2017) : Clément Dureau (labex DAMAS Metz) / Marton Groza (Knorr Bremse) / Aurélien Lambourg (SAFRAN TECH) / Julius Domfang (ZODIAC AEROSPACE) / Antonio Rotella (SAFRAN TECH) / Julien Simon (SAFRAN AE) / Matthieu Vincent (AMN)

Post Doc (Sept2017) : Maxime Perrais (Labex INTERACTIF)

Le but de cette opération est de construire des modèles de **calcul de la durée de vie en fatigue des structures métalliques sous CHARGEMENT COMPLEXE** (multiaxiaux, hors phase et variables) à partir de résultats expérimentaux. L'étude des mécanismes d'endommagement : sites d'amorçages, propagation des petites fissures et mode de rupture permet d'optimiser le procédé de fabrication. Un critère spécifique utilisable à l'échelle de la structure prend en compte **l'INFLUENCE des DÉFAUTS** (procédé, maintenance) sur la durée de vie en fatigue. L'enjeu principal est de comprendre le rôle des 4 paramètres fondamentaux : **TYPE / MORPHOLOGIE / POSITION / TAILLE** sur la résistance à la fatigue dans un contexte de chargement complexe représentatif de la tenue en service.

Moyens expérimentaux utilisés : 2 machines de fatigue en traction – torsion / 1 machine très forte capacité traction-torsion-pression interne (120 tonnes - 5KNm – 1200 bars) / 3 Vibrophores (20-1000 °C) / Tomographie RX / Mesures de potentiel / Répliques / MEB / Fabrication de micro-défauts par électroérosion (enfonçage) / Fabrication (prototype interne : 'Fissureuse') de micro défauts sans contraintes résiduelles / usinage de défauts et préfissures par FIB.

Partenariats : Knorr-Bremse (Hongrie) / EDF / Renault SA / Allevard Rejna Autosuspension / AIRBUS / AIRBUS SAFRAN launchers / SAFRAN Tech / SAFRAN Aircraft Engine / SAFRAN Transmissions Systems / Zodiac Aerospace / UBC (Vancouver, Canada) / ETS (Montreal, Canada) / University of Oxford (UK) / LGM (Tunisie) / Mateis (Lyon) / CTIF (Paris) / EASA (Europe) / University of Brasillia (Br) / LMT (ENS Cachan) / University of Budapest (Hongrie).

Programmes : ANR GIGADEF (2016-2020) / ANR IDEFFAAR (2010-2014) / EROMDAT, Europe-EASA (2013-2015) / 1 Dépôt H2020 2017.

Mobilité : séjour de recherche à l'Université de Sydney (2018) sur la tenue en fatigue des Aluminiums élaborés par fabrication additive (Carole Nadot-Martin et Yves Nadot).

	<h3>Prise en compte des défauts et de la microstructure dans la modélisation de la durée de vie en fatigue des pièces élaborées par voie additive</h3> <ul style="list-style-type: none"> • AlSi10Mg – SLM / PA 12 SLM • Analyse et compréhension des mécanismes d'endommagement • Durée de vie en fatigue • Diagramme de Kitagawa : nocivité des défauts • Rôle de la surface sur la tenue en fatigue • Influence des traitements thermiques sur la microstructure
$\sigma'_{eq} = \sigma_{eq}(A) - a \cdot \frac{\sigma_{eq}(A) - \sigma_{eq}(B)}{\text{defect size}} \leq \beta(N)$	<h3>Influence des défauts sur la tenue en fatigue multiaxiale de composants industriels</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Etude des défauts de microstructure (fonderie, autre...) • Etude des défauts de maintenance (choc et rayures) • Fabrication de micro défauts artificiels (10 à 1000 microns) avec ou sans contraintes résiduelles • Chargements complexes : multiaxiaux, contraintes moyennes, hors phase et variables • A 356T6, Inconel 718 Moulé, Acier à ressort, cast Ti6Al4V, AS7G06 T6, acier 1045, Inconel 718 DA • AlSi10Mg élaboré par voie additive (SLM) • Modélisation de la taille de défaut admissible sur pièce industrielle • Diagramme de Kitagawa 3D (multiaxial) • Suivi de fissuration par mesure de potentiel électrique
$f = \sqrt{\gamma_1 J_2^2(\dot{\epsilon}) + \gamma_2 J_{2,eq}^2 + \gamma_3 I_f(I_{1a}, I_{1n})} \leq \beta$ $\sigma_{Traction} = \sigma_{Torsion} \sqrt{3}$	<h3>Modélisation de la durée de vie en fatigue sous chargement complexe</h3> <ul style="list-style-type: none"> • Modélisation thermodynamique • Couplage à l'échelle mésoscopique plasticité / endommagement • Expérimentation sous chargement multiaxial hors phase variable dans le temps • Confrontation critère/modèle incrémental • Modélisation du cumul non linéaire

Thèses soutenues

- 1997 Yves Nadot : influence des défauts sur la tenue en fatigue d'une fonte GS
- 2002 Thomas Billaudeau : Fatigue multiaxiale des matériaux à défauts – mécanisme et critère d'endurance
- 2004 Laurent Flacelière : Fatigue polycyclique multiaxiale de l'acier C35 : caractérisation et modélisation des mécanismes d'endommagement
- 2007 Hicham Gadouini : Influence des défauts de fonderie sur la tenue en fatigue des métaux soumis à des sollicitations cycliques multiaxiales. Application à des éléments de liaison au sol.
- 2009 Quoc Huy Vu : Fatigue polycyclique multiaxiale de l'acier C35 : caractérisation et modélisation des mécanismes d'endommagement
- 2009 Anouar Nasr : Fiabilité en fatigue polycyclique des matériaux à défauts sous chargement multiaxial
- 2011 Gaëlle Leopold : Influence des défauts de fonderie sur la tenue en fatigue d'un alliage de Titane moulé
- 2014 Luc Doremus : Etude expérimentale et modélisation de la micro-propagation sur défauts de surface dans l'Inco718DA - Application au dimensionnement en Tolérance au Dommage d'un disque de turbine HP
- 2014 Fabricio Dal cero Coelho : Maîtrise de la tenue en fatigue des cordons de soudure
- 2015 M. Iben Houria : Etude expérimentale et modélisation de la durée de vie en fatigue d'un alliage d'aluminium de fonderie A356T6 sous chargement multiaxial
- 2015 S. Gourdin : Etude expérimentale et modélisation de la propagation de fissures à partir d'anomalies de surface dans le René 65

Publications :**Brevet**

Y. Pannier, Y. Nadot, J. Lallemand, T. Deforet

ROTABIDIM : Dispositif de sollicitations mécaniques en traction/compression et/ou torsion

N de brevet Français : 1355874 / Accepté le 7 mai 2015

ACL / Publications dans des revues avec comité de lecture

S. Gourdin, J. Cormier, G. Henaff, Y. Nadot, F. Hamon and S. Pierret

Assessment of specific contribution of residual stress generated near surface anomalies in the high temperature fatigue life of a René 65 superalloy

Fatigue and Fract of Engng Mat and Struct, 2016

DOI: 10.1111/ffe.12475

A. Nasr, Y. Nadot, C. Bouraoui and R. Fathallah

Fatigue life assessment for material containing defects under multiaxial loading

Metallurgical Research and technology, 114, p. 102, 2016

DOI: 10.1051/metal/2016060

M. Vincent, Y. Nadot, C. Nadot-Martin, A. Dragon

Interaction between a surface defect and grain size under high cycle fatigue loading: experimental approach for ARMCO iron

International Journal of Fatigue, vol. 87, pp. 81-90, 2016

I. Serrano-Munoz, J.-Y. Buffiere, C. Verdu, Y. Gaillard, P. Mu, Y. Nadot

Influence of surface and internal casting defects on the fatigue behaviour of A357-T6 cast aluminium alloy

International Journal of Fatigue, Volume 82, Part 3, 2016, Pages 361-370

10.1016/j.ijfatigue.2015.07.032

M. Iben Houria, Y. Nadot, R. Fathallah, M.J. Roy, D. M. Maijer

Influence of casting defect and SDAS on the multiaxial fatigue behaviour of A356-T6 alloy including mean stress effect

International Journal of Fatigue, Volume 80, pp. 90-102, 2015

F. Dal Cero Coelho, Y. Nadot, D. Halm

Fatigue Life Assessment under Multiaxial Complex Loading

Procedia Engineering, Volume 133, 2015, Pages 102-106

10.1016/j.proeng.2015.12.633.

L. Doremus, J. Cormier, P. Villechaise, G. Henaff, Y. Nadot, S. Pierret

Influence of residual stresses on the fatigue crack growth from surface anomalies in a nickel-based superalloy

Materials Science and Engineering: A, Volume 644, 17 September 2015, Pages 234-246

ISSN 0921-5093

10.1016/j.msea.2015.07.077.

L. Doremus, Y. Nadot, G. Henaff, C. Mary and S. Pierret

Calibration of the potential drop method for monitoring small crack growth from surface anomalies – Crack front marking technique and finite element simulations

International journal of fatigue, 70, pp 178-185, 2015

10.1016/j.ijfatigue.2014.09.003

P. Mu, Y. Nadot, I. Serrano Munoz and A. Chabod

Influence of complex defect on cast AS7G06-T6 under multiaxial loading

Engineering fracture mechanics, 131, pp 315-328, 2014

10.1016/j.engfracmech.2014.08.007

J. Bellecave, A. Araujo, S. Pommier, Y. Nadot and J. Mériaux

T-stress based short crack growth model for fretting fatigue

Tribology international, 76, pp 23-34, 2014

10.1016/j.triboint.2014.02.016

P. Mu, Y. Nadot, C. Nadot-Martin, A. Chabod, I. Serrano Munoz and C. Verdu

Influence of casting defects on the fatigue behaviour of cast Aluminum AS7G06-T6

International Journal of Fatigue, 63, pp 97-109, 2014

10.1016/j.ijfatigue.2014.01.011

M. Vincent, C. Martin-Nadot Y. Nadot and A. Dragon

Fatigue from defect under multiaxial loading: Defect Stress Gradient approach using ellipsoidal equivalent inclusion method

International Journal of Fatigue, 59, pp 176-187, 2014

10.1016/j.ijfatigue.2013.08.027

Q.H. Vu, D. Halm and Y. Nadot

High cycle fatigue of 1045 steel under complex loading: mechanisms map and damage modelling

International Journal of Damage Mechanics, 23, pp 377-410, 2014

10.1177/1056789513497977

M.J. Roy, Y. Nadot , D.M. Maijer and G. Benoit

Multiaxial fatigue behaviour of A356-T6

Fatigue and Fract of Engng Mat and Struct, 35, 12, pp 1148-1159, 2012

10.1111/j.1460-2695.2012.01702.x

A. Nasr, Y. Nadot, C. Bouraoui and R. Fathallah

Effect of Artificial Defect and Mean Shear Stress on Torsional Fatigue Behaviour

Applied Mechanics and Materials, Volume 146, pp 74-82, 2012

10.4028/www.scientific.net/AMM.146.74

.J. Roy, Y. Nadot , C. Nadot-Martin, P.G. bardin and D.M. Maijer

Multiaxial Kitagawa analysis of A356T6

International J Fatigue, , 33, 823-832, 2011

10.1016/j.ijfatigue.2010.12.011

G. Leopold and Y. Nadot

Fatigue from an induced defect: experiments and application of different multiaxial fatigue approaches

ASTM STP, 7, 4, 2010

Q.H. Vu, D. Halm and Y. Nadot

Multiaxial fatigue criterion for complex loading based on stress invariants

Int J Fatigue, 32, 7, pp. 1004-1014, 2010

A. Nasr, Y. Nadot, C. Bouraoui and R. Fathallah

Fatigue initiation in C35 steel. Influence of loading and defect

Int J Fatigue, 32, 4, pp. 780-787, 2010

A. Nasr, C. Bouraoui, R. Fathallah and Y. Nadot

Probabilistic high cycle fatigue prediction for defective materials

Fatigue Fract Engng Mater Struct, 32, pp. 292-309, 2009

F. Morel, A. Morel and Y. Nadot

Comparison between defect and micro-notch in multiaxial fatigue. Size effect and gradient effect

Int J Fatigue, 31, 2, pp. 263-275, 2009

A. Karolkzuk, Y. Nadot and A. Dragon

Stress gradient approach for multiaxial fatigue of defective materials

Computational Material Science, 44, 464-475, 2008

Y. Nadot

Propagation lifetime from the surface and internal defects in the ultra high cycle fatigue regime

The Open Materials Science Journal, 2, pp 35-39, (5), 2008

H. Gadouini, Y. Nadot and C. Rebours

Influence of mean stress on the multiaxial fatigue behaviour of defective materials

Int J of Fatigue, 30 (9) pp. 1623-1633, 2008

Y. Nadot and T. Billaudeau

Multiaxial fatigue limit criterion for defective materials

Eng Fract Mech (73), 1, pp. 112-133, 2006

T. Billaudeau, Y. Nadot and G. Bézine

Fatigue limit for defective materials: mechanisms and experiments

Acta Materiala, 52, 3911-3920, 2004

Y. Nadot and V. Denier

Fatigue failure of suspension arm : experimental analysis and multiaxial criterion

Eng failure analysis, 11 (4), pp. 485-499, 2004

T. Billaudeau and Y. Nadot

Support for an environmental effect on fatigue mechanisms in the long life regime

Int. J. of Fatigue, 26 (8), pp. 839-847, 2004

Y. Nadot, J. Mendez and N. Ranganathan

“Influence of casting defects on the fatigue limit of nodular cast iron”

Int. J. of Fatigue, 26, pp. 311-319, 2004

Y. Nadot, J. Mendez, N. Ranganathan and A.S. Béranger

Fatigue life assessment of nodular cast iron containing casting defects

Fatigue Fract Engng Mater Struct, 22, pp. 289-300, 1999

Y. Nadot, N. Ranganathan, J. Mendez and A.S. Béranger

A study of natural cracks initiated on casting defects by crack front marking

Scripta Materialia 37 (5), pp. 549-553, 1997