



HAL
open science

Développement d'essais d'échauffement sous chargements multiaxiaux

Martin Poncelet, Cédric Doudard, Sylvain Calloch, Philippe Cugy, André
Galtier

► **To cite this version:**

Martin Poncelet, Cédric Doudard, Sylvain Calloch, Philippe Cugy, André Galtier. Développement d'essais d'échauffement sous chargements multiaxiaux. 17e Congrès français de mécanique, 2005, Troyes, France. hal-04270493

HAL Id: hal-04270493

<https://hal.science/hal-04270493>

Submitted on 4 Nov 2023

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.

Développement d'essais d'échauffement sous chargement multiaxiaux

Martin Poncelet¹, Cédric Doudard¹, Sylvain Calloch², Philippe Cugy³, André Galtier³

¹Laboratoire de Mécanique et technologie (LMT-Cachan)
61, Avenue du Président Wilson
94235 CACHAN

²Laboratoire de Mécanique des Structures Navales (ENSIETA)
2, rue François Verny
29 806 BREST Cedex 9

³Institut de Recherche de la SIDérurgie (IRSID, groupe ARCELOR)
Voie romaine B.P. 30320
F-57283 MAIZIERES-LES-METZ Cedex

Résumé :

Afin d'étendre un modèle de prévision de courbe de Wöhler à partir de courbe d'échauffement aux chargements proportionnels multiaxiaux, un essai d'échauffement biaxial sur éprouvette en croix a été développé. L'éprouvette sandwich a été optimisée avec un code EF afin d'homogénéiser les contraintes de la zone utile. Le montage ainsi que les mesures ont été validées par mesures de déformation et mesure de champ de température. Le protocole expérimental combine une détection d'offset en température et un enchaînement de différents trajets proportionnels, ce qui permet de tracer une « surface d'iso-température ».

Abstract :

A biaxial thermal test was developed to extend a probabilistic two-scale model for HCF Life prediction. A cruciform sandwich test specimen was optimized using FEM in order to homogenize stress field. Loadings and measurements were verified using strain and temperature field measurements of the test region. Experimental strategy consists of different proportional loading paths, one stopping and the next starting when stabilized mean differential temperature reaches a given offset. A iso-temperature surface is plotted as a result.

Mots clefs :

FGNC, Essais d'échauffement, Chargement multiaxial, acier dual phase.

1 Introduction

Le caractère multiaxial des sollicitations est de plus en plus pris en compte lors de la conception de structures mécaniques. Malheureusement la lourdeur des essais classiques de FGNC (nombreuses éprouvettes, durée de chaque essai importante) est un frein à la prise en compte de la multiaxialité lors de sollicitations de fatigue.

Depuis plusieurs années des études ([1], [2], [3], [4], [5]) ont montré l'intérêt des essais d'échauffement dans le domaine de la fatigue. Un essai d'échauffement consiste à solliciter une éprouvette avec un chargement cyclique d'amplitude constante par palier. Pour chaque palier de contrainte, la température de la zone utile est mesurée. Une des exploitations possibles est de tracer la « courbe d'échauffement », c'est à dire la température stabilisée en fonction de l'amplitude de contrainte (FIG. 1). Par le biais d'une méthode empirique, il est alors possible de retrouver très rapidement – puisque l'éprouvette ne subit que quelques dizaines de milliers de cycles – et pour de nombreux matériaux (aciers, aciers inoxydables, fonte et même fibres de verre) une estimation de la limite d'endurance en moyenne.

[5] a en outre montré que les caractéristiques de dispersion peuvent être déduites d'un seul essai d'échauffement par l'intermédiaire d'un modèle probabiliste à deux échelles de prévision de FGNC. Ce modèle est basé sur l'hypothèse que l'élévation de température est due à la micro plasticité de grains favorablement orienté par rapport à la sollicitation. Un calcul grâce au modèle d'Eshelby dans le cas d'écrouissage cinématique permet d'obtenir la dissipation d'un site (grain ou amas de grain) au sein d'un VER purement élastique. Un processus ponctuel de Poisson, justifié par des observations microscopiques [6], apporte l'aspect probabiliste de l'apparition des grains dissipatifs. On obtient alors une expression (1) de la température stabilisée fonction de l'amplitude de contrainte Σ , où $V_0 S_0^m$ et ηV_0 sont des paramètres du matériau et m le paramètre de dispersion.

$$\bar{\theta} = \eta V_0 \frac{m}{((m+1)(m+2))} \left(\frac{\Sigma^{m+2}}{(V_0^{1/m} S_0)} \right)^m \quad (1)$$

Le travail présenté dans cet article consiste à déterminer les propriétés à la fatigue ainsi que l'influence du caractère multiaxial du chargement, ceci grâce à un seul essai d'échauffement en traction / compression biaxiale sur une éprouvette en croix. Pour cela une contrainte équivalente doit être introduite dans le précédent modèle afin piloter l'intensité du processus ponctuel de Poisson dans le cas de chargements proportionnels. Le choix de cette contrainte équivalente peut alors se faire par comparaison entre surface d'« iso-température » expérimentale (par analogie avec les surfaces de plasticité) et plusieurs surfaces théoriques correspondant à différentes contraintes équivalentes. La conception de l'éprouvette et son matériau sont tout d'abord présentés. Suivent ensuite la validation du montage expérimental ainsi que la description du protocole. Enfin les résultats obtenus sont exposés et discutés.

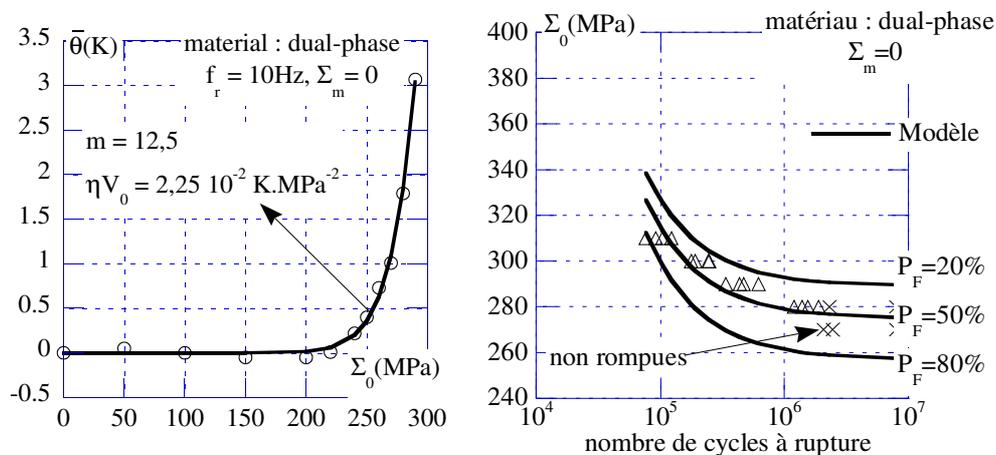


FIG. 1 – Courbe d'échauffement du DP60 et identification des paramètres d'après [5].

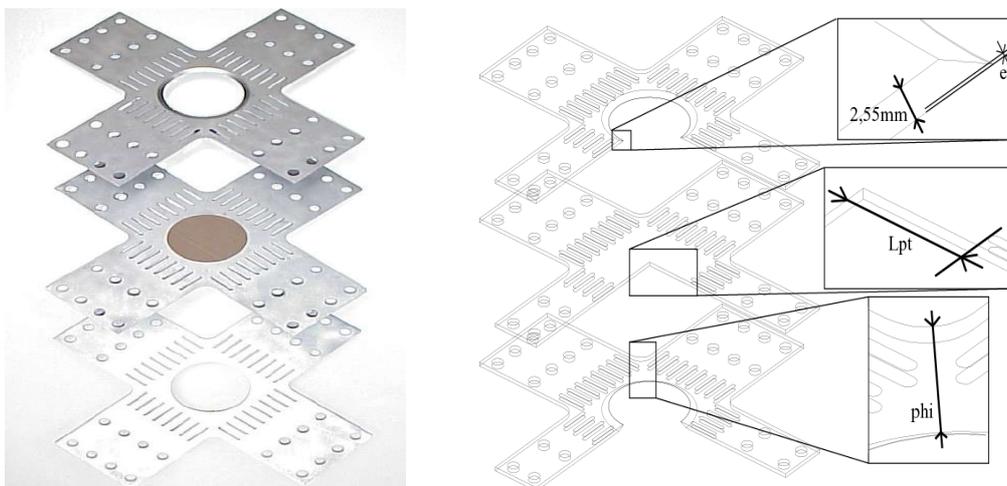


FIG. 2 – (a) Vue des 2 plaques talons et de la plaque centrale constitutives de l'éprouvette avant collage ; (b) Eclaté de l'éprouvette avec section d'un quart. Représentation des trois paramètres géométriques indéterminés.

2 Moyens d'essais

2.1 Éprouvette

L'éprouvette est réalisée à l'aide de tôle d'acier biphasé laminé à chaud (désignation Arcelor: DP60) présentant un compromis intéressant entre résistance élevée et emboutissabilité ($R_e > 300$ MPa, $R_m > 600$ MPa, $A = 25\%$).

La géométrie de l'éprouvette en croix est inspirée de [7]. La zone utile centrale est d'épaisseur moindre afin d'y augmenter l'intensité des contraintes et des trous oblongs sont présents à la base des bras afin de leur garantir une certaine souplesse transversale et ainsi limiter la reprise des efforts d'un axe par l'autre axe. Pour garder les caractéristiques initiales de la tôle, l'amincissement de la zone utile est obtenu non pas par usinage mais par collage de deux plaques « talons » où la zone centrale a été évidée (FIG. 2(a)), finie par un congé de raccordement d'épaisseur finale e . Les paramètres géométriques non contraints sont e , la distance des trous oblongs au centre LTP et enfin la distance minimum de la zone utile au bord de l'éprouvette Φ (voir FIG. 2(b)). Ce triplet de paramètres est choisi minimisant l'écart-type de la contrainte de von Mises dans la zone utile lors d'une simulation de sollicitation de bitraction sous CAS3M.

2.2 Validation du montage expérimental

Le montage est réalisé dans la machine d'essais multiaxiaux ASTREE développée par le LMT-Cachan et Schenck AG. Deux vérins hydrauliques indépendants sont disponibles sur chacun des 3 axes selon un repère cartésien, ceux dans le plan horizontal ayant une capacité de charge de 100kN et ceux dans le plan vertical de 250kN. Chacun est réglable en hauteur de manière indépendante grâce à des vérins auxiliaires. Enfin des paliers hydrostatiques guident les tiges de vérins afin que les efforts transversaux transmis par l'éprouvette ne les endommagent pas. Le pilotage utilise un asservissement particulier dit

« modal effort » qui consiste à contrôler sur chaque axe la position du centre de l'éprouvette (la différence de déplacement des deux vérins) et l'effort moyen imposé (la moyenne des efforts appliqués par les deux vérins). Les 4 vérins horizontaux pouvant être réglés en hauteur et étant similaires en tout points, l'éprouvette est montée dans ce plan de la machine afin de minimiser les contraintes initiales et s'approcher des conditions idéales de symétrie (tant thermique que mécanique).

Les déformations initiales et sous sollicitations ont été mesurées à l'aide de 2 jauges selon les axes de l'éprouvette sur chaque face de la zone utile. Au terme de plusieurs modifications, le montage permet d'induire des contraintes de bridage constantes inférieures à 5% de l'amplitude maximum des contraintes lors d'essai. En outre les contraintes sous sollicitations de bitraction sont quasi symétriques [8].

Afin de justifier la mesure par thermocouple (type Cu/Cu-Ni, mesure différentielle entre centre de la zone utile et un des mors), une mesure du champ thermique par caméra infrarouge (JADE IRFPA, 320x256 pixels, MWIR (3-5 μm)) a été réalisé tout au long d'un palier d'un essai de bitraction. L'analyse du film ainsi réalisé permet d'apprécier l'homogénéité spatiale de la température dans la zone utile tout au long de l'échauffement, ceci malgré la présence de concentrations de contraintes proches de la zone utile.

2.3 campagne d'essais

L'éprouvette est sollicitée selon les différents trajets de chargements proportionnels présentés (FIG. 3a). Suivant un trajet le chargement est constitué d'un signal sinusoïdal de moyenne nulle et d'amplitude croissante par palier comme pour un chargement d'essai d'échauffement uniaxial (FIG. 3b). Lorsque qu'au cours d'un trajet la température relative de la zone utile en régime établi dépasse un offset arbitrairement choisi (ici 1°C), le chargement est arrêté et le suivant commence. Une telle procédure « à détection d'offset » permet de minimiser l'accumulation de cycles sur une même éprouvette et permet donc de réaliser un plus grand nombre de trajets différents sans subir d'effet d'histoire.

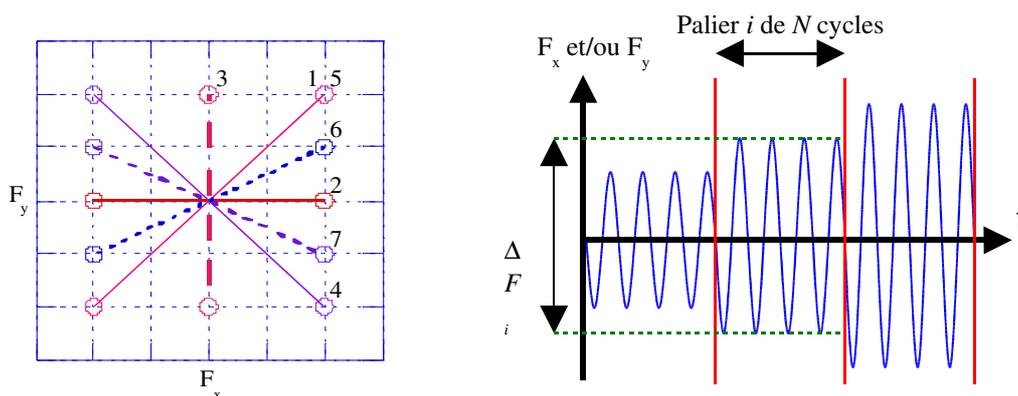


FIG. 3 – (a) Ordre des trajets de chargement; (b) type de chargement selon un trajet donné.

3 Résultats

Le dépouillement classique des mesures de température permet d'obtenir une courbe d'échauffement « partielle » (puisque s'arrêtant au premier point au dessus du seuil) par trajet de chargement (voir FIG. 4(a) pour exemple)

3.1 Effet d'histoire

Le trajet n°5 est en tout point identique au n°1 mais est imposé après les 4 premiers chargements afin d'observer l'effet d'histoire. La variation de l'amplitude d'effort correspondant au seuil de température est alors l'ordre de 2,5% (FIG. 4(a)). L'effet d'histoire est en conséquence négligé.

3.2 Influence de l'offset sur la surface d'iso-température

Pour chaque trajet une interpolation linéaire permet de trouver l'amplitude d'effort correspondant à un seuil de température choisi. Connaissant ces efforts et la relation liant les efforts appliqués aux contraintes dans la zone utile, on peut tracer une surface d'« iso-température » pour chaque seuil choisi (FIG. 4(b)). On remarque que dans le cas de faibles seuils (0,4°C et 0,6°C) la forme de la surface dépend du seuil, tandis que pour des seuils plus importants cette forme en est indépendante (cas des seuils de 0,8°C et 1°C). La taille de la surface quant à elle est évidemment croissante avec le seuil, mais ceci n'entre pas dans le cadre de l'étude présentée.

3.3 Surface d'iso-température

La surface d'iso-température choisie correspond donc au seuil de 1°C et est représentée FIG. 4 (c). Au vu de la quasi isotropie plane de la tôle en traction monotone et des résultats des essais d'échauffements selon les trajets 2 et 3 sensiblement équivalents, la surface est tracée en supposant l'isotropie (les symétriques des trajets 6 et 7 sont ajoutés afin de mieux faire apparaître la surface).

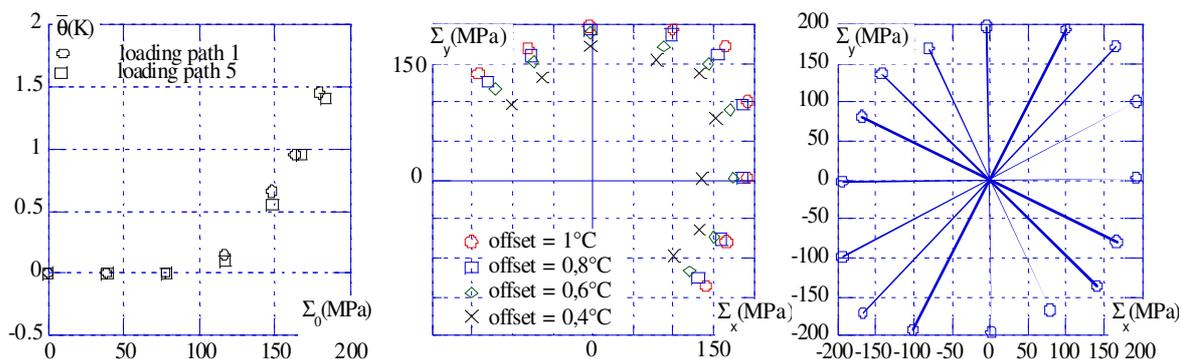


FIG. 4 – (a) Courbe d'échauffement des trajets 1 et 5 ; (b) Influence du seuil sur la forme de la surface d'iso-température ; (c) Surface d'iso-température pour un seuil de 1°C.

4 Conclusion

Un essai d'échauffement en traction / compression biaxiale sur une éprouvette en croix a été mis au point. Cet essai a été validé du point de vue des sollicitations comme des mesures ; et a permis d'obtenir de manière rapide et grâce à une seule éprouvette une surface d'iso-température pour une tôle d'acier biphasé. Cette surface permettra de choisir une contrainte équivalente lors de l'extension du modèle de prévision de FGNC aux chargements multiaxiaux.

Remerciement : Ce travail a été réalisé en collaboration avec Nippon Steel Corporation.

References

- [1]Luong, M. P. (1992). "Infrared thermography of fatigue in metals." *SPIE* **1682**: 222-233.
- [2]Krapez, J.-C., D. Pacou et C. Bertin. (1999). Application of lock-in thermography to a rapid evaluation of the fatigue limit in metals. Dans Ed. E. Grinzato et Al., éditeur, *5th AITA, Int. Workshop on advanced infrared techn. and appl.*, pages 379-385, Venezia (Italy).
- [3]La Rosa, G. and A. Risitano (2000). "Thermographic methodology for rapid determination of the fatigue limit of materials and mechanical components." *Int. J. Fat.* **22**(1): 65-73.
- [4]Mabru, C. et A. Chrysochoos. (2001). Dissipation et couplages accompagnant la fatigue des matériaux métalliques. Dans Y. Berthaud, M. Cottron, J.-C. Dupré, F. Morestin, J.-J. Orteu, et V. Valle, éditeurs, *Photomécanique 2001*, pages 375-382. GAMAC.
- [5]Doudard, C., S. Calloch, et al. (2004). "Identification of the scatter in high cycle fatigue from temperature measurements." *C.R. Mécanique*, 332(10) :795-801, 2004.
- [6]Cugy, P. and A. Galtier (2002). Microplasticity and temperature increase in low carbon steel, Dans *Proceedings of the 8th International Fatigue Conference*, volume 1, Stockholm (Suède).
- [7]Morisson, J. C. (1985). Biaxial testing cruciform specimens. Dans *Techniques for Multiaxial Creep testing*, Elsevier Applied Science: 111-126.
- [8]Poncelet, M. (2004). Développement et mise au point d'un essai d'échauffement biaxial pour l'identification rapide d'un critère de FGNC. Rapport technique, Mémoire de DEA "Mécanique et Matériaux".