

Approximation diffuse espace-temps pour les mesures de champs : Estimation des déformations et applications à la fatigue

P. Feissel^a, M. Poncelet^b et P. Villon^a

**^a : Laboratoire Roberval de Mécanique, UTC,
BP 20529 rue Personne de Roberval 60205 COMPIEGNE**

**^b : LMT-Cachan (ENS Cachan/CNRS/UPMC/PRES UniverSud Paris)
61 avenue du président Wilson 92235 CACHAN**

contact : pierre.feissel@utc.fr

Mots clefs : mesure de champs, gradient, filtrage, fatigue.

Le développement important des mesures de champs de déplacement ces dernières années, notamment grâce aux techniques s'appuyant sur les images en lumière blanche, offre de nombreuses perspectives en terme d'identification. Pour certaines applications, comme la caractérisation du comportement matériau, l'information mécaniquement pertinente contenue dans ces mesures se situe au niveau des déformations, plus que du déplacement lui-même. Il est donc nécessaire, même implicitement, d'obtenir ces déformations à partir des mesures, ce qui demande d'en estimer numériquement le gradient. Cette opération est alors très sensible aux perturbations sur les mesures et cette difficulté doit être prise en compte.

Notre choix ici est d'effectuer cette dérivation comme une étape à part entière, pour ne dépendre ni de la technique permettant l'obtention des déplacements expérimentaux, ni de l'application qui pourra aussi bien être qualitative que quantitative. L'enjeu est de contrôler cette étape et d'ainsi pouvoir quantifier les erreurs commises.

Dans une étude précédente [1], nous avons proposé une approche de reconstruction des champs de déformation basée sur l'approximation diffuse [2] en espace, traitant chaque instant de mesure des déplacements séparément.

Le principe de la méthode est d'utiliser des moindres carrés locaux, menant à une approximation diffuse du champ de déplacement. L'intérêt d'une telle approche est de fournir directement un champ de déplacement continu ainsi que sa dérivée au sens diffus, que l'on estimera aux points de mesure. Un rayon d'influence R est affecté à chaque point de reconstruction et permet de définir les points de données contribuant à la reconstruction en ce point. Lorsque le rayon R augmente, l'erreur aléatoire de reconstruction diminue mais l'erreur d'approximation augmente. La reconstruction doit donc trouver un compromis entre ces deux erreurs.

L'augmentation de R améliore le filtrage du bruit sur les dérivées, d'une part du fait du nombre croissant de points de données entrant en jeu et, d'autre part, du fait de l'augmentation de la taille physique de la zone. L'idée est donc d'ajouter la dimension temporelle à l'approximation diffuse afin d'augmenter le nombre de points de donnée et ainsi de pouvoir réduire le rayon R sur la dimension spatiale. Ceci a été proposé dans [3] où une version tridimensionnelle de l'approximation diffuse a été mise en œuvre, avec deux dimensions d'espace et une dimension temporelle. Ainsi, les données sont traitées directement en espace-temps et deux rayons sont définis : R_x , un rayon d'influence en espace, et R_t un rayon d'influence en temps. Un critère de choix du couple (R_x, R_t) est de se placer sur des courbes isofiltrage dans le plan (R_x, R_t) , garantissant le même niveau de filtrage tout en pouvant adapter la résolution spatiale, [4].

Un des avantages de l'approximation diffuse est de pouvoir enrichir la base d'approximation par

n'importe quelle fonction. Pour des applications telles que l'étude de chargements cycliques, comme lors d'essais de fatigue, où plusieurs images sont acquises sur chaque cycle, il est envisageable d'enrichir la base par des fonctions périodiques, typiquement sinusoidales. Cette approche a été mise en œuvre et des premiers résultats encourageants ont été obtenus sur des essais de fatigue.

La méthode sera illustrée dans un premier temps et dans sa version polynomiale espace-temps avec une application sur composite interlock dans le but de détecter les premières non-linéarités locales correspondant à l'apparition d' endommagements.

Elle sera appliquée dans un second temps à un essai de fatigue biaxiale à grand nombre de cycles sur matériau élasto-plastique. Une technique stroboscopique permet d'obtenir les champs cinématiques de la zone utile hétérogène d'une éprouvette cruciforme, à différents instants d'un cycle de chargement [5]. Utilisée à intervalles réguliers, cette technique donne accès à l'évolution des amplitudes de déformations tout au long de la vie de l'éprouvette. Ces champs cycliques en temps peuvent justement bénéficier de l'enrichissement périodique en temps de l'approximation diffuse espace temps.

Références

- [1] Stéphane Avril, Pierre Feissel, Fabrice Pierron, and Pierre Villon. Comparison of two approaches for differentiating full-field data in solid mechanics. *Measurement Science and Technology*, 21(1) :015703, 2010.
- [2] B. Nayroles, G. Touzot, and P. Villon. La méthode des éléments diffus. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, Sciences de la Terre*, 313(2) :133–138, 1991.
- [3] Thierry Roland, Pierre Feissel, Marion Risbet, Delphine Brancherie, and Jean-Marc Roelandt. Étude de l'amorçage de fissures en fatigue d'un acier par corrélation d'images. In *19^e Congrès Français de mécanique*, Marseille, France, août 2009. AFM.
- [4] Thierry Roland, Pierre Feissel, Marion Risbet, Delphine Brancherie, and Jean-Marc Roelandt. Early fatigue damage detection in stainless steel through digital image correlation studies. In *Fatigue Design 2009*, Senlis, France, november 2009. CETIM.
- [5] M. Poncelet, G. Barbier, B. Raka, S. Courtin, R. Desmorat, J.C. Le-Roux, and L. Vincent. Biaxial high cycle fatigue of a type 304l stainless steel : cyclic strains and crack initiation detection by digital image correlation. *European J. Mechanics A/Solids*, 29(5) :810–825, 2010.