



HAL
open science

Projet SURFFEOL: Apport d'un modèle d'endommagement dépendant du temps pour la fatigue de structures offshore monitorées

Benjamin Rocher, Franck Schoefs, M.L.M. François

► **To cite this version:**

Benjamin Rocher, Franck Schoefs, M.L.M. François. Projet SURFFEOL: Apport d'un modèle d'endommagement dépendant du temps pour la fatigue de structures offshore monitorées. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01515079

HAL Id: hal-01515079

<https://hal.science/hal-01515079>

Submitted on 27 Apr 2017

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.

Public Domain

Projet SURFFEOL : Apport d'un modèle d'endommagement dépendant du temps pour la fatigue de structures offshore monitorées

B. Rocher^{1,2}, F. Schoefs¹, M. François¹,

¹ LUNAM Université, École Centrale de Nantes, Université de Nantes, CNRS, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), 1 rue de la Nôe, F-44321 Nantes, France.

² STX France Solutions SAS
Avenue Chatonay, CS 30156 44613 Saint-Nazaire Cedex

Résumé — Les fondations métalliques des éoliennes offshore sont fortement sensibles au phénomène de fatigue. Les méthodes de dimensionnement actuelles en fatigue proposées par les règlements sont à ce jour un frein à l'optimisation des structures et à la prise en compte des aléas. Nous proposons alors un modèle d'endommagement incrémental à deux échelles permettant ainsi de suivre l'évolution temporelle du paramètre d'endommagement. Cette notion temporelle est importante puisqu'elle autorise la mise à jour des paramètres du modèle à l'aide de relevés issus du Contrôle de Santé des Structures. Dans cet article, nous nous focalisons sur la mise à jour des paramètres du modèle d'endommagement à partir d'essais, à l'aide de la méthode de l'actualisation bayésienne et d'un algorithme MCMC.

ABSTRACT. The metal foundations of offshore wind turbines are highly sensitive to the fatigue phenomenon. To date, current methods of fatigue design proposed in the regulations are an obstacle to the structural optimization and to the consideration of hazards. Thus, we propose an incremental two scales model of damage in order to follow the time evolution of the damage parameter. This time notion is important to the update of the model parameters using records from the Structural Health Monitoring. In this article, we focus on updating the parameters of the damage model using experimental data and the method of Bayesian updating based on an MCMC algorithm.

Mots clés — Fatigue ; Endommagement ; Fiabilité ; Actualisation bayésienne

1. Introduction

Dans le domaine de l'éolien offshore, les préoccupations de conception des fondations sont bien différentes de celles rencontrées dans l'offshore pétrolier. La grande quantité de fondations sur un champ d'éoliennes contraste avec le caractère prototype des plateformes que l'on rencontre dans le secteur industriel « Oil & Gas ». Par ailleurs, le contexte économique de rentabilité de l'énergie électrique oblige les industriels à optimiser leurs fondations de manière à réduire les coûts de production. Cela passe par une faible redondance des éléments structurels (ex : réduction du nombre de composants) ce qui implique une marge de sécurité bien plus faible lors des calculs. Ceci est rendu possible par les analyses de risque puisque les conséquences humaines (structures non habitées) et écologiques sont bien moindres.

Pour le dimensionnement des structures offshore en construction métallique, la fatigue est un des points clés de l'ingénierie. Après avoir identifié les nombreuses faiblesses de la méthode de fatigue spectrale, actuellement utilisée dans ce domaine, nous proposons une analyse incrémentale en apparition de fissure (endommagement). En effet, ce choix permet de limiter les risques de pertes d'éléments de structure dans une approche de prévention de l'apparition de fissure. L'approche

contraste avec les règles de dimensionnement actuelles où les instants d'apparition de fissure et de rupture sont confondus [1] ainsi qu'avec les approches récentes de fiabilité en fatigue qui se focalisent sur la phase de propagation de fissure [2].

Le défi réside dans la capacité à mettre en place cette méthode dans un processus de dimensionnement fiabiliste d'une structure complexe et à pouvoir l'appliquer et l'utiliser avec une durée de mise en place acceptable et compatible avec les contraintes industrielles présentes chez STX France Solutions SAS. Deux niveaux de verrous sont à lever. Le premier concerne la préparation du modèle avec la calibration des paramètres matériau sur des essais expérimentaux et la génération de signaux temporels représentatifs des conditions environnementales (vagues, vent...) à partir de données décomposées en conditions élémentaires. Le second réside dans la réduction du temps de résolution, inconvénient de la méthode temporelle retenue, ce point n'étant pas abordé dans cet article. On se concentre ici sur le premier appliqué sur un type de structure en acier, appelé jacket (Figure 1), constitué d'assemblages de tubes soudés. On n'insiste pas ici sur le modèle à deux échelles, présenté lors de JFMS2014.

2. Modèle d'endommagement proposé

On propose un modèle d'endommagement à deux échelles, nouveau dans le domaine du dimensionnement des structures offshore qui a été initialement proposé par Lemaître [3]. Il postule qu'au sein d'une structure au comportement globalement élastique, il existe des inclusions aux propriétés du matériau dégradées (limite d'élasticité plus faible que celle de l'échelle globale, loi de comportement élasto-plastique endommageable). Le lien entre les deux échelles se fait à l'aide de la localisation de Lin-Taylor qui présuppose l'égalité entre les champs de déformation des deux échelles. Le modèle repose sur la Thermodynamique des Processus Irréversibles (TPI) où le potentiel d'état atteint un minimum à l'équilibre thermodynamique du système. Ce modèle est ici destiné à être utilisé dans les zones de soudures, couramment identifiées comme des zones de départ de fissure. On détermine, à partir de la littérature, une distribution a priori des paramètres du modèle de Lemaître à deux échelles. On propose ensuite, sur la base d'essais expérimentaux limités [4], une actualisation bayésienne de ces distributions. Pour cela, on explicite analytiquement le modèle $N_R = M_{lin}(X)$ où N_R est le nombre de cycles à la rupture et X le vecteur des variables aléatoires, dans le cas d'un essai de traction-compression sur éprouvette. Les paramètres E et μ correspondent respectivement au module d'Young et au module de cisaillement. Σ_A et σ_A sont les valeurs des amplitudes de contraintes.

$$N_R = N_D \left(\frac{(2ES)^2 C(2s+1)}{3(\sigma_A^{2s+1} - (2\sigma_y - \sigma_A)^{2s+1})} D_C \right) \quad (0)$$

Avec :

$$N_D = \frac{(C + 3\mu)p_d}{6(\Sigma_A - \sigma_y)} \quad \text{et} \quad \sigma_A = \frac{C\Sigma_A + 3\mu\sigma_y}{C + 3\mu}$$

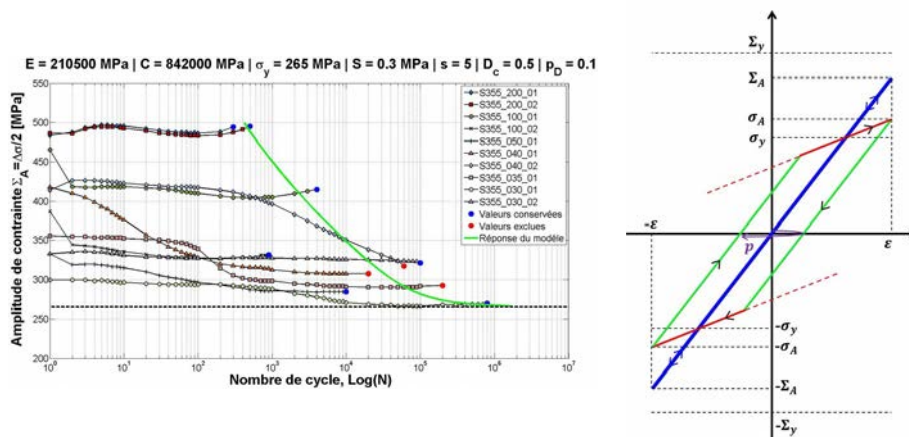


Figure 1 – Courbe de Wöhler, acier S355J2 (De Jesus, 2012)

La Figure 1 représente des trajectoires de l'amplitude de contrainte Σ_A appliquée en fonction du nombre de cycles, jusqu'à rupture. Les essais réalisés par De Jesus [4] sont effectués à déformation imposée symétrique (contrainte moyenne nulle). A chaque 1/10ème de décade, l'amplitude de contrainte est relevée et représentée sur la figure. Le point final de chaque courbe correspond au point de rupture de l'éprouvette. La courbe de Wöhler serait donc la courbe passant par l'ensemble de ces points de rupture. Il est possible d'identifier trois courbes dont l'amplitude de contrainte ne peut être considérée comme constante au cours de l'essai. Nous décidons donc d'exclure ces valeurs que nous estimons erronées (points rouges).

3. Modélisation probabiliste et actualisation bayésienne

Avant toute actualisation, il est important de considérer les étapes usuelles d'un problème mécano-probabiliste :

- Identifications des variables de base.
- Choix des distributions marginales.
- Interdépendances entre variables (co-moments, ...).

Conformément au paragraphe précédent, on choisit comme variables C , S , s , σ_y , p_d , D_c . On décide par ailleurs de considérer le module d'élasticité et le coefficient de Poisson comme des paramètres déterministes au vu de leur faible CoV (5% pour E par exemple). Le choix d'une distribution a priori uniforme intègre un caractère non informatif au contraire de distributions normales ou log-normales par exemple. Nous choisissons également l'hypothèse d'indépendance des variables aléatoires et sommes conscients que cette hypothèse est forte.

Les résultats obtenus après mise à jour à partir des essais représentés en Figure 1 sont présentés ci-dessous. Voici les coefficients de variation calculés à partir des distributions discrètes *a posteriori*.

CoV_S 0.860

$CoV_{u..}$ 0.482

CoV_{D_c} 0.631

$CoV_{\sigma} = 0.002$

$CoV_C = 0.618$

$CoV_s = 0.795$

Les CoV sont élevés, certainement à cause du peu de données disponibles. Il sera donc nécessaire de disposer de plus de données afin d'améliorer le modèle probabiliste : le monitoring visant à cela. L'effet du choix de la distribution a priori est également important si on possède peu de mesures, ce qui est notre cas.

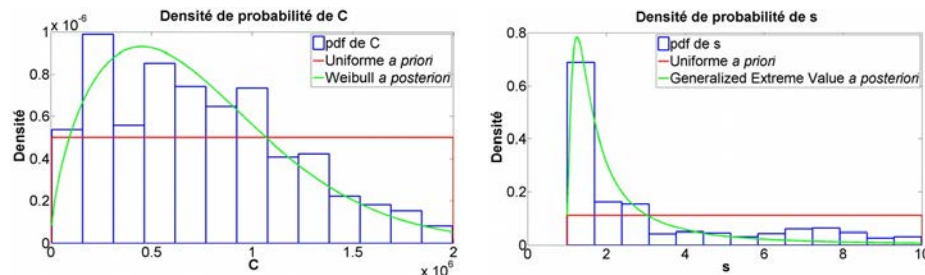


Figure 2 – Superposition de la distribution uniforme a priori, de la distribution discrète a posteriori et de la distribution ajustée a posteriori (C à gauche et s à droite)

La figure 2 montre les distributions a posteriori de deux paramètres. On constate des distributions non symétriques qui fournissent un premier niveau d'information sur la modélisation probabiliste de ces variables (Weibull, Lognormale, etc.). Le cas de s est intéressant car il met en évidence que ce paramètre n'a pas nécessairement besoin d'avoir une grande plage de variation puisque l'on observe un grand support provenant essentiellement de notre a priori. Ceci profite à notre modèle qui est très sensible à ce paramètre puisqu'il correspond à un exposant du modèle.

Références

- [1] DNV-RP-C203, Fatigue Design of Offshore Steel Structure, 2011.
- [2] Dong W., Moan T., Gao Z., « Fatigue reliability analysis of the jacket support structure for offshore wind turbine considering the effect of corrosion and inspection », Reliability Engineering and System Safety, Elsevier, 2012.
- [3] Lemaitre J., A Course on Damage Mechanics, Dunod, 1996.
- [4] De Jesus A. M. P., « A comparison of the fatigue behavior between S355 and S690 steel grades », Journal of Construction Steel Research, 2012