

Évaluation de la durée de vie des équipements de vantellerie soumis à la fatigue par une approche enrichie en fatigue probabiliste et mécanique de la rupture

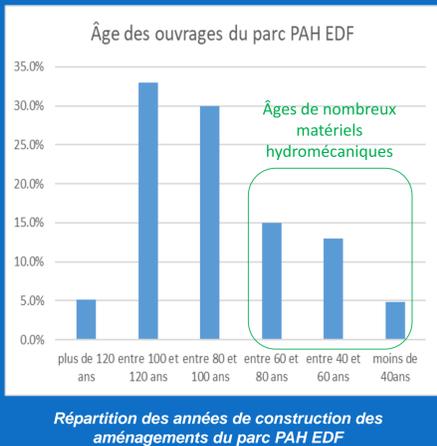
Arnaud ISAAC¹, Kamal HARB^{1,2,3,4}, Vincent MICHAUD¹, Julien BAROTH³, Rafael ESTEVEZ⁴
¹SPRETEC, Groupe Artelia; ²Fondation Grenoble INP; ³UGA|3SR; ⁴UGA|SIMaP

Contexte

Le vieillissement des structures et matériels hydromécaniques en France et dans le monde contraint les gestionnaires à choisir entre plusieurs scénarii :

- prolongation de la durée de vie,
- réparations,
- renforcements,
- remplacement complet.

Les enjeux financiers sont souvent très élevés, compte tenu des coûts de fabrication, et des pertes d'exploitation durant les arrêts. Les gestionnaires demandent donc autant d'informations que possible pour évaluer la Durée de Vie Résiduelle (DVR) et le niveau de risque associé.



Objectif de la chaire

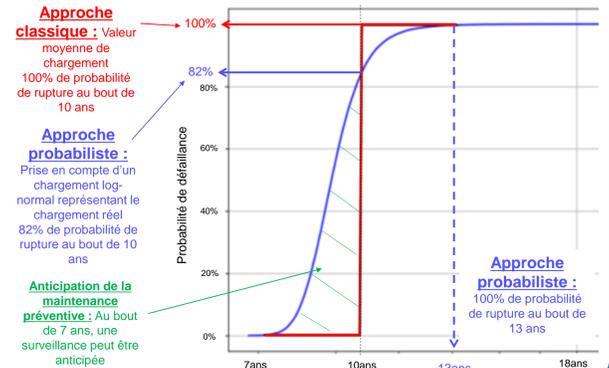
L'objectif de la chaire est de développer des connaissances sur la fatigue, la rupture et la durabilité des structures et matériels hydromécaniques.

Habituellement l'évaluation de la Durée de Vie Résiduelle (DVR) est réalisée avec des critères normatifs et déterministe. Exemple : l'EUROCODE (Courbe rouge sur le graphe ci-contre)

Aujourd'hui, Les travaux de la chaire MEDELIA ont pour ambition de nuancer le jugement déterministe « validé ou non validé » en affectant aux paramètres initiaux des lois de probabilités. Ceci permet d'intégrer les incertitudes des données d'entrée et d'enrichir l'évaluation de la DVR et des risques (Courbe bleue sur le graphe ci-contre).

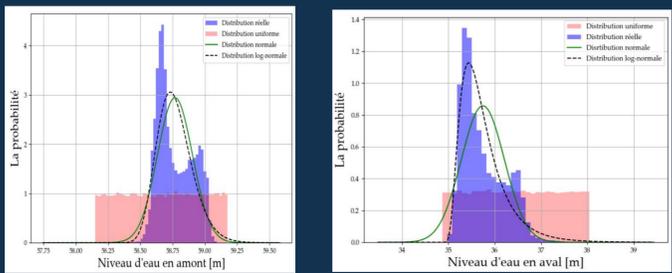
Comparatif des approches sur une soudure d'angle

(variation de charge de l'ordre de 120MPa)



Modélisation aux éléments finis stochastiques à deux échelles

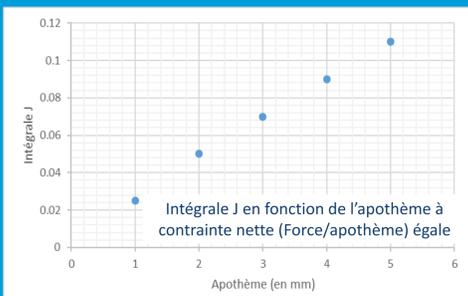
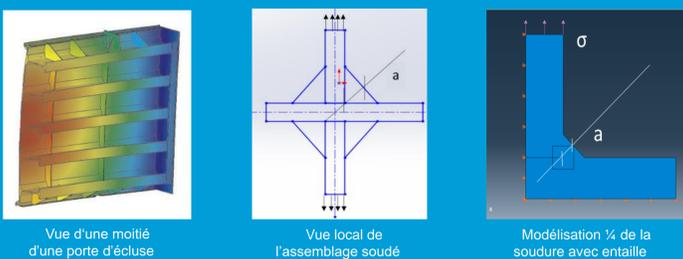
Echelle de la structure



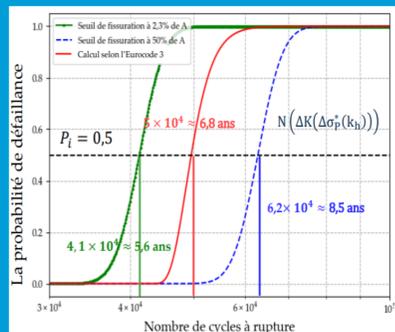
Modélisation probabiliste avec prise en compte d'une distribution du niveau d'eau amont et aval de l'écluse selon une loi log-normale.

Echelle de l'assemblage

Intégration de la mécanique de la rupture dans l'analyse de la propagation de fissure et l'évolution de la DVR des détails présentant des amorces à la fissuration.



La vitesse de propagation d'une fissure en fatigue est proportionnelle au chargement quantifié par l'intégrale J. Le graphe ci-dessus montre que la vitesse de propagation est plus grande pour des soudures avec des apothèmes importants.



Evolution de la probabilité de défaillance en fonction du taux de progression de la fissure dans l'apothème.

Variations des niveaux d'eau en amont et en aval d'une porte d'écluse

$Y \sim LN(m_h, \sigma_h)$
 Modélisation probabiliste avec une variable aléatoire suivant la distribution log-normale

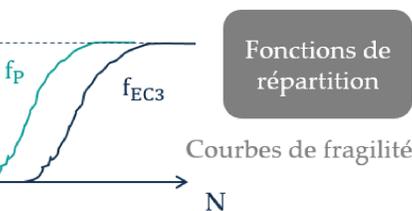
Modèle aux éléments finis de la porte M_1

Amplitude de contrainte $\Delta\sigma_{ij}$

$$\Delta\sigma_p^* = \frac{\Delta\sigma \times \gamma_{Mf} \times \gamma_{Ff} \times k_h}{f(t)}$$

Méthode de Monte-Carlo

Calcul selon l'Eurocode 3



Modèle aux éléments finis simplifié d'un assemblage avec une soudure d'angle M_2

Analyse élastique linéaire de la rupture d'un modèle aux éléments finis stochastiques

$$M_2^{ij} \circ M_1(Y)$$

Approche pour caractériser l'intensité de contrainte ΔK à la pointe de fissure pour une soudure spécifique

Intégration de la loi de Paris, f_p

Méthode de collocation stochastique

f_p

Perspectives

- Couplage des deux approches probabilistes
- Analyse et explications des méthodes semi-probabilistes des réglementations (Eurocodes, British Standard, CODAP, ASME...)
- Optimisation des stratégies de maintenance préventive.
- Plusieurs paramètres impactant la tenue en fatigue peuvent être représentés par des lois de probabilité. Nous envisageons notamment un travail sur les paramètres suivants :

- Prise en compte de la contrainte moyenne
- Signe des contraintes
- Qualité des soudures
- Chargement thermique
- Vibrations



Références

EN 1993-1-9. Eurocode 3 : Design of steel structures - Part 1-9 : Fatigue [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC] ; 2005.
 Stefanou, G., 2009. The stochastic finite element method: Past, present and future. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 198, 1031–1051. doi: 10.1016/j.cma.2008.11.007
 JRC, JRC43401, Assessment of Existing Steel Structures : Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life, EUR 23252 EN – 2008.
 BS-7910_Guide to methods for assessing the acceptability of flows in metallic structure (2013)