

Évaluation de l'état de fissuration des portes d'écluses de la CNR par réduction de modèle

T. Maquart¹, T. Elguedj¹, A. Duval¹

¹ Université de Lyon, INSA-Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS, France, {tristan.maquart,thomas.elguedj,arnaud.duval}@insa-lyon.fr

Résumé — La maintenance d'ouvrages génie-civil tels que les barrages et portes d'écluses est particulièrement technique, coûteuse et contrainte par l'eau. Cet article présente un outil permettant l'évaluation en temps réel de défauts critiques comme la fissuration dans les portes d'écluses sans confirmation visuelle ni calculs chronophages. Ces résultats sont obtenus grâce à la construction d'un modèle d'ordre réduit utilisant une technique de HOPGD sur un maillage coque de référence ou les fissures sont projetées. Enfin, ces données sont utilisées pour préparer, planifier, améliorer les opérations de maintenance prévues sur l'ouvrage concerné.

Mots clés — Réduction de modèle, Fissuration dans les coques, Analyse statistique de forme.

1 Introduction

Depuis quelques années, beaucoup d'applications dans le domaine des méthodes numériques pour la mécanique sont dédiées aux modèles d'ordres réduits. De plus en plus de simulations numériques demandent la détermination en temps réel ou quasi réel de solutions complexes [1, 2, 3]. Les applications embarquées en sont un exemple. Les modèles rencontrés récemment sont multi-paramétriques et possèdent de plus en plus d'étapes gourmandes en temps de calcul afin de satisfaire une certaine exigence de précision. Dans ces travaux, nous nous concentrerons sur une méthode de réduction efficace adaptée pour de gros modèles numériques [4], la technique HOPGD.

Pour des études fortement multi-paramétriques, il est parfois très difficile d'échantillonner un grand espace des paramètres avec précision. Certaines techniques existent afin de parcourir ces hypers-espaces de manière intuitive tout en réduisant drastiquement le nombre de snapshots à calculer [5, 6, 7]. Nous adopterons ces approches afin de sélectionner avec soins nos calculs préliminaires à la construction de notre modèle réduit.

La fissuration est un défaut mécanique pouvant entraîner des dysfonctionnements majeurs dans les ouvrages génie-civil métalliques et béton armé. De plus la prise en compte de ces défauts complexifie la construction d'un modèle réduit car une même dimension de données doit être utilisée pour la réduction. Des méthodes existent afin de morpher des maillages [8] ou pour définir un maillage de référence [9].

Dans cet article, nous nous intéressons dans un premier temps au modèle numérique de la porte d'écluse étudiée, puis aux paramètres physiques qui détermineront les entrées de notre modèle réduit. Par la suite, des détails sur la construction de notre abaque avec la technique HOPGD sont donnés. Enfin, nous montrons et discutons l'étape d'évaluation du ROM.

2 Modèle numérique

2.1 Généralités

Notre modèle numérique de porte d'écluse est implémenté sur ABAQUS/CAE avec des éléments coques S3 (voir figure 1). La porte est composée de raidisseurs perpendiculaires pour s'opposer à la pression de l'eau. Cette géométrie est construite à partir de plans actuels fournis par la CNR (Compagnie Nationale du Rhône). Nous déterminons les conditions limites à l'aide de certaines données techniques issues du génie-civil. La déformée ainsi obtenue sur porte saine est comparée aux données capteurs afin de valider empiriquement notre approche mécanique.

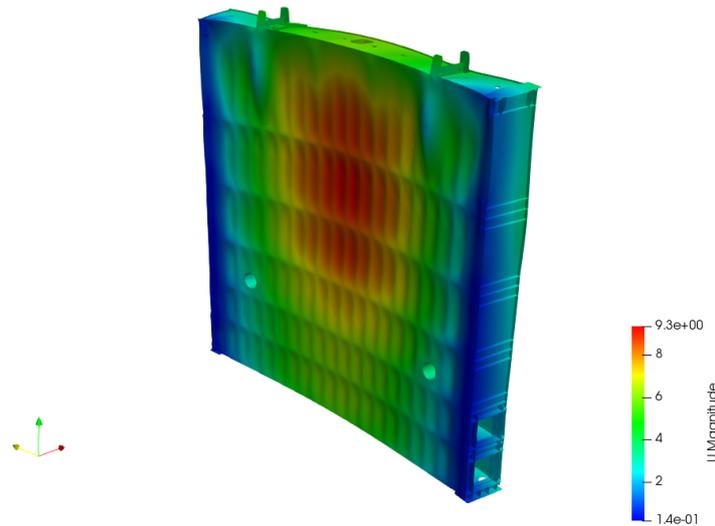


FIGURE 1 – Déformée de la porte d'écluse non fissurée sous chargements (magnitude du déplacement).

2.2 Fissuration

La fissuration exposée dans cet article ne prend pas en compte de propagation et d'initiation. Elle est incorporée dans le modèle numérique sous forme de défaut structural pouvant varier par zone de fissuration (e.g. longueur de fissure). Le maillage est raffiné autour de la fissure pour améliorer localement la qualité des champs calculés.

2.3 Paramètres mécaniques significatifs

Il nous faut identifier avec soin les paramètres mécaniques variables de ce problème afin d'être capable d'évaluer notre modèle d'ordre réduit avec fiabilité et dans une plage donnée (voir section 3.1). Pour ce faire, nous identifions facilement le couple de températures eau/air qui va avoir tendance à dilater/contracter la porte perpendiculairement au flux d'eau. De plus, au fil de la saison, le niveau d'eau est variable. Pour finir, différentes zones de fissuration sont implémentées grâce à un retour d'expérience fort de plusieurs années sur ce type d'ouvrage.

3 Construction et évaluation du modèle d'ordre réduit

3.1 Sélection et échantillonnage des paramètres

Les paramètres précédemment cités ci-dessus vont donc devenir nos paramètres et plages de paramètres pour le calcul de nos snapshots. Afin d'échantillonner un très grand espace des paramètres (15 zones de fissuration avec leurs tailles/longueurs de fissures, 3 paramètres mécaniques) nous adoptons deux techniques différentes : une technique de sparse grid [5] pour les cas de fissuration et un produit tensoriel pour les coupler aux paramètres mécaniques comme dans nos travaux précédents [9]. Cette méthode à l'avantage de pouvoir échantillonner les différentes géométries/maillages indépendamment des paramètres physiques.

3.2 Positionnement des capteurs à l'aide d'une analyse statistique de forme

Dans une situation réelle de porte d'écluse chargée où l'on souhaite détecter l'apparition de fissures dans certaines zones, il nous faut placer des capteurs de déplacements à des endroits stratégiques et soigneusement définis. Ce sont par la suite ces capteurs qui vont permettre de déterminer l'état des défauts structuraux via le modèle d'ordre réduit (voir section 3.4).

Nous décidons donc d'analyser les modes géométriques liés à l'influence de la fissuration sur la déformée et ce en balayant les paramètres mécaniques et les possibles couples de fissures avec leurs

tailles respectives. On mène donc une analyse statistique de forme (voir [9, 10, 11]) sur un maillage de référence. On peut trouver une illustration des 3 premiers modes de fissuration en figure 2 (fissures arbitraires).

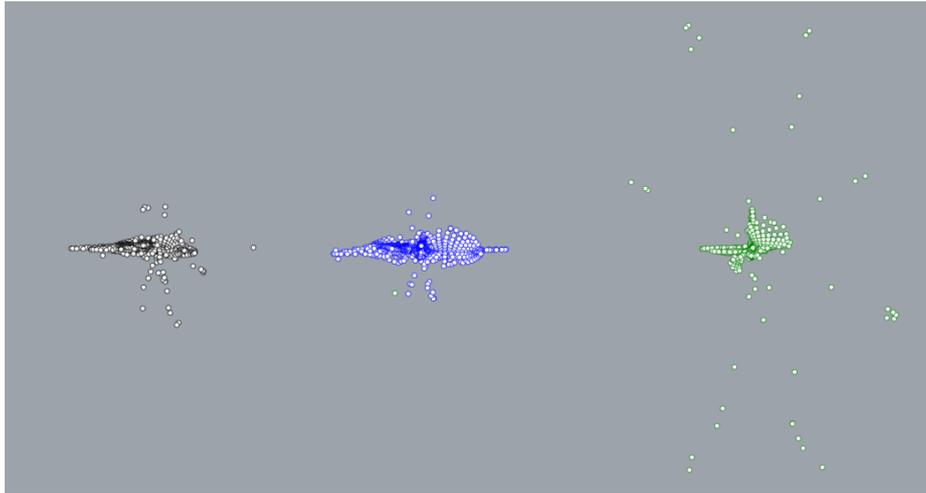


FIGURE 2 – Trois premiers modes de fissuration de gauche à droite, il y a ici 230105 points pour chaque mode.

Rappelons que l'on peut exprimer chaque snapshot géométrique qui a permis de construire la statistique de forme de la manière suivante :

$$\mathbf{M}_j^{rom} = \sum_{k=1}^{rom} \alpha_k^j \psi_k, \quad (1)$$

Où \mathbf{M}_j^{rom} est le snapshot j à l'ordre réduit rom . Les tenseurs ψ sont les modes géométriques et les α leurs coefficients. Notre porte d'écluse fissurée peut donc s'exprimer comme combinaison linéaire de modes de fissurations auxquels une géométrie initiale non déformée a été ajoutée (voir figure 3).

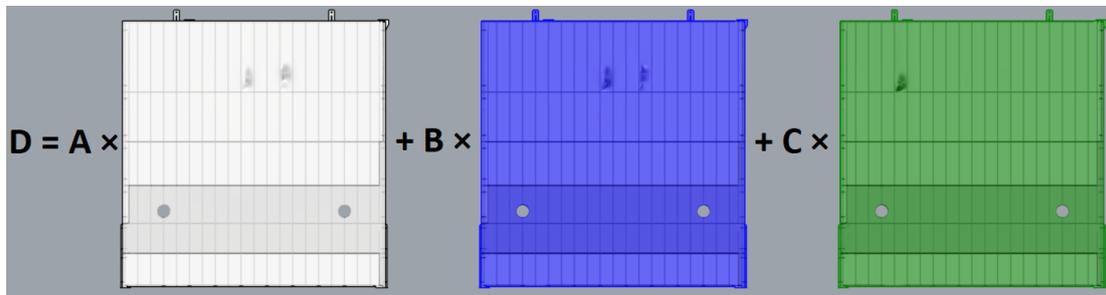


FIGURE 3 – Une situation fissurée D peut s'exprimer dans une base réduite (trois premiers modes augmentés d'une géométrie sans déformation). Les coefficients A , B et C définissent la situation fissurée.

Le placement des capteurs de fissuration (capteurs C) est opéré en analysant la magnitude maximum pour chaque mode comme illustré en figure 4.

3.3 Construction du modèle

Une technique de HOPGD développée au sein du LaMCoS est mise en œuvre pour construire le modèle. Ce code permet, une fois la base initiale réduite construite, de rajouter des snapshots afin d'enrichir le modèle. Des milliers de calculs sur ABAQUS/CAE sont nécessaires afin d'obtenir une solution acceptable pour la base initiale. La matrice est assemblée sur un cluster de calcul avec 1To de RAM.

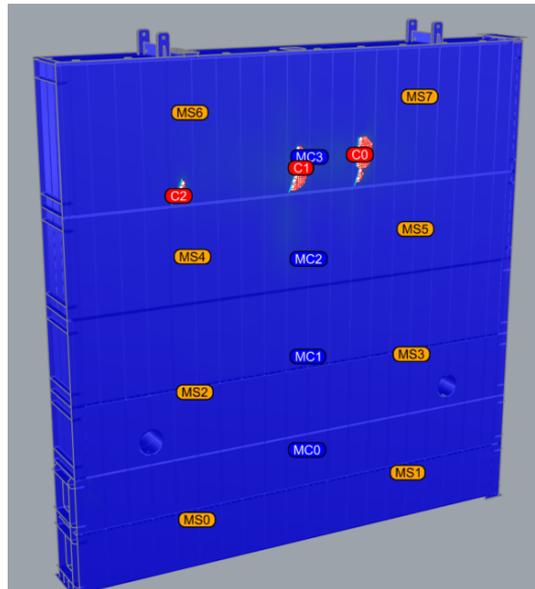


FIGURE 4 – Placement automatique des capteurs. Les capteurs MC, MS et C sont respectivement les capteurs centraux, de cotés et de fissurations.

3.4 Évaluation du modèle d'ordre réduit

L'évaluation de l'état de fissuration de notre porte d'écluse est effectuée en deux étapes distinctes. Dans un premier temps, les paramètres mécaniques actuels fixés permettent de parcourir un hyper-espace de dimension 15 contenant les combinaisons de fissuration avec leur tailles. Un front de Pareto permet de relier les données capteurs réelles avec celles du modèle réduit. La taille des fissures par zones en est donc déduite.

4 Conclusion

Ces travaux présentent une méthode de réduction de modèle adaptée à la fissuration ou les changements de géométrie/maillage compliquent la mise en données. De plus, le nombre important de cas de fissurations possibles nous impose de traiter et de choisir nos snapshots avec des méthodes adéquates.

Le bon positionnement des capteurs à l'aide d'une analyse statistique de forme permet donc de minimiser le nombre et le coût d'installation de ces derniers. Cette technique de placement garantie la meilleure place pour détecter de faibles variations de déplacement liées à l'état de fissuration actuel de la porte.

Du travail supplémentaire est en cours afin de valider notre modèle réduit sur la porte d'écluse d'Avignon en concertation avec la CNR.

Références

- [1] Francisco Chinesta, Amine Ammar, and Elías Cueto. Recent advances and new challenges in the use of the proper generalized decomposition for solving multidimensional models. *Archives of Computational methods in Engineering*, 17(4) :327–350, 2010.
- [2] Francisco Chinesta, Pierre Ladeveze, and Elías Cueto. A short review on model order reduction based on proper generalized decomposition. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 18(4) :395, 2011.
- [3] Ye Lu. *Construction d'abaques numériques dédiés aux études paramétriques du procédé de soudage par des méthodes de réduction de modèles espace-temps*. PhD thesis, Université de Lyon, 2017.
- [4] Francisco Chinesta, Roland Keunings, and Adrien Leygue. *The proper generalized decomposition for advanced numerical simulations : a primer*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [5] Y Lu, N Blal, and A Gravouil. Adaptive sparse grid based hopgd : Toward a nonintrusive strategy for constructing space-time welding computational vademecum. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 114(13) :1438–1461, 2018.

- [6] Tristan Maquart, Y Wenfeng, T Elguedj, A Gravouil, and M Rochette. 3d volumetric isotopological meshing for finite element and isogeometric based reduced order modeling. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 362 :112809, 2020.
- [7] Tristan Maquart, Thomas Elguedj, Anthony Gravouil, and Michel Rochette. 3d b-rep meshing for real-time data-based geometric parametric analysis. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 8(1) :1–28, 2021.
- [8] Najah Hraiech. *Morphing de maillage et indexation de forme pour la modélisation du fémur humain*. PhD thesis, Rennes 1, 2010.
- [9] Tristan Maquart. *Trivariate models generation from unstructured surface manifolds for isogeometric analysis - application to reduced order modeling with geometric parameters*. PhD thesis, Université de Lyon, INSA de LYON, École Doctorale MEGA ED162, 2019.
- [10] Vincent Luboz, Mathieu Baille, Christelle Boichon Grivot, Michel Rochette, Bruno Diot, Marek Bucki, and Yohan Payan. Personalized modeling for real-time pressure ulcer prevention in sitting posture. *Journal of tissue viability*, 27(1) :54–58, 2018.
- [11] Lorenzo Grassi, Enrico Schileo, Christelle Boichon, Marco Viceconti, and Fulvia Taddei. Comprehensive evaluation of pca-based finite element modelling of the human femur. *Medical Engineering and Physics*, 36(10) :1246–1252, 2014.