

Présentation du principe et du logiciel de fusion de données appliqués aux ENDs en Génie Civil

Mohammed Loudiyi¹, Jeremy Rabone¹ and Vincent Garnier¹

¹Affiliation Aix Marseille Université, Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA) - AMU - CNRS -

RESUME

La surveillance des ouvrages en béton par des Essais Destructifs (ED) sur prélèvements peut être remplacée avec un moindre coût et sans endommagement de la structure par des Essais Non Destructifs (END). Les techniques non destructives peuvent être employées dans les ouvrages en béton à des fins de détection ou de quantification. Dans le premier cas, il s'agit de détecter la présence d'un défaut (fissure par exemple) en combinant plusieurs END et en s'appuyant sur leurs sensibilités aux changements. Dans le deuxième cas, il s'agit de quantifier une grandeur à partir des END en s'appuyant sur des modèles de conversion.

Ces démarches de combinaison, de conversion et d'optimisation ont été implantées dans deux outils de fusion MATLAB. Nous consacrons ce document pour présenter l'outil de quantification des caractéristiques d'un béton. Une brève description du principe de la méthode de fusion, de l'outil développé ainsi qu'une application concrète, sur des données issues de nombreux projets nationaux (Senso, Evadeos, ACDC, ENDE) seront présentés.

Mots-clefs Fusion de données, Essais Non Destructifs, auscultation du béton

I. INTRODUCTION

La conception des ouvrages en béton est fondée sur une durée de vie théorique, mais la dégradation des ouvrages nécessite une maintenance régulière impliquant souvent des essais coûteux. Leur réparation si nécessaire demande ainsi des travaux de rénovation importants. Un objectif est de réduire les coûts de la surveillance afin de favoriser une maintenance préventive plutôt que curative ce qui devrait permettre aussi d'augmenter la durée de vie des ouvrages et de réduire le coût de gestion. La surveillance souvent visuelle ne permet de détecter que des informations visibles en surface ou encore nécessitant des essais destructifs (ED) sur prélèvements qui ne sont pas toujours réalisables. Les Evaluations Non Destructives (END) permettent soit de réduire les coûts soit de multiplier les auscultations des ouvrages.

Les mesures d'END réalisées dans le cadre de l'auscultation des structures en béton ont pour objectif soit de quantifier les propriétés du béton, soit de détecter et localiser un défaut ou une singularité dans le béton [BRE 08]. Les difficultés des END sont que, contrairement aux EDs qui fournissent des données directement quantifiables, les informations des END dites observables, sont corrélés aux propriétés du béton, dites indicateurs, par des modèles de conversion « observables-indicateurs ». De plus ces techniques sont souvent sensibles à plusieurs propriétés du béton qu'il est nécessaire de décorréliser. Les évolutions des observables face aux indicateurs peuvent être complémentaires pour résoudre ces difficultés. La fusion de données s'appuie sur cette complémentarité pour évaluer les propriétés mécaniques, physiques et hydriques du béton.

L'exploitation des données issues de mesures d'END nécessite ainsi plusieurs démarches de mise en forme, de combinaison, de recalage et d'optimisation pour non seulement améliorer la justesse de l'information mais aussi pour décorrélérer les indicateurs et obtenir une qualité d'estimation plus fidèle que celle issue d'une seule source de données. Ces démarches sont disponibles sous la forme d'un logiciel de fusion associé à des guides. Nous présentons par la suite le principe de la méthode de fusion et du logiciel développé pour la caractérisation des propriétés du béton ainsi qu'une application de ce dernier sur des applications concrètes issues de mesures en laboratoire et sur sites.

II. Caractérisation des propriétés du béton par fusion de données

1. Principe de la méthode de fusion

Des combinaisons de techniques END (radar et ultrasons, électrique, perméabilité) ainsi que différentes approches de combinaison (régression multiple, réseaux de neurones, fusion de données, etc.) ont été proposées pour améliorer l'évaluation des propriétés du béton [BAL 12, SEN 09, ACDC14]. Nous avons développé un outil Matlab fondé sur la théorie des possibilités [BAL 18]. Cette méthode d'inversion a pour objectif de calculer les indicateurs à partir de la combinaison de plusieurs observables, des modèles de conversion les liant et de la variabilité des mesures. Ces modèles généralement établis au niveau du laboratoire sont adaptés par la suite pour le transfert à la mesure sur site. La théorie des possibilités est utilisée pour combiner par des opérateurs logiques les projections de plusieurs mesures subséquentes sur les régressions en utilisant la variabilité des mesures pour définir les bornes des possibilités. Un estimateur de qualité, EQ, défini à partir du résultat de la fusion permet de classer les différentes combinaisons possibles d'observables et donc de faire un choix des observables les mieux adaptées pour répondre à une problématique d'estimation. Il est à noter que pour estimer N indicateurs, il est nécessaire de prendre en compte N+1 observables. Une description détaillée du principe général de la méthode de fusion est présentée dans le chapitre 8 de l'ouvrage [BAL 18].

Pour imager le principe la figure suivante présente : (a) l'inversion pour deux indicateurs et une observable, (b) les données de combinaison pour 3 observables et 2 indicateurs (traces), (c) le résultat de la fusion brut et (d) le résultat de fusion après optimisation des modèles de conversions.

FIGURE 1. (a) Inversion pour 2 indicateurs, (b) données de combinaison pour 3 observables et 2 indicateurs, (c) résultat de la fusion brut, (d) résultat de fusion après optimisation des modèles.

2. Principe et outil de fusion

L'outil développé suit le principe de fusion. Il s'appuie sur un ensemble de mesures d'observables d'ENDs réalisées sur les mêmes points et dans les mêmes conditions environnementales, sur la variabilité des observables et sur des modèles de conversions préexistants ou non. Il nécessite les sélections successives suivantes :

Indicateurs, Observables, Modèles de conversion, Combinaison(s) des observables, Recalage(s).

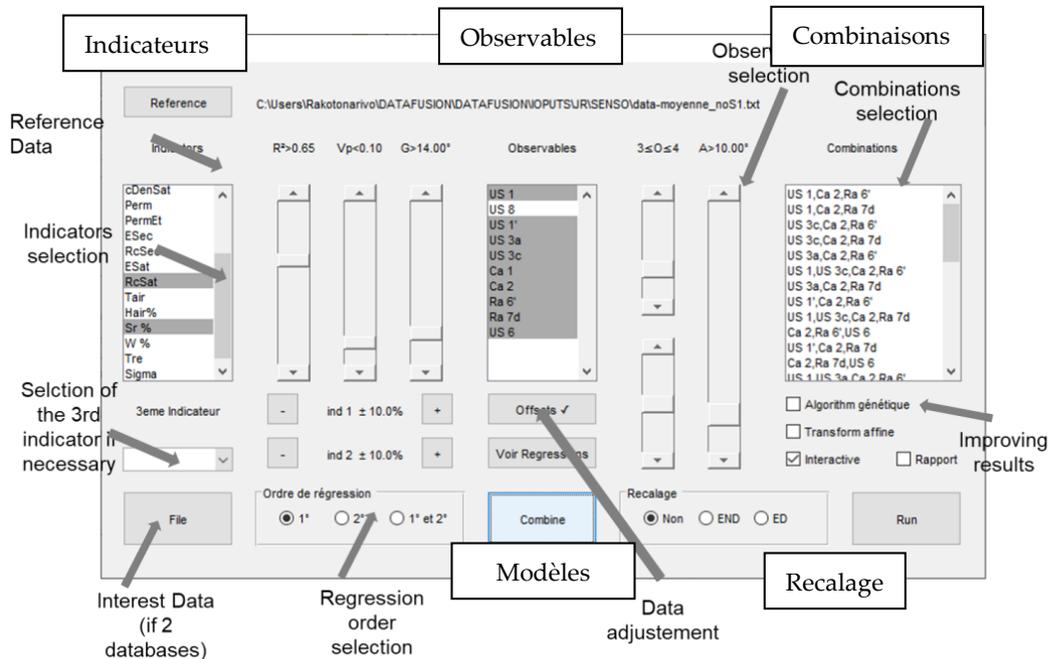


FIGURE 2. Outil et principe de la fusion de données

Sur la **figure 2**, pour chaque étape, une interface graphique est générée.

Les Indicateurs sont définis avec le donneur d'ordre en fonction des objectifs du contrôle. Les plus accessibles sont par ordre de qualité : Degré de saturation, Résistance à la compression, Endommagement si thermique, Module d'élasticité et Porosité.

Les Observables sont sélectionnées sur la base de trois critères statistiques au regard de leur sensibilité aux variations des indicateurs sélectionnés et de la qualité des modèles de conversion.

Les Modèles de conversion sont issus d'une base de données bâtie lors des projets antérieurs. S'ils n'existent pas, il faut les établir. Il est possible de recalibrer des nouvelles données dans ces bases.

Les Combinaisons des observables sont retenues en fonction de la complémentarité des modèles de conversion.

Les Recalages, au nombre de 3, permettent d'une part de mettre en cohérence les résultats de la fusion par un algorithme génétique et d'autre part de s'appuyer sur des mesures issues d'ED ou sur des à priori pour corriger les modèles de conversion par maximisation des EQ.

L'outil produit un rapport indiquant les sélections et les critères de sélection, la qualité de fusion sur chaque point de mesure et les résultats en termes de valeurs de prédiction d'indicateurs et leurs incertitudes.

L'outil est adaptatif en fonction des banques de données et des modèles dont l'utilisateur dispose pour l'étude.

3. Exemple d'application

Dans l'exemple suivant, les données issues des deux projets SENSO [BAL 12] et ENDE [GAR 16] ont été utilisées pour établir, à l'échelle du laboratoire, les modèles de conversion entre les observables évaluées par les techniques d'END (ultrasons, impact-écho, résistivité électrique, GPR, méthode capacitive) et deux indicateurs de béton (Degré de saturation 'Sr' et Résistance à la compression 'Rc'). Les modèles établis ont été ensuite employés pour la prédiction des deux indicateurs (Sr et Rc) sur la maquette d'une enceinte de confinement à l'échelle 1/3 appelée VeRCors et développée par EDF. Les observables ont été obtenus sur 151 points pour 3 verticales et 2 circonférences à deux hauteurs différentes. La fusion des données a été réalisée en appliquant un recalage entre les bases de données des observables. La meilleure combinaison est composée de trois observables (Capacité; Vitesse ondes de cisaillement par UPE; Module de Young dynamique par impact Echo). La **figure 3** montre la distribution d'observables pour un point dans l'espace [observables, Sr %, Rc MPa] et les cartographies de la saturation et de la résistance sur le fût de l'enceinte.

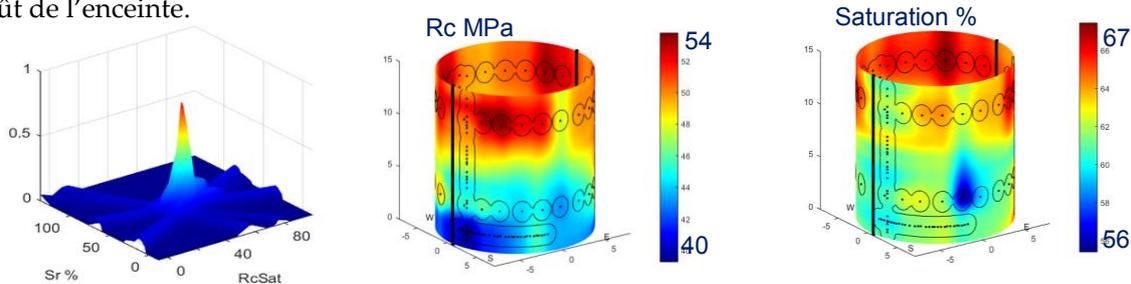


FIGURE 3. Exemple de distribution des possibilités en un point de mesure, cartographies de la résistance à la compression (Rc) et du degré de saturation (Sr)

II. CONCLUSION

Les résultats montrent la capacité des ENDS à évaluer sur une structure de grande taille les paramètres du matériau. Il est à noter que l'impossibilité de prélèvements sur une enceinte de confinement ne permet pas de recalibrer les données fusionnées sur des valeurs cibles issues des ED. L'outil de fusion de données développé dans le cadre des différents projets nationaux (Senso, Evadeos, ACDC, ENDE) est actuellement disponible pour toute évaluation industrielle. Il a été appliqué pour plusieurs structures et une maquette de digue évaluées par ENDS.

REFERENCES

- [BAL 12] Balayssac JP and all, Description of the general outlines of the French project SENSO – Quality assessment and limits of different NDT methods », *Construction and Building Materials*, 35, 131-138, 2012.
- [BAL 18] Balayssac JP., Garnier V., Evaluation non-destructive des ouvrages en génie civil, ISTE, vol. 2, p. 292-334, 2018.
- [BRE 08] Breyse D and all, How to combine several Non Destructive Techniques for a better assessment of concrete structures? , *Cement and Concrete Research*, vol. 38, p. 783-793, 2008.
- [SEN 09] Balayssac JP, Stratégie d'Évaluation Non destructive pour la Surveillance des Ouvrages en béton, Rapport final du projet ANR-SENSO. 2009.
- [GAR 14] Garnier V and all, Rapport de projet ACDC, RGPU MEDDE & RGPU M10 MGC S 009, Analyse et Capitalisation pour le Diagnostic des Constructions, 2014.
- [GAR 16] Garnier V. and all, Non-Destructive Testing applied to nuclear Civil Engineering, International Conference on Technological Innovations in Nuclear Civil Engineering, Paris September 2016.