

Couplages chemo-mécaniques appliqués à la durabilité des ouvrages de génie civil

A. SELLIER^a

a. Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), Université de Toulouse,
INSA/UPS Génie Civil, 135 Avenue de Ranguéil, 31077 Toulouse cedex 04 France
alain.sellier@univ-tlse3.fr

La maîtrise de l'impact environnemental des ouvrages de génie civil passe par l'allongement de leur durée vie afin de repousser leur remplacement et limiter ainsi l'utilisation des ressources naturelles qu'ils mobilisent à leur construction. Ceci est particulièrement pertinent pour les ouvrages d'envergures destinées à la production d'énergie électrique (barrages, centrales nucléaires, stockage de produits radioactifs), mais aussi pour les infrastructures de transport (ponts, chaussées) ou les ouvrages portuaires, industriels et offshores. La majeure partie de ces ouvrages de très grandes dimensions sont en béton armé ou précontraint, et leur durée de vie devrait être à minima séculaire. Ils sont toutefois soumis en permanence à un environnement naturel ou industriel qui cause leur dégradation progressive. Il est par conséquent important de comprendre les processus conduisant à leur altération, soit afin de démontrer qu'ils sont encore fonctionnels, soit pour évaluer, lorsque c'est nécessaire, l'efficacité de leur réparation.



Figure 1 : Exemple d'ouvrages de génie civil dont l'allongement de la durée de vie peut être bénéfique à la préservation des ressources naturelles

L'un des axes de recherche du LMDC de Toulouse est la prédiction des vitesses de dégradation de ces ouvrages et des conséquences structurelles de ces dégradations. Les outils développés combinent approches expérimentales, mesures sur ouvrages, et analyses numériques par la méthode des éléments finis. Les méthodes aux éléments finis doivent permettre de répercuter les conséquences des détériorations physico-chimiques sur le comportement mécanique de ces grands ouvrages. Dans ce but des modèles physico-chimiques, des modèles de transferts de fluides, et des modèles mécaniques non linéaires doivent être couplés, sans perdre de vue, à chaque étape de la conception des équations qu'ils contiennent, les conséquences en termes de temps de calcul numérique que vont engendrer l'application de ces modèles à des ouvrages de grande taille sur de longues durées de vie. Même si des étapes intermédiaires de compréhension des processus les plus complexes peuvent passer par des méthodes d'homogénéisation numérique, il faut in fine retrouver une efficacité numérique permettant de calculer de la façon la plus performante possible ces ouvrages, ce qui exclue une représentation fine de leur microstructure lors des analyses globales. Le LMDC a dans ce but capitalisé ses connaissances sous la forme de modèles interdépendants capables de répercuter les effets microstructuraux à l'échelle macroscopique, sans recourir à des modélisations numériques de changement d'échelle (Sellier, 2018). Ceux sont les modèles chimiques sous-jacents (Grimal et al., 2017)(Morenon et al.,

2017; Sellier & Multon, 2018), les critères de plasticité (Grimal et al., 2008, 2017), d'endommagement (Domede et al., 2013), de fluage (Sellier et al., 2016), les méthodes de représentation des armatures (Sellier & Millard, 2019) ou des fissures (Rahal & Sellier, 2019) qui se doivent de tenir compte des phénomènes observés aux petites échelles. Deux exemples d'application d'un modèle chemo-poro-mécaniques de béton armé seront présentés. Le premier permet de comprendre comment sont prises en compte des pressions de cristallisation intra-poreuses à l'origine de déformations à long termes dans des barrages affectés de réactions alcali-granulats et de réactions sulfatiques internes (Morenon, 2017). Le second exemple permet de saisir la démarche visant à quantifier le niveau de précontrainte résiduel dans une enceinte de confinement nucléaire fortement armée, sans pour autant mailler explicitement les armatures (Sellier et al., 2019). Ces deux exemples démontrent qu'il est possible de prendre en compte un nombre important de processus de dégradations microscopiques et mésoscopique des bétons armés sans pour autant recourir à des moyens de calculs coûteux en termes de ressources informatiques et de temps de simulations numériques.

Mots clés : Durabilité, béton, armatures, endommagement, éléments finis

- Domede, N., Sellier, A., & Stablon, T. 2013. Structural analysis of a multi-span railway masonry bridge combining in situ observations, laboratory tests and damage modelling. *Engineering Structures* **56**, 837–849 Available at <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029613002903> (verified 5 May 2014).
- Grimal, E., Morenon, P., Sellier, A., Multon, S., & Bourdarot, E. 2017. AAR and DEF structural effects modeling. In Sellier, M.A., Grimal, E., Multon, S., Bourdarot, E. (eds.), *Swelling Concrete in Dams and Hydraulic Structures: DSC 2017*. ISTE Wiley, ISBN: 978-1-119-44889-1, Chambéry.
- Grimal, E., Sellier, A., Pape, Y.L., & Bourdarot, E. 2008. Creep, shrinkage, and anisotropic damage in alkali-aggregate reaction swelling Mechanism-Part I: A constitutive model. *ACI Materials Journal* **105**.
- Morenon, P. 2017. Modélisation des réactions de gonflement interne des bétons avec prise en compte des couplages poro-mécaniques et chimiques. Available at http://www-lmdc.insa-toulouse.fr/etud/theses/these_Morenon_2017.pdf.
- Morenon, P., Multon, S., Sellier, A., Grimal, E., Hamon, F., & Bourdarot, E. 2017. Impact of stresses and restraints on ASR expansion. *Construction and Building Materials* **140**, 58–74 Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817302519>.
- Rahal, S., & Sellier, A. 2019. Influence of crack reclosure on concrete permeability. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* **100**, 65–77 Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167844218302052> (verified 7 January 2019).
- Sellier, A. 2018. Model FLUENDO3D Version 23-C for CASTEM 2017 Anisotropic Damage and Visco-Elasto-Plasticity Applied to Reinforced Multiphase Materials, Technical Report.
- Sellier, A., & Millard, A. 2019. A homogenized formulation to account for sliding of non-meshed reinforcements during the cracking of brittle matrix composites: Application to reinforced concrete. *Engineering Fracture Mechanics* **213**, 182–196 Available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013794419300669?dgcid=author> (verified 14 April 2019).
- Sellier, A., & Multon, S. 2018. Chemical modelling of Delayed Ettringite Formation for assessment of affected concrete structures. *Cement and Concrete Research* **108**, 72–86 Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884617304635> (verified 6 April 2018).
- Sellier, A., Multon, S., Buffo-lacarrière, L., Vidal, T., Bourbon, X., & Camps, G. 2016. Concrete creep modelling for structural applications : non-linearity , multi-axiality , hydration , temperature and drying effects. *Cement and Concrete Research* **79**, 301–315 Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.10.001>.
- Sellier, A., Vidal, T., Lacarriere, L., & Cagnon, H. 2019. Modelling of prestressed concrete behaviour in the range 20-40°C. p. 1–10. In *Framcos'10*.