

Modélisation du comportement Thermo-chimio-mécanique des bétons au jeune-age analyse multi-échelle et simulation d'un structure massive de stockage

T. Honorio, B. Bary

▶ **To cite this version:**

T. Honorio, B. Bary. Modélisation du comportement Thermo-chimio-mécanique des bétons au jeune-age analyse multi-échelle et simulation d'un structure massive de stockage. Journée des doctorants de la DANS, May 2015, unknow, France. cea-02492571

HAL Id: cea-02492571
https://cea.hal.science/cea-02492571

Submitted on 27 Feb 2020

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.

SUJET DE THESE :
Modélisation du comportement viscoélastique du béton au jeune âge : application à l'étude de la réponse d'une structure massive de stockage

Doctorant : Tulio HONORIO DE FARIA	**Financement :**CTBU
Responsable CEA : Benoit BARY	**Université d'inscription : ENS CACHAN**
Encadrant universitaire : Farid BENBOUDJEMA	**Ecole doctorale et DEA : EDSP**
Laboratoire d'accueil : LECBA	**Date de début de thèse : 10-10-2012**

1 Contexte

Dans le cadre de l'étude de faisabilité de structures d'entreposage de déchets nucléaires en béton armé, la connaissance précise du comportement du matériau béton et de ses évolutions aussi bien à court qu'à long terme est indispensable pour garantir la durée de vie de ces ouvrages. En particulier, la prédiction des risques de fissuration et de dégradation du matériau pouvant remettre en cause leur intégrité et leurs propriétés de confinement est primordiale. Nous nous intéressons dans cette étude au comportement au jeune âge d'une structure de stockage de déchets nucléaires de faible activité. Cette application industrielle exige une bonne description des propriétés macroscopiques du matériau constitutif et des conditions limites au niveau de la structure. Cependant, les mécanismes modifiant les propriétés d'intérêt ne peuvent généralement pas être bien décrits et précisément pris en compte à cette échelle macroscopique. Des approches phénoménologiques ont été développées pour traiter ce problème, mais leurs résultats *a priori* ne peuvent être directement extrapolés à d'autres scénarios. D'où l'importance des approches multiéchelle, qui permettent de lier des phénomènes se produisant à des échelles de temps et d'espace différentes afin d'estimer les propriétés à l'échelle d'application. L'utilisation de ces méthodes multi-échelles étant actuellement très peu répandue dans un cadre viscoélastique vieillissant (qui ne permet pas d'appliquer directement les schémas d'homogénéisation classiques), des développements analytiques seront nécessaires afin d'inclure leurs résultats dans les modèles de comportement.

2 Objectifs et approches

Le projet de thèse consiste à établir un modèle permettant de décrire d'une part les évolutions des propriétés du matériau au cours de l'hydratation, et d'autre part les principaux phénomènes de retrait et de relaxation de contraintes observés à court terme. Le modèle sera implanté dans le code de calcul par éléments finis Cast3M développé au CEA, et appliqué à la simulation du comportement d'une structure de stockage en béton.
La démarche est scindée en 2 étapes :
1ère étape: identifier les zones les plus susceptibles d'endommager et fissurer par une analyse thermo-chimio-mécanique de la structure en béton armé. Différentes conditions limites thermiques et mécaniques sont étudiées.
2ème étape: à partir de la composition de la pâte de ciment, les propriétés mécaniques du béton sont estimées, en passant par l'échelle du mortier. Cette estimation est effectuée de manière analytique en utilisant des méthodes d'homogénéisation dans un cadre viscoélastique vieillissant.
Cette approche combinée permet d'une part d'évaluer et améliorer le modèle phénoménologique considéré dans la première étape. D'autre part, elle permet d'évaluer l'intérêt des analyses plus sophistiquées telles que développées dans la deuxième étape vis-à-vis de l'étude des structures au jeune-âge.

4 Résultats

Analyse du comportement thermo-chimio-mécanique

À l'échelle de la structure, l'influence des conditions initiales et aux limites sur la réponse thermo-chimio-mécanique de la structure d'entreposage est étudiée en découplant le problème en :

- Problème chimio-thermique : les effets de la convection, du rayonnement et de la conduction sont considérées. Une solution analytique 1D simplifiée du problème chimio-thermique a été proposée en fonction de conditions limites non homogènes. Des simulations 3D par éléments finis ont été effectuées sur la structure en béton. Ensuite, les températures maximales atteintes dans la structure ont été déterminées en fonction notamment des températures de bétonnage.
- Problème mécanique : la réponse mécanique pour les différents scénarios considérés dans l'analyse chimio-thermique a été obtenue également par simulations numériques. L'effet de l'endommagement et son couplage avec le fluage a été analysé au moyen d'une approche phénoménologique. L'ouverture de fissure a été calculée à partir du champ d'endommagement calculé (Fig. 1).

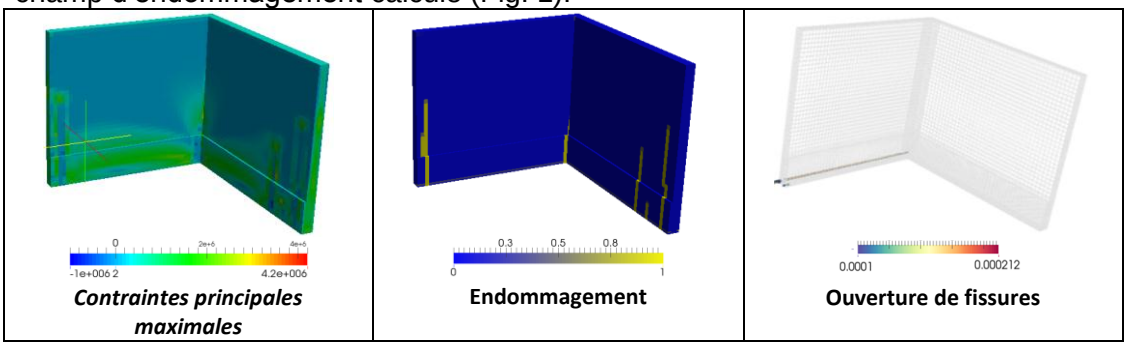


Fig. 1 Réponse mécanique à 15 jours, températures d'Aout, Dessel, Belgique (HON14a ; HON soumis A)

Les résultats ont un intérêt direct et pratique pour l'ONDRAF/NIRAS, l'Agence nationale belge des déchets radioactifs et des matières fissiles enrichies, qui finance la thèse, en fournissant des éléments clés qui seront utiles dans la définition des stratégies de construction de la structure de stockage. L'intérêt scientifique de cette étude a par ailleurs permis la rédaction de plusieurs publications (HON14a ; HON14b ; HON soumis A).

Estimation des propriétés viscoélastiques vieillissantes au jeune âge

Une investigation combinant des outils numériques et analytiques est proposée pour estimer les propriétés viscoélastiques linéaires vieillissantes des matériaux à base de ciment au jeune âge dans un cadre multi-échelle. L'objectif est de contribuer à la prédiction du comportement mécanique macroscopique du béton au jeune âge à partir de la connaissance et la compréhension des mécanismes qui se produisent à l'échelle microscopique.

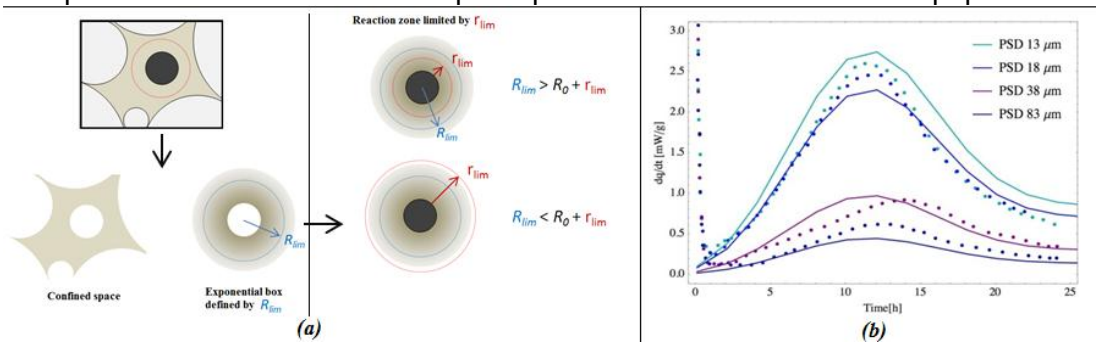


Fig. 2 Représentation de la zone de réaction confinée (a) et le flux de chaleur pour alite hydratation (b) (HON soumis B).

La cinétique d'hydratation est décrite à partir d'un modèle simplifié tenant compte des principaux mécanismes gouvernant les réactions. Le modèle est basé sur la cinétique de nucléation et croissance de surface avec remplissage de l'espace (densification) en milieu confiné. Les résultats du modèle sont comparés aux données expérimentales (Fig. 2). Le

modèle peut reproduire certaines caractéristiques pertinentes relatives à la cinétique d'hydratation telles que les données calorimétriques et l'influence du rapport massique Eau/Ciment sur la cinétique (HON soumis B).
Pour l'estimation des propriétés viscoélastiques linéaires vieillissantes de la pâte de ciment et du mortier, nous appliquons les schémas d'homogénéisation analytiques de Mori-Tanaka et auto-cohérent généralisé. A l'échelle du béton, l'homogénéisation numérique est utilisée, ce qui permet d'évaluer les champs de contraintes et déformations locaux et de considérer des géométries plus complexes avec différentes formes et distributions de taille de granulats. Les propriétés élastiques ont été estimées dans ce contexte (HON14c). Une première estimation de propriétés viscoélastiques vieillissantes est présentée dans Honorio et al. (HON soumis C). Une illustration de l'évolution de la dispersion des contraintes telles que déterminées par l'homogénéisation numérique est représentée sur la Fig. 3.

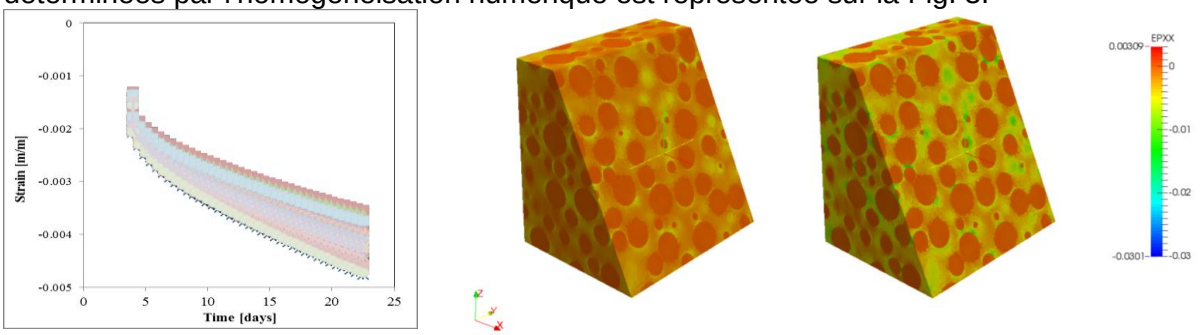


Fig. 3 Dispersion des déformations de fluage dans les inclusions et déformations évaluées à deux temps distincts.

5 Conclusions

Cette étude est une contribution à la prédiction du comportement des structures en béton au jeune âge. Une combinaison d'approches ascendante et descendante est proposée afin de mieux appréhender les mécanismes qui gouvernent le comportement du béton et des structures massives en béton au jeune âge. Les mécanismes liés à la progression des réactions d'hydratation et leur influence sur le comportement thermomécanique du matériau et sur les déformations différées au jeune âge associées au comportement viscoélastique vieillissant sont étudiés via une approche multiéchelle. Le sujet a un intérêt scientifique certain du fait que certains mécanismes clés liés au vieillissement ne sont pas parfaitement connus ; mais aussi un intérêt industriel, puisque la prédiction du comportement au jeune âge des structures massives en béton est importante pour estimer les risques de fissuration et ainsi assurer leur performance à long terme.

6 Références des publications

Revues

Honorio, T; Bary, B; Benboudjema, F. Evaluation of the contribution of boundary and initial conditions in the chemo-thermal analysis of a massive concrete structure. Engineering Structures 80, 2014**. [HON14a]**

Honorio, T; Bary, B; Benboudjema, F. Factors affecting the thermo-chemo-mechanical behavior of massive concrete structures at early-age: a numerical study. (under review) **[HON soumis A]**

Honorio, T; Bary, B; Benboudjema, F.. Poyet, S. Modelling hydration kinetics based on boundary nucleation and space-filling growth in a fixed confined zone (submitted manuscript) **[HON soumis B]**

Honorio, T; Bary, B; Benboudjema, F. Estimation of the effective properties of n-coated composite spheres in an ageing viscoelastic framework. (manuscript in preparation) **[HON prép. A]**

Conférences

Honorio, T.; Bary, B.; Benboudjema, F. Multiscale estimation of the viscoelastic properties of cementitious materials at early age: a combined analytical and numerical approach. CONCREEP15 **[HON soumis A]**

Honorio, T.; Bary, B.; Benboudjema, F. Estimation of elastic properties of cement based materials at early age based on a combined numerical and analytical multiscale approach. CONMOD, Beijing, 2014 .**[HON14c]**

Honorio, T.; Bary, B.; Benboudjema, F. Influence of the particle size distribution on hydration kinetics: a mechanistic analytical approach. CONMOD, Beijing, 2014 .**[HON14d]**

Honorio, T.; Bary, B.; Benboudjema, F. Analysis of the thermo-chemo-mechanical behavior of massive concrete. EURO-C, St Anton am Arlberg, 2014. .**[HON14b]**