République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Tunis El Manar
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis
Ecole Doctorale Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Ecole Doctorale ENIT
21 MAI 2021
ARRIVÉE

Projet de Stage Post-Doctorat

Année Universitaire : 2021/2022

Titre du Projet Post-Doc: Elaboration d'un software de formulation et d'optimisation des propriétés mécaniques des bétons ordinaires et à hautes performances, basé sur les modèles micromécaniques développés au LGC

Responsable du projet : ***Karim MILED***, Maître de Conférences à l'ENIT (Email: karim.miled@enit.utm.tn)
Co-Encadrants : ***Oualid LIMAM***, Professeur à l'ENIT (Email: oualid.limam@enit.utm.tn) &
Ahmed NAIJA, Maître Assistant à ISSAT Sousse (Email: ahmed.naija@enit.utm.tn)
Etablissement / Structure de Recherche: ENIT/ LGC
Durée du projet Post-Doc: 12 mois

1- Description du projet et principaux résultats attendus

Durant cette dernière décennie, plusieurs chercheurs du LGC se sont intéressés à l'étude des propriétés mécaniques des bétons de densité courante en fonction de leur composition et leur microstructure, et ce en se basant sur une approche combinée alliant l'expérimentation à la modélisation micromécanique analytique ou numérique. En effet, Miled et al. (2012) ont proposé un modèle micromécanique analytique combinant une approche statique de calcul à la rupture à la technique d'homogénéisation et permettant de prédire la résistance à la compression du béton en fonction de sa composition. Par ailleurs, l'approche proposée par Miled et al. (2012) est basée sur une modélisation discrète et probabiliste de la microstructure du béton en utilisant la technique de tesselation de voronoi (Aurenhammer and Klein, 2000). Ensuite, dans le cadre de sa thèse de doctorat, Naija (2019) a proposé une approche similaire à celle proposée initialement par Miled et al. (2012) mais implémentée numériquement et permettant de s'affranchir des hypothèses géométriques et mécaniques simplificatrices de leur modèle analytique. En effet, Naija et al. (2018; 2019; 2020) ont modélisé numériquement la microstructure du béton à l'aide de la technique de tesselation de Voronoi (Figure 1) et ont ensuite appliqué les deux approches statique et cinématique de calcul à la rupture à cette microstructure hétérogène afin de prédire les résistances à la compression uniaxiale et biaxiale du béton à haute résistance.
D'autre part, Zouaoui a étudié dans sa thèse de doctorat (Zouaoui, 2018) l'effet de la composition et la microstructure du béton sur ses déformations instantanées élastiques et ses déformations différées propres, à savoir son fluage propre et son retrait endogène. Par ailleurs, Zouaoui et al. (2017) ont proposé un modèle micromécanique analytique permettant de prédire la fraction volumique de l'auréole de transition du béton (ITZ en anglais) en fonction de sa composition et sa microstructure, ensuite ils ont intégré cette troisième phase du béton dans les modèles d'homogénéisation analytiques qu'ils ont proposés pour prédire les modules élastiques (Zouaoui et al., 2017) et différés de fluage propre (Zouaoui et al., 2021) ainsi que le retrait endogène du béton (Zouaoui et al., 2019).
Ainsi, plusieurs modèles micromécaniques analytiques ou/et numériques ont été développés au LGC ces dernières années, permettant de prédire avec une bonne précision les résistances et les rigidités mécaniques ainsi que le retrait des bétons ordinaires et à hautes résistances en fonction de leur composition et leur microstructure fortement hétérogènes. En outre, tous ces modèles ont été validés en confrontant leurs prédictions à des résultats expérimentaux et ils sont aujourd'hui publiés dans des revues scientifiques spécialisées indexées et impactées, ce qui prouve la pertinence de l'approche micromécanique originale proposée dans le cadre de ces travaux et qui a permis de développer cette famille de modèles.

Cependant, tous ces modèles méritent d'être intégrés dans un software permettant de formuler et d'optimiser les propriétés mécaniques des bétons ordinaires et de hautes performances en fonction de leur composition et leur microstructure, à l'instar d'autres software comme à titre d'exemple le logiciel Béton Lab Pro du LCPC-Paris (Sedran and de Larrard, 2000), qui est basée sur une approche différente de la notre. L'intérêt principal de ce software réside alors dans la dissémination et vulgarisation des ces modèles à travers un outil numérique accessible et facilement utilisable par les ingénieurs et les chercheurs qui formulent et fabriquent des bétons ayant des résistances ordinaires ou des hautes résistances.

Ainsi, l'objectif principal de ce stage post-doctoral est de développer ce software de formulation et d'optimisation des propriétés mécaniques des bétons ordinaires et à hautes performances, en se basant sur les modèles micromécaniques développés récemment au LGC. Le candidat souhaité pour ce stage, devra bénéficier de connaissances solides en mécanique des matériaux ainsi que de très bonnes capacités et aptitudes en algorithmique et en programmation informatique. Le choix du langage de programmation du software à développer n'est pas encore définitif mais il sera à priori du C++ ou du Phyton.

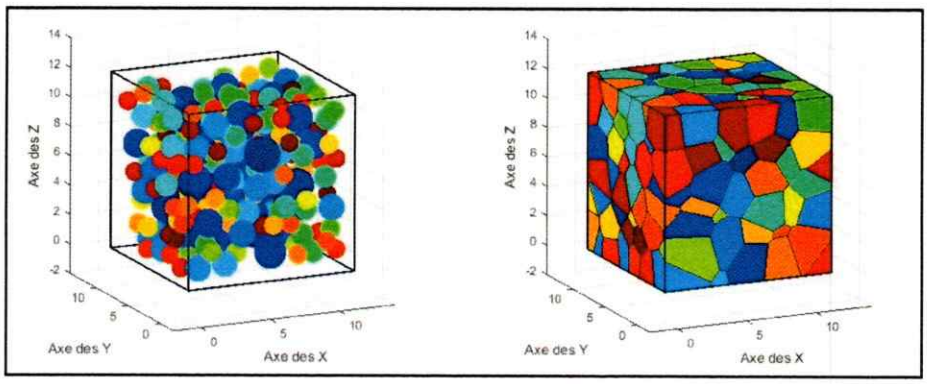

Figure 1. Granulats sphériques distribués aléatoirement dans le VER du béton (à gauche). Tessellation de Voronoi (à droite) (Naija et al., 2018).

2- Principales références bibliographiques

Miled, K., Limam, O. and Sab, K., 2012, "A probabilistic mechanical model for prediction of aggregates' size distribution effect on concrete compressive strength", Physica A Stat. Mech. Appl., 391(12), 3366-3378.

Naija A., 2019. Approche de type calcul à la rupture appliquée à la microstructure des bétons à haute résistance , Thèse de doctorat de l'ENIT.

Naija A., Miled K., Limam O., 2018. A discrete micromechanical model for predicting HSC compressive strength based on a yield design approach, Construction and Building Materials, 175, pp. 714-725.

Aurenhammer, F. and Klein R. (2000), Voronoi Diagrams. In Handbook of Computational Geometry, chapter 5, Sack J, Urrutia J (eds.). Elsevier Science Publishing: Amsterdam, 201–290.

Naija A., Hassen G., Limam O., Miled K., 2020. Numerical study of the biaxial compressive strength of high strength concrete based on a yield design micromechanical approach. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, vol. 44 (6), pp. 772-781.

Zouaoui R., 2018. Etude de l'effet du squelette granulaire sur les déformations différées propres du béton. Thèse de doctorat de l'ENIT.

Zouaoui R., Miled K., Limam O., Beddey A., 2017. Analytical prediction of aggregates' effects on the ITZ volume fraction and Young's modulus of concrete, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech, vol. 41 (7), pp. 976-993.

Zouaoui R., Miled K., Limam O., 2019. Modélisation analytique de l'effet du squelette granulaire sur le retrait endogène du béton. Journées Scientifiques Franco-Maghrébines: Caractérisation des matériaux complexes (JSFM-CMC 2019, 6ème édition), Annaba, 17-18 novembre 2019.

Zouaoui R., Miled K., Limam O., 2021. Prediction of the basic creep of normal and high-strength concretes based on an analytical micromechanical model, submitted to Journal of Advanced Concrete Technology (JACT).

Sedran T., and de Larrard F., 2000. Bétonlab Pro2: Logiciel d'aide à la formulation des bétons version 2.14. Presses de l'Écolenationale des PontsetChaussées, Paris, France.

Signature du responsable du projet Post-Doc

K. Miled

Signature du responsable de la structure de recherche

K. Miled