

CARACTERISATION DU FLUAGE PAR NANOINDENTATION ET APPLICATION AUX MATERIAUX CIMENTAIRES

M. Vandamme¹, F.-J. Ulm²

1. Laboratoire Navier (ENPC/IFSTAR/CNRS), École des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne, France

2. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA

Mots Clés

Nanoindentation, fluage, matériaux cimentaires

INTRODUCTION

La technique de nanoindentation permet de mesurer les propriétés mécaniques de volumes de taille sub-micrométrique. Classiquement, elle est utilisée pour obtenir des informations sur les propriétés élastiques, plastiques, ou de résistance des matériaux indentés. Mais la nanoindentation peut également permettre de remonter à leurs propriétés visqueuses (dites de fluage).

CARACTERISATION DU FLUAGE PAR NANOINDENTATION

Nous commencerons par introduire un panel de méthodes visant à déterminer les propriétés de fluage à partir d'un test d'indentation. Nous insisterons sur le fait que, notamment en cas d'utilisation d'un indenteur pointu (type Berkovich par exemple), les méthodes basées sur une analyse purement viscoélastique donnent des résultats erronés, du fait de la présence d'inévitables déformations plastiques sous la pointe.

Des méthodes prenant en compte ces déformations plastiques seront décrites. En particulier, nous présenterons une méthode que nous avons développée, basée sur une résolution du problème plastique-viscoélastique à l'échelle du volume élémentaire représentatif [1].

APPLICATION AUX MATERIAUX CIMENTAIRES

Dans une seconde partie, quelques exemples d'utilisation de la nanoindentation pour caractériser les propriétés visqueuses seront donnés.

Puis nous décrirons en détail comment nous avons notamment appliqué cette technique aux matériaux cimentaires (des matériaux hétérogènes et multi-échelles). Le fluage est en effet une caractéristique importante de ces matériaux, qui doit être prise en compte lors du design de structures du génie civil. En effectuant des grilles de plusieurs centaines de nanoindentation sur des pâtes de ciment, nous avons caractérisé les propriétés de fluage des différents C-S-H (silicates de calcium hydratés – la 'colle' du ciment), qui se trouvent être les hydrates principalement responsables des propriétés viscoélastiques des ciments.

Nous montrerons que des expériences de fluage de quelques minutes par nanoindentation, en combinaison avec des méthodes d'homogénéisation, permettent d'estimer correctement le fluage long-terme de bétons [2], alors que ce fluage est habituellement caractérisé en mois voire en années à l'échelle macroscopique.

CONCLUSION

Cette présentation a pour objectif de donner un aperçu des méthodes permettant de caractériser le fluage par indentation et de montrer l'application concrète d'une de ces méthodes à l'étude des matériaux cimentaires.

Références

- [1] M. Vandamme, C.A. Tweedie, G. Constantinides, F.-J. Ulm, K.J. Van Vliet (2012) « *Quantifying plasticity-independent creep compliance and relaxation of viscoelastoplastic materials under contact loading* », Journal of Materials Research, **27** (01), pp. 302-312.
- [2] M. Vandamme, F.-J. Ulm (2009) « *Nanogranular origin of concrete creep* », Proceedings of the National Academy of Sciences, **106** (26), pp. 10552-10557.