

Etude de la rupture en compression de matériaux hétérogènes modèles quasi-fragiles.

Encadrement : **D. Leguillon¹**, **R. Le Roy²**, **K. Sab²**

¹ Institut Jean Le Rond d'Alembert, CNRS UMR 7190, université Pierre et Marie Curie, Paris. dominique.leguillon@upmc.fr

² Laboratoire Navier, CNRS UMR 8205, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Marne-la-Vallée. robert.leroy@lami.enpc.fr sab@lami.enpc.fr

Le sujet est présenté conjointement par le laboratoire Navier à Marne-la-Vallée et l'institut JLRA de Paris 6. Le candidat devra avoir une formation en mécanique des milieux continus, des compétences en calcul des structures et le goût des approches expérimentales. Il effectuera la partie expérimentale de la thèse à Marne-la-Vallée et les développements théoriques et numériques, menés conjointement entre les deux équipes, à Paris.

De nombreux matériaux, les géomatériaux et les matériaux du génie civil notamment, présentent une meilleure résistance à la rupture en compression qu'en traction. Toutefois, leur microstructure (à l'échelle millimétrique ou centimétrique) présente souvent des cavités (bulles d'air dans le ciment par exemple) et des inclusions plus ou moins rigides (agrégats du béton) qui peuvent en modifier les performances. Le processus de dégradation passe par plusieurs étapes, la nucléation de fissures à partir des hétérogénéités, la croissance de ces fissures pouvant aboutir finalement à la coalescence et la ruine de la structure. Ces mécanismes présentent généralement un caractère ductile à l'échelle macroscopique (endommagement) et fragile à l'échelle microscopique.

Cette étude sera consacrée d'une part à la réalisation d'essais de référence en compression sur des matériaux hétérogènes modèles quasi-fragiles, et d'autre part à la mise en œuvre d'un modèle prédictif fiable et robuste reproduisant quantitativement le processus de rupture. Les matériaux modèles seront constitués d'une matrice cimentaire présentant un réseau de cavité ou un réseau d'inclusions. La fraction volumique de cavités ou d'inclusions et leur distribution selon un réseau carré ou hexagonal seront des paramètres variables ainsi que le contraste des modules entre matrice et inclusion.

Ce travail présente un caractère exploratoire tant expérimental (réalisation de matériaux modèles) que théorique (couplage homogénéisation/mécanique de la rupture).

Les grandes étapes du travail seront les suivantes :

- Réalisation des matériaux modèles (Navier ENPC) : ils seront obtenus à partir de ciments moulés. La procédure mise au point au cours de la thèse de K. Miled (2005) sera employée à l'aide d'un moule rectangulaire et des réserves faites de cylindres métalliques aboutissant à une structure présentant un réseau de cavités (figure 1). Le remplissage de ces cavités par un autre ciment ayant des modules élastiques différents simulera le réseau d'inclusions. Cette géométrie d'éprouvette autorise une mesure du champ de déplacement 2D par corrélation d'images.

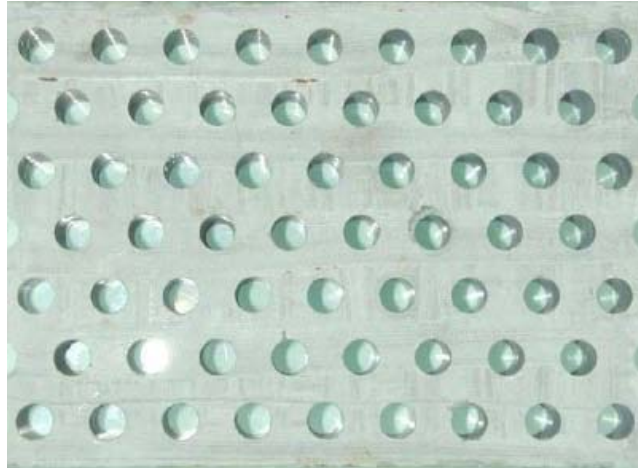


Figure 1 (d'après Miled 2005)

- Réalisation des essais (Navier ENPC) : les essais de compression seront réalisés en s'appuyant sur la procédure mise au point dans la thèse K. Miled (2005).



Figure 2 (d'après Miled 2005)

- Modélisation de l'amorçage (IJLRA Paris 6) : Des essais préliminaires figurant dans la thèse de K. Miled mettent en évidence un mécanisme d'amorçage stable et répétitif sur chaque cavité (figure 2). Ces observations permettent d'envisager un modèle couplant homogénéisation et mécanique de la rupture en développant l'approche proposée dans la thèse de D. Quesada (2008). La nucléation, suivant le critère mixte de Leguillon (2002), sera étudiée au niveau du volume élémentaire représentatif (VER), l'endommagement résultant au niveau macroscopique sera déduit par homogénéisation. Les mécanismes et les chemins de fissures seront évidemment différents selon qu'il s'agit de cavités ou d'inclusions. Dans ce dernier cas on peut s'attendre dans certaines situations à de la fragmentation de l'inclusion (figure 3) (Quesada et al. 2009). Cette partie nucléation est la plus importante des deux étapes théoriques, elle devrait mettre en évidence un effet de taille (Leguillon et al. 2007).

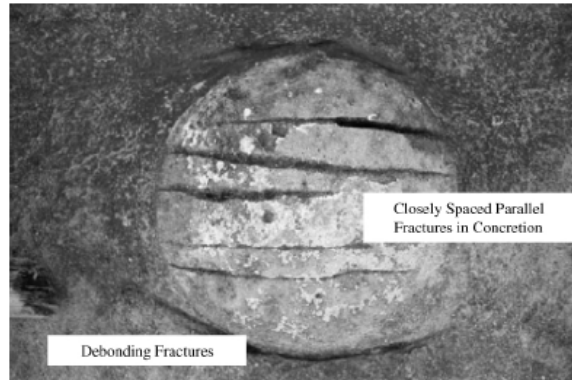


Figure 3. (d'après Bessinger et al. 2003)

- Modélisation de la croissance et de la coalescence (IJLRA Paris 6) : La modélisation de la croissance sera effectuée avec les outils classiques de la mécanique de la rupture à l'échelle du VER et dépendra fortement de la géométrie du réseau. Nous ignorons pour le moment si la coalescence se produira comme résultat d'une instabilité causée par la réduction des largeurs de ligaments sains restant dans la matrice. Des comparaisons avec des approches du type mécanique de l'endommagement ou zones cohésives devraient permettre de conforter le choix du modèle.

Références

- Bessinger B., Cook N.G.W., Myer L., Nakagawa S., Nihei K., Benito P., Suarez-Riviera R., 2003. The role of compressive stresses in jointing on Vancouver Island, *British Columbia, J. Structural Geology*, **25**, 983-1000.
- Leguillon D., 2002. Strength or toughness? A criterion for crack onset at a notch, *Eur. J. Mech. A/Solids* **21**, 61-72.
- Leguillon D., Quesada D., Putot C., Martin E. (2007) Size effects for crack initiation at blunt notches or cavities, *Engng. Fract. Mech.*, **74**, 2420-2436.
- Miled K., Le Roy R., Sab K., Boulay C., 2004. Compressive behavior of an idealized EPS lightweight concret : size effects and failure mode, *Mechanics of Materials*. **36**. n°11. 1031-1046.
- Miled K., Sab K., Le Roy R., 2007. Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling, *Mechanics of Materials*, **39**, 222-240.
- Miled K. (2005) Effet de taille dans le béton léger de polystyrène expansé, thèse, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Marne-la-vallée.
- Quesada D. (2008) Genèse et typologie des fractures naturelles d'un réservoir pétrolier, thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Quesada D., Leguillon D., Putot C. (2009) Multiple failures in or around a stiff inclusion embedded in a soft matrix under a compressive loading, *Eur. J. Mech. - A/Solids*, **28**, 668-679.