

# Conception de fissures à géométrie contrôlée dans un mortier de confinement pour étudier les mécanismes de transport de particules : apports de la microtomographie RX

A. Boccheciampe<sup>1,2</sup>, D. Borschneck<sup>2</sup>, P. Chaurand<sup>2</sup>, V. Vidal<sup>2</sup>, I. Pointeau<sup>1</sup>, J. Rose<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEA, DES, DDS, DFDE, SECC/LECD, CADARACHE, F-13108 Saint-Paul-Lez Durance, France

<sup>2</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, Coll France, CEREGE 13545 Aix-en-Provence, France

Courriel : [boccheciampe@cerège.fr](mailto:boccheciampe@cerège.fr)

Dans les activités nucléaires, les déchets radioactifs produits sont gérés de façon spécifique en fonction de leurs activités et leurs durées de vie. Ainsi, certains déchets sont placés dans des fûts en acier, puis du mortier est coulé dans le but d'immobiliser les déchets.

La barrière de mortier ainsi créée, autorise le passage des gaz produits dans le colis (corrosion, radiolyse ...), mais agit comme un excellent filtre à particules grâce à son réseau poreux (diamètre d'accès des pores de quelques nanomètres), partiellement saturé, empêchant le relâchement d'aérosols radioactifs.

Dans ce contexte de stockage de déchets radioactifs, des études de sûreté et sécurité se doivent toutefois d'étudier tous les scénarii accidentels pouvant survenir (ex. chute, incendie...) susceptibles de conduire à un relâchement de particules au travers de fissures qui se seraient formées.

L'objectif de ce travail est donc de caractériser le transport de particules au travers d'une barrière de mortier fissuré, d'identifier les éventuels mécanismes de rétention et de migration mis en jeu afin de pouvoir à terme le reproduire et le prédire par modélisation. Notre travail se base sur deux développements expérimentaux originaux :

(1) Dans la littérature (Gélain, 2012) (Parozzi, 2013), le transport de particules est étudié dans des fissures réelles générées aléatoirement par des effets de compression sans contrôle de leur géométrie. Nous proposons ici une méthode pour la génération **contrôlée et répétable** d'échantillon de mortier fissuré avec une géométrie artificielle de fissure caractérisée (morphologie, tortuosité et taille) en utilisant l'impression 3D pour générer des moules de fissures. Ces moules de fissures sont incorporés dans des éprouvettes de mortier (cylindres  $\varnothing=8\text{mm}$ ), et sont dissous après la phase de durcissement pour ne laisser que leur empreinte dans le mortier hydraté, créant une fissure à géométrie contrôlée.

(2) La micro-tomographie RX (micro-CT), technique d'imagerie RX 3D à haute résolution spatiale est utilisée pour la visualisation et la quantification **in-situ** du dépôt des particules dans les fissures sans destruction de l'échantillon. Les échantillons de mortier fissurés sont imagés en 3D par micro-CT (1 voxel = 10  $\mu\text{m}$ ) avant et après injection de particules modèles (particules  $\text{CeO}_2$ , diamètre = 40  $\mu\text{m}$ ) simulant les particules radioactives. L'injection des particules est réalisée en laboratoire (débit d'air = 10 ml/min pendant 30 jours). Une méthode spécifique de traitement et d'analyse des images 3D permet d'identifier individuellement chaque particule ou agrégat de  $\text{CeO}_2$  dans la fissure et de les caractériser (taille, volume, position dans la fissure, distance par rapport à l'entrée, ...). L'analyse permet également une semi-automatisation de caractérisation de la géométrie de fissure.

Plusieurs échantillons de mortiers fissurés ont été scannés (avant injection des particules) et comparés entre eux afin d'estimer la reproductibilité de la méthodologie de génération de fissures.

Les résultats obtenus permettent tout d'abord de valider la méthodologie développée pour créer des fissures à géométrie contrôlée et révèlent que la variabilité entre les échantillons n'excède pas 10% entre le volume théorique de fissure avant impression et le volume de fissure au sein du mortier.

La figure 1 ci-dessous présente de haut en bas un exemple de (A) moule de fissure imprimé en 3D, (B) une section de mortier présentant l'empreinte du moule de fissure après dissolution ainsi que les images 3D obtenues par micro-CT sur un même échantillon (C) avant et (D) après injection des particules (en rouge).

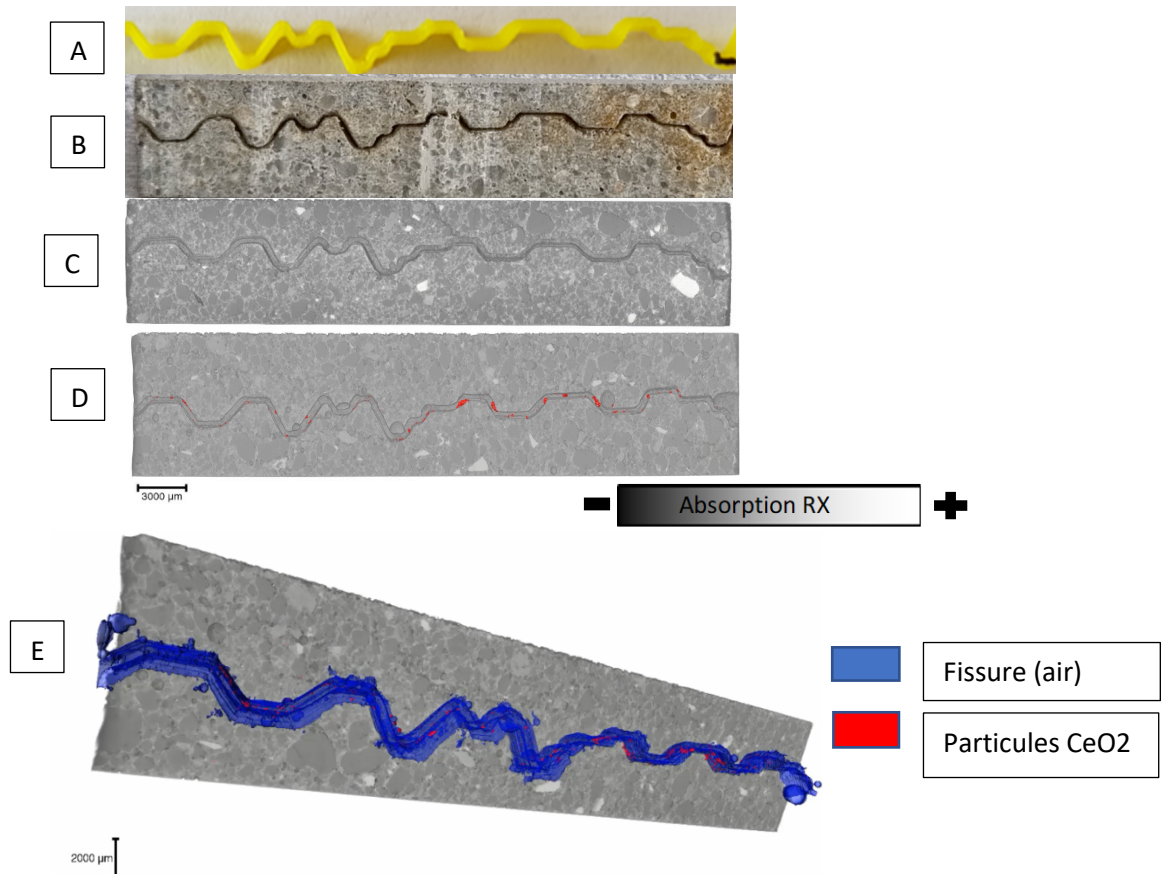


Figure 1 : (A) Moule de fissure plastique obtenu par impression 3D ; (B) Exemple d'échantillon fissuré découpé en deux pour laisser apparaître l'empreinte de la fissure après dissolution du moule plastique ; (C, D) Images 3D d'un mortier fissuré obtenues par micro-CT (1 vx = 10µm) (A) avant et (B) après injection de particules de CeO<sub>2</sub>. Le volume reconstruit obtenu est virtuellement sectionné afin de visualiser la fissure. (E) Image 3D obtenue après la procédure de traitement et d'analyse (segmentation et quantification). La fissure apparaît en bleu et les particules en rouge (rendu surfacique), superposée à un rendu volumique du mortier (niveaux de gris).

Cette méthodologie ouvre la voie pour tester la reproductibilité et l'influence de différents paramètres sur le transport de particules (tailles des particules, débit, durée...) et leur déposition (mécanismes de sédimentation ou d'impaction...) dans un mortier fissuré.

[1] Gelain T. An original method to assess leakage through cracked reinforced concrete walls. Eng Struct 2012;38:11–20. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.12.037>.

[2] Parozzi F, Caracciolo EDJ, Journeau C, Piluso P. The COLIMA experiment on aerosol retention in containment leak paths under severe nuclear accidents. Nucl Eng Des 2013;261:346–51. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2012.12.012>.

**Indiquer le nom de la personne à contacter :**

**Nom :** Boccheciampe

**Prénom :** Alexis

**Courriel :** boccheciampe@cerege.fr

**Indiquer le thème de votre présentation :**

- Communication d'intérêt transversal
- Instrumentation
- Traitement des données
- Microstructure et texture
- État mécanique, approche multi échelles
- In situ, operando
- Matériaux naturels complexes
- Cohérence
- Chimie des solides, chimie des matériaux
- Surfaces, interfaces, nanostructures
- **Imagerie, tomographie**
- Microélectronique
- Matériaux stratégiques et défis énergétiques

**Indiquer votre mode de présentation préféré :**

Communication orale\*

Poster

~~Aucune préférence~~