

L'apport de la diffraction à l'étude de bétons de poudres réactives extrudables

Frédéric Dunstetter^{1,*}, **Marie-Noëlle de Noirfontaine**¹, **Mireille Courtial**^{1,2},
Pierre Mounanga³, **Khalid Cherkaoui**^{1,3}, **Abdelhafid Khelidj**³

1. Laboratoire des Solides Irradiés, CNRS UMR 7642-CEA-Ecole Polytechnique, Ecole Polytechnique 91128 Palaiseau, France

2. Université d'Artois, 1230 rue de l'Université, 62400 Béthune, France

3. LUNAM Université, Université de Nantes - IUT Saint-Nazaire, GeM, CNRS UMR 6183, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, 58 rue Michel Ange, 44606 Saint-Nazaire, France

** dunstet@poly.polytechnique.fr*

Depuis le milieu des années 1990, les performances du béton ont progressé de façon spectaculaire avec l'arrivée des bétons de poudres réactives (BPR) introduits par Richard & Cheyrezy en 1995. La résistance mécanique atteint couramment 150 à 200 MPa et peut aller jusqu'à 800 MPa avec des traitements en température et en pression adéquats.

Nous présentons ici les premiers résultats obtenus lors de la mise au point de BPR extrudable dans les conditions les plus simples. Ces matériaux sont destinés à produire des tuyaux résistants en environnement agressif. Les résultats présentés ici concernent le matériau de départ, avant extrusion.

Les performances mécaniques et de durabilité sont excellentes, avec une résistance mécanique de l'ordre de 170 MPa sans aucun traitement additionnel (à comparer aux 30 MPa d'un béton ordinaire) ; le module d'Young atteint 70 GPa pour le meilleur échantillon (à comparer à 25 GPa pour un béton ordinaire). Avec les protocoles usuels, la perméabilité est aux limites de détection aussi bien face aux gaz que face à l'eau et aux chlorures en solution. Des mesures complémentaires sont en cours.

Ces performances résultent de l'absence de porosité dans le matériau final, elle-même conséquence de la composition initiale,

- (i) comportant très peu d'eau, avec comme conséquence la présence d'une très forte fraction de composé anhydre résiduel participant à l'augmentation des propriétés mécaniques par le biais de son module d'Young très élevé, et
- (ii) de l'optimisation de l'étendue granulaire, qui réduit au maximum les interstices dans le milieu initial.

Tout ceci est rendu possible grâce aux progrès des adjuvants organiques ajoutés au mélange initial pour compenser la baisse de rhéologie résultant de la faible teneur en eau.

Nous présentons une étude couplant diffraction des rayons X sur poudre et microscopie électronique à balayage, effectuée sur plusieurs compositions, extrudables ou non. On observe un changement de comportement en fonction de la proportion d'adjuvant organique et de la nature des constituants : nous avons en effet substitué partiellement la silice amorphe utilisée habituellement par du quartz broyé, connu pour améliorer dans certains cas la rhéologie du matériau initial. Par chance, nous avons pu nous positionner au voisinage de la transition des comportements rhéologiques.

L'analyse par diffraction est complexe du fait de la grande hétérogénéité du matériau à l'échelle microscopique, avec au minimum 7 phases distinctes, dont certaines sont mal ordonnées ou amorphes. De plus les phases majoritaires présentent un polymorphisme complexe (5 à 7 polymorphes) avec une basse symétrie (monoclinique) associée à de grandes mailles (jusque 228 atomes dans le motif), avec une superposition de la plupart des raies de Bragg des composés majoritaires.

En couplant cette analyse globale avec l'analyse plus locale qu'apporte la microscopie électronique à balayage, nous avons en particulier montré un effet de la teneur en adjuvant sur la proportion finale de l'un des composés anhydres ayant une influence notable sur toutes les propriétés.

Remerciements.

Les auteurs remercient vivement Sandrine Tusseau-Nenez (IPNO, Orsay) et Marcel Signes-Frehel.