

UCOMP

Composite cimentaire ultra-fluide pour le stockage des déchets radioactifs soumis à un risque d'incendie

Projet accompagné par l'Andra dans le cadre du programme « Nucléaire de Demain » des Investissements d'avenir - Sélectionné lors de l'appel à projets Andra « Optimisation de la gestion des déchets radioactifs de démantèlement », organisé en coopération avec l'ANR.

Durée : 42 mois

Démarrage du projet :
02/2017

Montant total projet :
1,52 M€

**Dont aide du programme
Investissements d'Avenir** :
0,54 M€

Forme de l'aide : Subvention
avec modalités de retour
sur investissement pour l'État

Localisations :

Anglet (64),
Épernon (28),
Champs-sur-Marne (77)

Coordinateur : Université de Pau
et des Pays de l'Adour (UPPA)

Partenaires :

- Centre d'Études et de Recherche de l'Industrie du Béton (CERIB),
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB),
- Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)

Contact : Hélène CARRÉ,
helene.carre@univ-pau.fr

CONTEXTE

Pour stocker les déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue, des conteneurs en béton armé seront utilisés. Ils ont principalement une fonction mécanique pour la tenue structurelle permettant de transporter les colis et de les empiler. Ils participent également à la limitation du transport des radionucléides hors du stockage (faibles propriétés de transfert et rétention de certains éléments radioactifs du fait des propriétés chimiques des bétons). Dans le cadre du projet Cigéo (stockage souterrain à -500 mètres des déchets les plus radioactifs), il faut envisager un scénario de type incendie à l'issue duquel les conteneurs doivent conserver leur fonction. Toutefois, un tel chargement thermique peut induire sur les bétons de très grandes fissurations, des phénomènes d'instabilité (explosion, écaillage...) très préjudiciables à la tenue mécanique si la formulation du béton n'est pas adaptée. Aussi est-il nécessaire de développer des bétons spécifiques capables de conserver leur tenue mécanique après incendie.

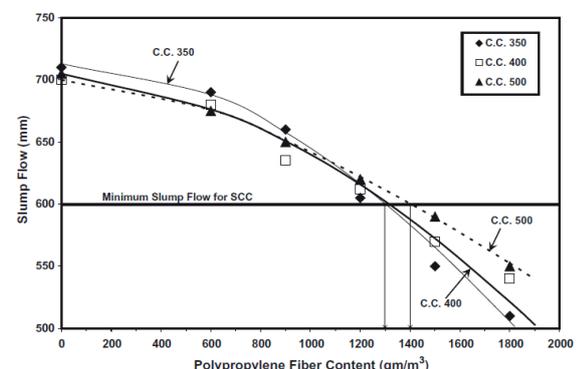


► Blocs de bétons soumis à un essai feu : à gauche, formulation sans fibres et à droite formulation avec fibres PP (Shuttleworth, 2001)¹

OBJECTIFS

Le projet UCOMP a pour objectif la conception de matériaux cimentaires pouvant résister à des températures très élevées (scénario d'incendie) pour la fabrication de conteneurs de déchets radioactifs.

Le projet propose pour cela d'utiliser un matériau cimentaire composite, c'est-à-dire dans lequel sont ajoutés des fibres polypropylènes (PP). En effet, les bétons contenant des fibres organiques sont déjà connus et utilisés pour la construction des tunnels du fait de leur tenue en cas d'incendie. Avec l'augmentation de la température, les fibres fondent et permettent l'apparition d'un réseau poreux connecté en plus de la porosité initiale. Ce réseau poreux permet d'évacuer la vapeur d'eau contenue dans le béton qui, lorsqu'elle est confinée, exerce des pressions pouvant entraîner l'endommagement de la structure. Le projet UCOMP propose ainsi de transposer les développements déjà réalisés dans le domaine du génie civil à la problématique du conditionnement des déchets radioactifs. En particulier, l'enjeu est de mettre au point une formulation conservant une fluidité suffisante pour assurer une mise en œuvre de qualité.



► Évolution de l'étalement en fonction du dosage en fibres de polypropylène (El-Dieb, 2012)²

1. Shuttleworth, P. (2001). "Fire protection of precast concrete tunnel linings on the Channel Tunnel Rail Link." Concrete vol. 35 (n° 4): pp. 12-22

2. A.S. El-Dieb a, M.M. Reda Taha, "Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)", Construction and Building Materials 27 (2012) 585-596



► Four Vulcain du CSTB (four vertical d'une puissance de 13,5 MW permettant de tester des éléments de 3 m de largeur et jusqu'à 9 m de hauteur avec éventuellement l'application d'un chargement mécanique)



► Four Promethee du CERIB (four horizontal d'une puissance de 16 MW permettant de tester des éléments d'une dimension allant jusqu'à 6 x 4 m avec 20 vérins verticaux et 9 vérins horizontaux)



► Conteneur de stockage MA-VL



► Béton écaillé après exposition au feu dans le tunnel sous la Manche en 1996 (ferrailage visible après disparition du béton de couverture)



► Fibres de polypropylène

Pour cela, le projet UCOMP propose d'étudier la formulation de ces matrices cimentaires composites de manière originale, en adoptant une approche globale combinée incluant les aspects rhéologiques, mécaniques et thermiques. Comme la résistance au feu et la fluidité évoluent de manière contraire avec l'addition de fibres organiques (plus on ajoute des fibres organiques, meilleure est la résistance au feu mais cela dégrade la fluidité du matériau) (cf. figures au recto), le projet vise en particulier à identifier les leviers permettant une optimisation de ces deux propriétés.

DÉROULEMENT

Le projet se déroule sur 42 mois et permettra de tester les matériaux, de l'échelle laboratoire jusqu'à la taille réelle.

La première partie du projet portera sur des études en laboratoire afin d'aboutir à la formulation de bétons optimisés à la fois vis-à-vis de leur fluidité à l'état frais et de leur comportement à haute température (cubes de 20 cm de côté). La seconde partie de l'étude permettra de tester des échantillons à moyenne échelle (éprouvettes de type dalles de 1 m² de surface et 15 cm d'épaisseur environ). Deux essais d'incendie en vraie grandeur seront enfin réalisés sur des échantillons à la géométrie très proche des conteneurs de stockage.

RÉSULTATS ATTENDUS

Innovation

Ce projet a pour objectif de développer les connaissances sur les bétons contenant des fibres de polypropylène, et plus précisément leur comportement rhéologique à l'état frais ainsi que leur comportement à haute température. Les expérimentations à l'échelle microscopique (tomographie, observation MEB, tests au rhéomètre...) permettront de mettre en évidence et de comprendre les phénomènes prépondérants. Associés à des simulations numériques, les résultats des expérimentations permettront de mettre au point une méthodologie d'optimisation des formulations. L'innovation de ce travail est liée à l'étude combinée de la rhéologie du béton frais et de son comportement à haute température d'une part, et à l'association d'expérimentations et de simulations numériques d'autre part.

Au-delà de cet apport sur le plan phénoménologique, le projet UCOMP permettra de mettre au point une formulation innovante de matériau cimentaire résistant au feu et facile à mettre en œuvre, y compris pour des formes complexes.

Impact économique

Outre leur résistance au feu, les matériaux développés dans UCOMP présenteront une bonne ouvrabilité, et devraient ainsi permettre une réduction des coûts de mise en œuvre par rapport aux matériaux existants. En effet, une faible fluidité du béton implique l'adjuvantation du béton (ajout de superplastifiants) ou une énergie de mise en œuvre plus élevée (main d'œuvre plus importante), toutes deux sources de dépenses supplémentaires.

Impact pour la gestion des déchets radioactifs

Dans le contexte de la gestion des déchets radioactifs, l'apport du projet sera une amélioration de la sûreté des installations. Le risque de feu identifié pour le stockage des déchets radioactifs doit être pris en compte pour la conception des conteneurs. Les bétons développés dans ce projet répondront à cette contrainte permettant ainsi de contribuer aux conditions de sûreté nécessaires à l'exploitation de Cigéo.

Application et valorisation

Au-delà de l'utilisation pour le stockage des déchets radioactifs, le développement de ces bétons sera utile aussi bien pour les infrastructures (tunnels, parking souterrains...) que pour les bâtiments. En effet, ces ouvrages peuvent être exposés aux hautes températures pendant leur service et l'utilisation de bétons avec des fibres organiques susceptibles d'apporter une protection à l'écaillage est aujourd'hui limitée à cause d'une moins bonne ouvrabilité. L'utilisation de bétons développés lors du projet UCOMP permettra de garantir la tenue pendant l'incendie et facilitera leur réparation en vue de leur remise en activité grâce à la garantie du maintien d'un bon niveau de résistance à l'issue de l'incendie. De plus, la qualité du béton réalisé (caractéristiques mécaniques, durabilité, qualité de parement...) est directement liée à la qualité de mise en œuvre. L'utilisation d'un béton ultra-fluide permet à la fois de faciliter sa mise en œuvre et de supprimer les nuisances sonores liées, en particulier, à la vibration du béton qui devient inutile.