

Ductal® Solutions

LA LETTRE D'INFORMATION LAFARGE DUCTAL® - NOVEMBRE 2011 - N°11

Numéro spécial
Applications sur chantiers



les matériaux au cœur de la vie™



Les ponts jumeaux sur le fleuve Mackenzie près de Thunder Bay, au Canada : le plus grand projet en Ductal® coulé sur site d'Amérique du Nord.

SOMMAIRE



PAGES 2 - 5 |
Joints de clavetage en BFUP coulés sur site pour ponts préfabriqués

PAGES 6 - 9 |
Des performances techniques qui ouvrent de nouveaux horizons

PAGE 10 |
Placer les BFUP au cœur de solutions constructives globales

PAGE 11 |
Un potentiel d'utilisation encore à découvrir

PAGE 12 |
Assistance technique sur site Lafarge

Performances techniques et applications sur chantiers : les atouts du Ductal®

Si le Ductal® bénéficie d'une belle notoriété pour la qualité et l'originalité de ses réalisations architecturales, son potentiel en matière de résolution de problèmes techniques spécifiques reste encore souvent méconnu.

Pourtant le vieillissement du patrimoine des ouvrages d'art conçus dans les années 60 impose des solutions de renforcement et de réparation par des matériaux autrefois hors normes mais aujourd'hui indispensables, tel Ductal®, pour satisfaire des exigences toujours plus ambitieuses en terme de durabilité.

Ductal® est ainsi employé avec un succès croissant dans le domaine de la rénovation des ponts en Amérique du Nord, mais également en Europe sur des renouvellements de structures de chaussées. Au-delà des

problématiques de rénovation et de renforcement, les BFUP s'illustrent dans de nombreux domaines aux performances très spécifiques : résistance à l'abrasion, aux agressions chimiques, pour les constructions au contact de l'eau de mer ; résistance aux impacts, explosions et phénomènes dynamiques, pour des bâtiments exposés aux risques d'attentats ou aux phénomènes sismiques.

Ce numéro spécial de Ductal® Solutions offre un aperçu des applications actuelles et à venir d'un matériau aux performances hors du commun... sur chantier !

Dominique Corvez
Directeur technique Ductal®
Groupe Lafarge

Selon un rapport de l'Association canadienne du ciment, sur les 474 000 ponts répertoriés dans l'Inventaire national des ponts aux États-Unis, 72 700 sont structurellement déficients, 80 700 sont fonctionnellement obsolètes. Lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec des systèmes de panneaux préfabriqués en béton hautes performances renforcés, les joints en Ductal® coulés sur chantier constituent une solution innovante pour la construction et la rénovation de superstructures de ponts extrêmement pérennes et durables.

Nouvelles solutions techniques pour une problématique très répandue

Joint de clavetage en BFUP coulés sur site pour ponts préfabriqués

Entretien avec
Vic Perry,
vice-président
et directeur général de Ductal®
Amérique du Nord



Ponts jumeaux sur le fleuve Mackenzie

En quoi consiste les joints coulés sur site Ductal®?

Vic Perry : Les tabliers de pont préfabriqués sont reconnus par les autorités en charge des réseaux routiers comme une solution durable répondant aux besoins des usagers des autoroutes. Il n'en demeure pas moins que les joints entre ces tabliers préfabriqués furent et sont à l'origine de nombreux problèmes de maintenance. Dès lors, de plus en plus de responsables des routes n'utiliseront plus de tablier de pont préfabriqué. Historiquement, le joint est le « maillon faible » du système. L'utilisation du Ductal® permet des longueurs d'ancrage et de recouvrement des aciers très courtes autorisant un joint très fin, plus résistant et durable que le panneau de tablier adjacent. Le matériau préfabriqué en Ductal®, dosé sur site, est coulé dans le joint entourant le panneau, dans les flancs entre le panneau et la poutrelle et dans les clés de cisaillement pour relier le panneau à la poutrelle.

Quels sont leurs principaux avantages?

V. P. : Lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec des systèmes de panneaux préfabriqués en béton hautes performances renforcés, ces joints constituent une nouvelle solution pour la construction de superstructures de ponts extrêmement pérennes. Grâce à ce matériau hors normes, l'efficacité du pont est améliorée de manière significative, et le joint devient le « maillon fort ». Les avantages de cette solution sont nombreux : complexité et taille de joint réduites, durabilité et continuité améliorées, vitesse de construction, élimination de la post-contrainte, risque sur site réduit, économies, maintenance simplifiée et, finalement, un système de tablier de pont plus résistant et plus durable.

Quels types de projets de pont utilisent des joints coulés sur site ?

V. P. : Plusieurs départements en charge des autoroutes aux États-Unis et au Canada ont utilisé des solutions de joints Ductal® sur un large éventail de systèmes de panneaux de ponts préfabriqués conventionnels, dans le cadre du remplacement de ponts d'autoroute en cours de dégradation. Parmi ces systèmes figurent, notamment, les poutres-caissons à portée unique ou multiples adjacentes, les poutres en forme de T, les panneaux de tablier préfabriqués sur toute leur profondeur et les panneaux modulaires de dalles gaufrées.

Quels sont les projets les plus significatifs et en quoi constituent-ils des applications duplicables ?

V. P. : Le projet Mackenzie est particulièrement significatif des performances de cette solution. Ces caractéristiques démontrent que cette solution peut être utilement dupliquée sur de nombreux ponts dégradés. Comme cela l'a d'ailleurs été pour des projets avec des panneaux de tabliers sur toute la profondeur, mais aussi pour des projets avec charge réelle continue sur le pilier intérieur. Associant les deux problématiques, l'ouvrage des ponts jumeaux sur le Mackenzie constitue le plus important programme réalisé à ce jour.

Quelles sont les opportunités que vous avez explorées, et quelles solutions innovantes ont été développées ?

V. P. : La combinaison de l'ensemble des propriétés du Ductal® – solidité, durabilité, fluidité et liaison accrue – offre aux ingénieurs la possibilité de concevoir de nouvelles solutions

optimisées pour la construction de ponts. Les joints Ductal® ont été mis en œuvre sur près de 20 ponts depuis 2006. Leurs utilisations récentes ont montré d'excellents résultats et permis la validation de la méthodologie. Elles ont démontré la fiabilité de cette technologie, et donc la confiance qu'elle suscitait, pour faire émerger des innovations mettant à profit le Ductal® pour d'autres types de joints, notamment :

- des panneaux de tabliers gaufrés préfabriqués et clés de cisaillement masquées ;
- des parois de protection et parapets préfabriqués ;
- des pieux reliés aux culées ;
- des joints de dilatation ;
- des revêtements à joints fins ;
- des constructions de ponts plus rapides.

Nous collaborons actuellement avec plus de 15 départements des transports américains ou canadiens sur des projets prévus en 2012/2013.

Joint Ductal® : propriétés du JS1000							
	Données de test				Valeurs pour la conception		
	Moyenne		Écart-type				
	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	
Compression	150	20000	10	1400	100	14 500	
Flexion	30	4300	5	700	-	-	
Tension directe	ftj*	8	1 160	1	145	5	725
Module de Young	GPa	ksi	GPa	ksi	GPa	ksi	
	50	7 200	2	300	45	6 500	
Durabilité							
Gel/dégel (après 300 cycles)					100 %		
Écaillage (perte de résidus)					< 0.10 g/m²		
Profondeur de carbonatation					< 0.5 mm		

* contrainte de traction de calcul

ZOOM - Réalisation d'un double pont sur le fleuve Mackenzie

Le pont sur le fleuve Mackenzie fait partie du nouveau tracé de l'autoroute transcanadienne près de Thunder Bay, dans l'Ontario. Le projet correspond à deux ponts jumeaux à deux voies, chacun étant constitué de 3 travées d'une longueur totale de 180 m. Le pont enjambe une gorge du fleuve Mackenzie à l'aide de poutrelles en acier continues, de profondeurs variables et munies de panneaux de tabliers préfabriqués sur toute leur épaisseur. Les panneaux de tabliers sont légèrement précontraints et s'étendent sur toute la largeur du pont. 130 panneaux de tabliers préfabriqués ont ainsi été installés (2,99 m de large x 14,5 m de long x 225 mm d'épaisseur). Les joints transversaux entre les panneaux de tabliers préfabriqués, ainsi que les réservations pour les clés de cisaillement, les flancs entre les

panneaux de tabliers et les poutrelles en acier, sont remplis de Ductal® coulé sur site. Le projet a également mis en œuvre le concept de dalles préfabriquées à joints coulés sur site en Ductal®. Il s'agit de la plus importante réalisation en Ductal® coulé sur site d'Amérique du Nord. Lafarge a fourni des mélangeurs jumeaux Ryan de 0,5 m³ produisant plus de 20 m³ de béton ultra-hautes performances par jour.

Le coulage du matériau de jointement a été réalisé par une équipe de 18 personnes, 2 pilotant les mixeurs, 1 sur les rampes, 1 opérateur de la chargeuse pour la charge des mélangeurs, 1 pilotant la chargeuse, 2 sur les chariots électriques transportant le matériau entre le mélangeur et le pont, 4 pilotant les chariots, 1 lissant le matériau

et 6 sur les coffrages. L'équipe a mis dix jours pour couler les 175 m³ requis pour le projet.



Mélange du Ductal® sur site.

Utilisation de joints BFUP pour les tabliers de pont en béton préfabriqués

par **Ben Graybeal**,
responsable du programme de recherche sur le béton de structure
de la Federal Highway Administration

L'utilisation d'éléments en béton préfabriqués permet de concevoir des ponts durables et d'excellente qualité. Grâce à ses performances mécaniques et sa durabilité excédant largement celle des bétons traditionnels, le béton fibré à ultra-haute performance (BFUP) est le matériau de prédilection pour optimiser la qualité des jointements coulés sur site. Les BFUP possèdent surtout une exceptionnelle capacité de liaison avec les bétons existants et réduisent sensiblement le phénomène de dilatation des armatures en acier noyées dans le béton.

Joint de clavetage coulés sur chantier

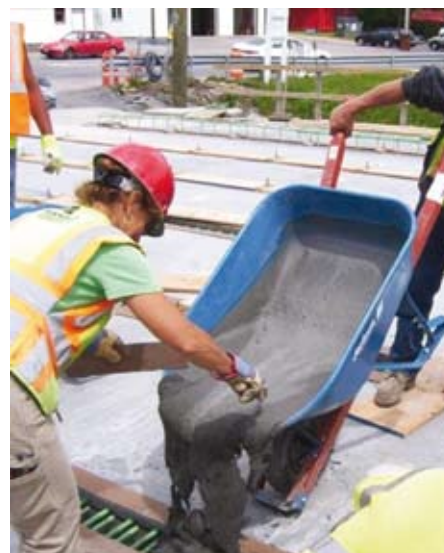
Les joints de clavetage de BFUP coulés sur site entre deux éléments de pont préfabriqués ont été réalisés lors de la construction de neuf ponts dans la province de l'Ontario (Canada) et de deux autres ponts aux États-Unis. Ces ponts utilisent toute une gamme de joints BFUP donnant la possibilité de relier les différents types d'éléments préfabriqués en béton, notamment les poutres-caissons adjacentes, les tabliers de pont préfabriqués sur toute leur hauteur et les poutres en forme de T. Jusqu'à présent, les types de procédés de joints utilisés avaient tendance à reproduire des joints par chevauchement sans contact, avec une clé de cisaillement de type femelle-femelle. Les BFUP offrent d'excellentes propriétés et permettent d'obtenir des jointements de petite taille et peu complexes sans avoir à faire appel à des techniques de précontrainte par post-tension ou à de grandes quantités de béton coulés in situ.

Programme d'essais physiques

La Federal Highway Administration a récemment terminé une étude* expérimentale portant sur la performance des joints de clavetage de tabliers en BFUP coulés in situ. Les résultats de ce programme d'essais ainsi que l'expérience acquise sur le terrain ont permis de démontrer la viabilité du système pour les tabliers de pont modulaires préfabriqués. Le système a démontré des comportements en adéquation avec ceux d'un tablier de pont monobloc en béton. Les armatures avec chevauchement sans contact jointes dans leurs parties longitudinales et transversales par du BFUP n'ont présenté aucune désolidarisation lorsque des charges cycliques et statiques leur ont été appliquées. L'essai de charge cyclique le plus sévère a donné lieu à une rupture par fatigue du métal d'un ensemble de cinq armatures droites en acier sans revêtement, qui se chevauchaient sans contact sur 15 cm. Aucune trace de désolidarisation entre les armatures et le BFUP coulé in situ ni de fuite d'eau par les joints BFUP n'a été constatée au cours de l'essai de fatigue.

Applications futures

La solution des BFUP coulés in situ pour joindre deux éléments de pont préfabriqués fait aujourd'hui l'objet d'un réel intérêt. Le ministère du Transport en Ontario et le département du Transport de l'État de New York continuent de faire appel à cette technique lorsque celle-ci est adaptée aux projets de construction en cours.



Coulage du BFUP dans les joints de clavetage longitudinaux entre les poutres en T des tabliers.

Le département du Transport de l'État de l'Iowa prévoyait deux projets de construction en 2011. D'autres États étudient les avantages de cette technologie, suite à l'augmentation de l'utilisation d'éléments modulaires et autres procédés de construction de ponts accélérés.

* Un résumé de l'étude et des résultats obtenus est disponible à l'adresse suivante : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/11022/index.cfm> (n° de publication : FHWA-HRT-11-022). Les résultats complets de l'étude sont disponibles sur le site www.ntis.gov (n° PB2011-101995).

Pour plus d'informations sur ce concept, voir l'article sur le pont (Route 31) de la ville de Canadaigua disponible dans l'édition 2009 du magazine ASPIRE™, ainsi qu'aux articles sur les BFUP disponibles dans les publications printemps et été 2010 de la FHWA.

ZOOM - Réalisation du pont sur la rivière Chukuni

Construit durant l'été 2010, le pont sur la rivière Chukuni, dans l'Ontario, mesure 101 m de long dont une travée simple de 83,5 m est la plus longue du Canada. Il a été édifié à l'aide de quatre poutres en acier de 3,7 m de profondeur et 50 panneaux de tabliers en béton préfabriqués. Les joints BFUP coulés sur site ont été utilisés pour relier les panneaux en béton préfabriqués entre eux, (joints transversaux et ligne centrale longitudinale), ainsi que les réservations pour connecter tablier et poutrelles et dans les flancs entre la sous-face et les poutrelles.



Le pont sur la rivière Chukuni : le plus long pont à travée simple du Canada.

EXPERTISE TECHNIQUE

Le développement des joints coulés sur site



Tablier de pont préfabriqué prêt pour le "joint fill".

Le développement des premiers joints en Ductal® coulés sur site a débuté en 2004 dans le cadre d'une collaboration avec le ministère des Transports de l'Ontario. L'objectif était de mettre au point une nouvelle solution pour le remplacement des tabliers de ponts d'autoroutes en cours de détérioration. Le projet sélectionné pour la mise en œuvre de cette solution était un pont d'autoroute à proximité du Rainy Lake, dans l'Ontario. L'exploitation des caractéristiques exceptionnelles de ce matériau a permis de vérifier que les processus de fabrication et d'installation des panneaux préfabriqués étaient grandement facilités. Avec pour bénéfices d'améliorer les tolérances, de réduire les risques, de faire des économies et de mettre en œuvre une solution plus durable. La conception, le test et la construction du projet du Rainy Lake ont permis de valider un tablier de pont préfabriqué équipé d'un joint BFUP de 200 mm de large (la largeur d'un joint conventionnel est de 600 mm). La réussite de ce projet a ouvert la voie à la réalisation de plusieurs projets similaires incluant des joints préfabriqués avec le ministère des Transports de l'Ontario et d'autres institutions officielles aux États-Unis. Le très grand nombre de ponts obsolètes sur le continent suscite un véritable intérêt de la part des autorités en charge des

réseaux pour les nouvelles technologies et les matériaux novateurs permettant de faciliter le remplacement de ces équipements en cours de détérioration. Avec pour priorité la durabilité et la qualité de l'ouvrage, mais aussi une exigence sur la rapidité du chantier et la réduction des coûts de maintenance.

Les maîtres d'ouvrage sont en outre souvent confrontés à la nécessité de remplacer des composants cruciaux sur les ponts pendant des périodes de fermeture des routes la nuit ou durant une durée limitée. La mise au point d'une solution de joint coulé sur site en Ductal® permet de relever l'ensemble de ces défis, et même d'aller au-delà de ces exigences. Pour cette application, des résistances de compression de l'ordre de 150 MPa et des résistances de flexion comprises entre 15 et 40 MPa ont été possibles. Les caractéristiques mécaniques exceptionnelles du matériau résultent des dosages imaginés pour produire une granulométrie compacte nominale de 400 µm au maximum et une géométrie de fibre de 12 mm x 0,2 mm. Le ratio de taille maximal des grains/fibre est déterminant pour faciliter l'orientation aléatoire des fibres et la ductilité du produit. Il en résulte des propriétés microstructurelles améliorées de la matrice minérale, notamment en termes de solidité et de contrôle de l'adhérence fibre/matrice.

ZOOM

Rénovation de pont autoroutier : renforcer la structure et assurer l'étanchéité

Dans le cadre des travaux de rénovation de l'évacuation des eaux d'ouvrages d'art sur un tronçon autoroutier de l'A9 aux environs de Lausanne, l'entreprise Suisse Deneriaz a constaté, au moment de remplacer le revêtement bitumineux, que les armatures transversales supérieures étaient relativement peu enrobées de béton, parfois plus du tout, et que certaines de ces armatures étaient corrodées.

« En conséquence, la résistance de l'ouvrage à la flexion n'était plus assurée », explique Jean-Luc Jaquier, directeur de l'entreprise. « Dès lors, nous devons trouver une solution qui assurerait la pérennité de cet ouvrage tout en offrant au maître d'ouvrage, l'Office fédéral des routes, une rapidité d'exécution la plus à même de limiter les interruptions de trafic et autres gênes envers les usagers de l'autoroute. »

Résistance aux agressions chimiques et étanchéité

« Il était ainsi nécessaire, poursuit-il, d'assurer la réfection de l'ouvrage tout en mettant un minimum de matière pour rectifier ce problème de corrosion des armatures afin de ne pas augmenter les charges sur l'ouvrage proprement dit, tout en garantissant une grande résistance du béton. Il fallait également avoir un matériau qui résiste efficacement aux sels de déverglaçage et aux substances agressives : l'utilisation d'un béton standard n'était alors plus envisageable.

Le choix du Ductal® fut, dès lors, déterminant. Le matériau offre l'avantage d'avoir une résistance mécanique à la compression quatre à cinq fois supérieure à celle d'un béton classique. Il permet, en outre, de rigidifier les structures en n'appliquant que très peu de matière sans modifier considérablement le poids propre de l'ouvrage. L'utilisation du Ductal® nous a également permis de supprimer tout problème d'étanchéité. Avec seulement 2 à 5 cm de Ductal® malaxé sur place et coulé en un temps record, nous avons pu répondre à chacune des problématiques posées par la rénovation de ces ponts. »



État d'origine des armatures corrodées.



Coulage d'une fine couche de Ductal® assurant renforcement et étanchéité.

Des performances techniques qui ouvrent de nouveaux horizons

Interview de Laurence Jacques, directrice Ductal® France-BeLux.

Laurence Jacques nous propose un aperçu des opportunités offertes par les performances du Ductal® dans ses applications sur chantier, illustrées par de nombreuses réalisations en Europe.

Loin d'être exhaustifs, ces exemples de réalisations ouvrent la voie à une prospective à laquelle se sont prêtés Patrick Guiraud, directeur délégué Génie civil de Cimbeton, et Philippe Gegout, directeur du pôle Ingénierie Matériaux de Bouygues Construction.

ZOOM



Rénovation du barrage de Caderousse

L'entretien du barrage de Caderousse endommagé par l'abrasion, liée aux chocs des solides transportés par le Rhône, exigeait de trouver un matériau qui assure la meilleure durabilité mais permette aussi de réduire les impacts logistiques et économiques du chantier. Coulé sur place en une matinée, le Ductal® a apporté une solution nouvelle pour cette rénovation délicate.

Le radier de l'usine hydroélectrique du barrage de Caderousse subit l'abrasion des éléments solides (sable, galets, résidus divers...) charriés par le fleuve.

Le dégrilleur, servant à évacuer tous ces solides, entraîne lui aussi un raclement des bétons qui accentue encore l'usure par frottement.

« Nous avons des programmes pluriannuels internes qui nous permettent de définir des opérations de maintenance courantes des ouvrages de la Compagnie nationale du Rhône et ainsi de réaliser la sûreté hydraulique en garantissant un bon état de ces ouvrages », détaille Pierre Soutier, chargé d'affaires à la direction régionale du Rhône de la CNR.

« Nous avons développé deux essais spécifiques », poursuit Jacques Perrier, responsable Activité Matériaux à la CNR. « Le premier pour tester l'abrasion en représentant les effets de l'usure du sable sur les radiers du barrage, le second pour simuler l'effet de chocs de galets. Le Ductal®, présentant des performances excellentes aux tests de chocs et de très bons résultats au phénomène d'abrasion, a été choisi. »

Les matériaux à haute durabilité utilisés traditionnellement en réhabilitation nécessitent généralement une livraison par barge, une mise en œuvre sur site souvent complexe et

Dans quels domaines et pour quelles applications, les performances hors normes du Ductal® sont-elles les plus pertinentes ?

Laurence Jacques : Les performances techniques du BFUP en font un matériau "hors normes". Mécaniquement, il occupe une position intermédiaire entre le métal et le béton. En termes de durabilité, résistance aux chocs et aux environnements agressifs, il offre des propriétés étonnantes. Enfin, il ouvre tout un champ de nouvelles solutions constructives seul ou en combinaison avec d'autres matériaux.

Le Ductal®, pour des raisons économiques, n'a pas vocation à se substituer au béton traditionnel, matériau peu onéreux, qui a fait ses preuves depuis plus d'un siècle pour une large gamme d'applications.

En revanche, il peut offrir au bureau d'étude ou à l'architecte qui le maîtrisent, des solutions originales, plus performantes ou plus économiques qu'avec les matériaux traditionnels.

La diversité des questions, auxquelles les performances du Ductal® offrent des réponses, est d'autant plus passionnante qu'elle accompagne les nouvelles exigences en termes de rapidité de mise en œuvre, de développement durable et d'économie de projet.



Essais d'usure sur mortier, granit et Ductal®.

Grande résistance et facilité de mise en œuvre sur chantier

Quelques exemples ?

L. J. : Les matériaux qui doivent répondre à des exigences extrêmes en matière de durabilité sont souvent particulièrement difficiles à mettre en œuvre : faible temps d'ouvrabilité ou difficultés de pompage impliquant un mélange sur chantier sont la règle. Dans ce contexte, la possibilité de pomper le Ductal® sur plusieurs dizaines de mètres sans ségrégation des fibres peut être particulièrement appréciable pour certains chantiers difficiles d'ac-



Fabrication en centrale à béton et mise en place du Ductal® autoplaçant.

une livraison par grue imposant la fermeture de routes passantes. En réponse à l'appel d'offre de la CNR, l'entreprise générale Mérillon a proposé, en partenariat avec Lafarge, de mener cette opération d'entretien en employant du Ductal® livré par camion toupie et pompé sur longue distance.

Un granit liquide

« Le moyen de mise en place du Ductal® est assez particulier, puisque nous avons été amenés à installer une grosse pompe à béton acheminant le BFUP au centre du barrage à plus de 140 m de distance pour être coulé

en place », explique Tony Mérillon, directeur général de Mérillon. « C'est complètement différent d'un béton traditionnel qui s'étale de manière assez hétérogène. Ductal® pourrait presque s'apparenter à un autoplaçant. Notre solution permettait d'avoir une mise en place en une seule opération et d'éviter toute reprise de bétonnage. »

« C'est un procédé de mise en œuvre qui nous a permis de travailler dans des conditions relativement classiques (fabrication en centrale à béton, transport en camion toupie, livraison du matériau sur site). Ce n'est qu'ensuite que les 12 m³ nécessaires à la réparation du radier ont été pompés sur une longue

distance pour être coulés au fond du barrage », précise Thibault Lagrange, ingénieur d'affaires Ductal®. « Cette méthode optimisée a permis de réaliser le chantier en une matinée sans perturber la circulation de la route départementale passante. En outre, possédant une teneur en eau particulièrement faible, le Ductal® est protégé durant sa phase de séchage et de maturation. Le barrage a pu être remis en eau quelques jours seulement après l'opération. »

« Tout comme sa durabilité, la capacité d'adaptation de ce "granit liquide" est véritablement exceptionnelle », assure en conclusion Tony Mérillon.

cès. Cette technique, qui permet d'amener à pied d'œuvre, rapidement, de grandes quantités de matériaux, permet aussi de réduire drastiquement la durée du chantier.

L'exemple de la rénovation du radier du barrage de Caderousse, réalisée par l'entreprise Mérillon en 2009, en est une illustration (voir Zoom p. 6-7). Par sa résistance à l'abrasion et aux chocs, identique – selon les tests de la CNR – à celle du granit, mais aussi par sa capacité à être pompé sur une longueur de 140 mètres, permettant ainsi de ne pas interrompre le trafic, le Ductal® a permis de répondre aux deux points essentiels du cahier des charges.

La résistance à l'abrasion et aux chocs du Ductal® est, par ailleurs, l'un de ses points forts pour des développements très diversifiés.

Une des applications, sinon originale, tout du moins emblématique à plus d'un titre, est celle des dalles d'usure mises en œuvre pour accueillir une activité de démantèlement des wagons SNCF. Le découpage des wagons soumet le sol à rude épreuve. Ce dernier doit résister aux chocs liés à la manipulation de pièces métalliques de plusieurs tonnes, mais aussi garantir une bonne étanchéité pour protéger le sous-sol des déchets huileux qui se seraient échappés lors de la vidange fluide préalable.

Par ailleurs, la durabilité de la plateforme est un élément clé de la performance de l'établissement, une réfection lourde entraînant une interruption temporaire d'activité et un manque à gagner important.

Lors du test effectué sur une plaque en Ductal® de 5 cm d'épaisseur, l'entreprise a fait tomber de plus de 10 mètres de haut une pièce métallique de 5 tonnes. La plaque

en Ductal® n'a subi qu'un léger enfoncement sur 1 cm. Lors du test sur le revêtement béton traditionnel, la pièce métallique avait généré un impact de 20 cm de profondeur. Un développement qui laisse augurer des applications très diverses mettant à profit chacune des performances du Ductal®.

Un matériau protecteur et structurant pour réparer

Vous parliez aussi de sa capacité à résister aux environnements agressifs ?

L. J. : En effet. Le Ductal® est 1 000 fois plus étanche à la pénétration des ions chlore qu'un béton classique, ce qui permet de diviser par deux les épaisseurs d'enrobage. Cette propriété a été exploitée pour la rénovation de la piscine d'Amiens. La platine et les ancrages des poteaux de la piscine étaient dégradés, le chlore ayant corrodé le ferrailage d'origine. Le Ductal® a permis de recréer des platines et d'assurer également la reprise des poteaux treillis en façade, eux aussi corrodés en pied et sur les ancrages, assurant à terme les reprises de charge et la durabilité de la structure, en la protégeant de la corrosion.

La mise à profit des capacités structurelles des BFUP ouvre ici des perspectives pour des opérations de rénovation et de réhabilitation.

Et, au-delà d'assurer la durabilité des structures existantes, elle peut également permettre d'augmenter leurs capacités.

ZOOM



Rénovation avec du Ductal® d'un poteau métallique fortement corrodé en pied.

Rénovation de la piscine d'Amiens ou la résistance aux ions chlore démontrée

La rénovation de la piscine d'Amiens illustre les capacités de résistance du Ductal® aux agressions chimiques. Les poteaux porteurs en acier de la Verrière de cet établissement étaient rongés par l'action du chlore de l'eau de la piscine. La rénovation des platines et des ancrages des poteaux exigeait une consolidation avec un matériau résistant à cette attaque chimique. La migration des ions chlore étant près de mille fois plus lente dans le Ductal® FM (fibres métalliques) que dans un

béton classique, cette solution s'est imposée. À l'intérieur de la piscine, un piquage et un décalaminage de la zone des pieds de poteaux ont été réalisés avant de couler du Ductal® FM autour du massif existant. La nouvelle platine, située 20 cm plus haut que l'ancienne, a été équipée de raidisseurs en plats acier pour faciliter à terme le transfert de charge. Ainsi, lorsque l'ancienne base du poteau sera totalement corrodée, la totalité de la charge du poteau se reportera sur la nouvelle platine.

C'est le cas d'un projet à Perpignan, où le promoteur immobilier souhaitait réaliser un immeuble élevé sur un parking existant dont les structures ne pourraient pas assurer les reprises de charges nécessaires. L'opération a donc consisté à gratter les poteaux de structure sur 2 cm et à les sertir d'une nouvelle couche de 3,5 cm de BFUP, permettant ainsi la construction du nombre d'étages souhaité sans incidence sur la capacité d'accueil du parking. Cet exemple démontre que la connaissance des BFUP permet d'envisager des solutions nouvelles et originales, assurant une bonne équation entre optimisation économique globale de l'opération et rationalisation du chantier.

Quels sont les autres développements explorés à l'heure actuelle ?

L. J. : Une des premières pistes est d'associer la mise en œuvre de modules préfabriqués et d'un coulage en place. Ne serait-ce que pour exploiter au maximum les avantages du coulage sur chantier et les qualités esthétiques et techniques que la préfabrication facilite.

Mais, au-delà de cet avantage esthétique, cette association de différentes mises en œuvre peut offrir d'autres développements. Ainsi, toujours pour renforcer l'étanchéité d'une structure existante, il peut être envisagé de couler du BFUP entre des coques préfabriquées servant de coffrage perdu. Cette solution aurait pour avantage d'éviter la construction d'une seconde coque étanche.

Le Ductal® assurant une grande fiabilité du raccordement des éléments entre eux, cette technique qui mêle éléments préfabriqués et coulage en place peut aussi être particulièrement adaptée à la réalisation d'élargissement de ponts pour répondre à de nouvelles contraintes de trafic.

Améliorer la sécurité des constructions face aux risques

Enfin, des études sont actuellement en cours pour réaliser des poteaux en Ductal® capables de limiter les dégâts liés aux explosions ou aux secousses sismiques. En effet, ses fibres permettent une meilleure diffusion de l'énergie liée à une explosion, évitant ainsi le soufflage du béton. Vous imaginez combien l'actualité de ces derniers mois place ces performances au cœur des recherches.

L'exploitation des performances techniques du Ductal® et des BFUP sont encore loin d'avoir toutes été explorées. La problématique liée à chaque chantier appelle une réponse singulière. C'est la raison pour laquelle les équipes Ductal® dans le monde proposent une assistance technique performante pour réaliser avec les concepteurs, les bureaux d'études, les entreprises de travaux publics, des projets dont l'économie globale bénéficie de performances techniques qui conjuguent durabilité, résistance et entretien minimal.

Un autre travail de rénovation concernait la reprise des poteaux treillis en façade du bâtiment. Les neuf poteaux en acier avaient eux aussi subi une corrosion importante en pied et sur les ancrages. Quatre nouveaux goujons constitués de chevilles en inox ont été scellés à la résine sur chaque poteau. Du Ductal® FM a ensuite été coulé dans la membrure principale des poteaux treillis sur une hauteur de 2 m. Une fenêtre de 8 cm de large a été ouverte dans le poteau pour la mise en place du Ductal®, puis a été rebouchée par soudure sur site. Ici, la fluidité du Ductal® s'est révélée un atout majeur pour le remplissage des poteaux.



Poteau rénové en bord de bassin.

Comment le leader mondial des travaux publics met à profit les performances des BFUP? Quels sont les développements imaginés par son laboratoire Ingénierie Matériaux? Telles sont les questions que nous avons posées à Philippe Gegout, directeur du pôle Ingénierie Matériaux de Bouygues Construction.

Placer les BFUP au cœur de solutions constructives globales

“

Nous travaillons à définir quelle serait la bonne équation entre performances techniques, adéquation de la réponse, optimisation des coûts pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre afin d'assurer un développement efficace.

”

Philippe Gegout,

directeur du pôle Ingénierie Matériaux de Bouygues Construction.

Du point de vue d'une entreprise telle que Bouygues, quels sont les principaux atouts des BFUP en général et du Ductal® en particulier?

Philippe Gegout : Les BFUP sont des matériaux dont les propriétés vont bien au-delà des exigences moyennes des normes actuelles concernant les bétons.

Leur existence est relativement récente et nous sommes encore loin d'avoir fait le tour de leurs propriétés en tant que telles, mais également des systèmes constructifs qu'ils peuvent permettre, seuls ou associés à d'autres matériaux comme l'acier ou d'autres bétons.

En ce qui concerne le Ductal®, les atouts le plus souvent mis en valeur sont ses qualités esthétiques et sa résistance exceptionnelle.

Pour autant, ces avantages ne sont pas les seuls, et finalement peut-être pas les plus différenciants par rapport à un béton classique ou à un BHP (béton haute performance).

Si l'hyperrésistance du Ductal® est très supérieure aux valeurs issues des normes actuelles – avec des résistances pouvant aller bien au-delà de 150 MPa, on est très loin des résistances moyennes de 40 MPa des bétons courants –, elle masque quelque peu d'autres propriétés moins connues, comme sa résistance à l'abrasion, ses capacités structurantes, sa résistance à la pénétration des agents agressifs tels que les chlorures et les sels marins par exemple...

Les BFUP, en général, peuvent être utilisés de différentes façons : seuls, coulés en place ou préfabriqués, ou bien associés à d'autres matériaux. Le recul sur ces différentes solutions, comme les réparations de pont effectuées aux États-Unis, permettra d'affiner les calculs et de proposer des solutions de plus en plus performantes.

Quel avenir prévoyez-vous à ces matériaux?

P. G. : Nous sommes au début d'une nouvelle ère qui verra certainement les BFUP apporter des solutions radicalement nouvelles. Des innovations qui passent par des expérimentations et des chantiers, seuls à même d'ouvrir plus largement le champ des possibles pour des applications plus répandues. Ce développement est donc corrélé à une R&D active, tirant bénéfice des chantiers réalisés pour imaginer de nouveaux usages, mais aussi à un cadre normatif qui évoluera en lien avec les découvertes qui seront faites.

Cet avenir ne peut se concevoir sans replacer Ductal® au cœur de solutions globales, intégrant la mise au point de méthodes de fabrication et le développement de nouveaux systèmes constructifs innovants et adaptés aux différents scénarios possibles d'utilisation de ses propriétés.

À quelles applications possibles votre laboratoire réfléchit-il?

P. G. : Nous travaillons à définir quelle serait la bonne équation entre performances techniques, adéquation de la réponse, optimisation des coûts pour les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, afin d'assurer un développement efficace.

Cela passe par la mise au point de procédures permettant de répondre à des marchés importants, étendant ainsi les champs d'application du produit et mettant en avant toutes ses performances.

Je pense, par exemple, à la réalisation de pipelines, de cuves de confinement, mais également de platines complexes ou bien encore de pré-murs...

Patrick Guiraud, directeur délégué Génie civil de Cimbeton

“ Je crois que nous sommes loin d'avoir exploré toutes les possibilités ouvertes par les performances mécaniques des BFUP et en quoi elles sont susceptibles de modifier notre façon de construire. ”

Un potentiel d'utilisation encore à découvrir

Quels sont, à votre sens, les potentiels de développement des BFUP ?

Patrick Guiraud : La première qualité des BFUP, largement mise à profit depuis leur origine, est la qualité esthétique des ouvrages réalisés.

Mais le potentiel d'utilisation qu'offrent leurs performances mécaniques, leur durabilité, leur résistance aux agressions chimiques, est aujourd'hui largement sous-exploité.

Lorsque les concepteurs cherchent à optimiser la résistance en diminuant les quantités tout en restant sur des schémas constructifs traditionnels, ils se privent du potentiel d'innovation qu'apportent les BFUP. C'est bien parce que la structure de la passerelle des Anges de Rudy Ricciotti est radicalement innovante qu'elle est compétitive.

Je crois que nous sommes loin d'avoir exploré toutes les possibilités ouvertes par les performances mécaniques des BFUP et en quoi elles sont susceptibles de modifier notre façon de construire.

Et donc de développer des applications où elles trouveront leur juste utilité.

Imaginez aussi combien l'association des BFUP avec des aciers à très hautes performances permettrait de tirer parti des avantages respectifs des deux matériaux et d'envisager des combinaisons optimales là où cela serait nécessaire.

Certes, le temps d'évolution des techniques du BTP est plus lent que celui de l'informatique, mais la connaissance que nous avons aujourd'hui des BFUP doit leur permettre de trouver des applications beaucoup plus larges, beaucoup plus diversifiées, beaucoup plus récurrentes que celles qui ont été les leurs jusqu'à présent.

Rénover plutôt que démolir

Lesquelles par exemple ?

P. G. : Dans un monde où les normes de dimensionnement Eurocodes préconisent des durées d'utilisations de cinquante ans pour les bâtiments et de cent ans pour les ponts, les BFUP sont beaucoup trop durables. Cette durabilité n'est, dès lors, pas prise en compte à bon escient dans les calculs économiques.

Pour autant, n'existe-t-il pas des domaines où nous aurons besoin de cette durabilité exceptionnelle ?

P. G. : Notamment sur tous les ouvrages en contact avec des agressions chimiques, les ouvrages en site maritime, les plateformes off shore, les champs d'éoliennes marines, les

aménagements portuaires répondant au développement du transport maritime... ?

Autre exemple. De plus en plus de maîtres d'ouvrage publics sont très attentifs à la limitation de la gêne à l'utilisateur. Lors des chantiers de maintenance ou de réparation d'ouvrages, les chantiers furtifs se multiplient et la possibilité de réaliser en usine des structures plus légères à résistance équivalente, a ainsi pu permettre de poser des passerelles en une journée. La rénovation des ouvrages existants utilisant du BFUP devient ainsi un thème de prédilection à explorer. Le renforcement des structures de bâtiments, l'entretien d'un patrimoine d'ouvrages en béton – soit pour des problèmes de dégradation, soit par volonté de changement d'usage – ouvrent des champs encore inexploités.

Ponts routiers devant accueillir un tramway, parkings transformés en bâtiments, surélévation de bâtiments existants : n'est-il pas plus écologique et plus économique de mettre à profit les performances mécaniques des BFUP plutôt que de démolir les ouvrages anciens ?

Vous abordez la question de l'environnement. En quoi les BFUP apportent-ils des réponses innovantes en termes de développement durable ?

P. G. : Je crois qu'économie de matière et de transport, chantier plus rapide, durabilité et économie globale de l'ouvrage en BFUP ont déjà été largement commentés et démontrés. Je vois pour ma part d'autres aspects, notamment d'un point de vue social, qui me paraissent presque plus motivants. Les BFUP facilitent le travail des opérateurs. L'apport d'un béton, qui n'a pas à être vibré, a des répercussions fondamentales en termes de sécurité et de baisse de la pénibilité pour les ouvriers. De surcroît, matériaux beaucoup plus performants, les BFUP nécessitent une main d'œuvre plus technique et plus qualifiée. Cette valorisation de nos métiers participe ainsi à la dimension sociale que le développement durable cherche à mettre en avant.

Une réalisation spécifique des BFUP qui vous paraîtrait emblématique ?

P. G. : Je ne sais pas si elle est emblématique, mais l'amour du vin et l'alchimie qui s'est longtemps opérée entre le béton et le vin, avant l'ère des cuves en inox, laissent penser que la réalisation de cuves en BFUP permettrait de donner à ce matériau des lettres de noblesse basées sur toutes ses qualités intrinsèques : naturel, durable, innovant, performant et protecteur... Il deviendrait le complice des grands crus qui se bonifient avec l'âge.

Assistance technique sur site

L'équipe d'assistance technique Lafarge Ductal® assiste ses clients autour de trois grands services : la formation, les essais techniques, l'accompagnement sur site. Une assurance de qualité pour les maîtres d'ouvrage et d'aide technique pour les maîtres d'œuvre.

Entretien avec Kyle Nachuk, ingénieur des services techniques Lafarge "La certitude d'une mise en œuvre de qualité contrôlée"



Quelle est la nature de l'assistance technique de Lafarge ?

Kyle Nachuk : Nous fournissons une palette de services allant de la conception à la réalisation du pont. Les services sur site débutent par une réunion d'analyse du projet avec le maître d'œuvre, la fourniture de mélangeurs, les tests d'équipements. Nous intervenons aussi pour superviser le dosage et la mise en œuvre de tous les matériaux constitutifs du Ductal®. Enfin, nous assurons les tests de contrôle et d'assurance-qualité (QA/QC), ainsi que le reporting au maître d'ouvrage.

Pouvez-vous décrire les services dédiés aux maîtres d'ouvrage, aux consultants et aux maîtres d'œuvre pour les applications sur site ?

K. N. : Avant la construction d'un pont, nous assistons les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrages pour le coulage et le plan de développement. Sur site, nous aidons à la conception des mélangeurs et proposons des solutions en cas de problèmes. Nous préconisons la meilleure manière de couler des sections et fournissons une analyse sur les caractéristiques de gain en termes de prise et de résistance en vue des phases ultérieures. Nous proposons un large éventail de mélangeurs pour les applications de coulage sur site et, si nécessaire, un processus de contrôle de la qualité. Cela inclut, notamment, le suivi des temps de dosage, des tests de flux, des températures, des cylindres de coulage ainsi que la mise à disposition de laboratoires familiarisés avec le test des cylindres BFUP.

Quels sont les principaux avantages de ces services sur site ?

K. N. : De nombreuses personnes méconnaissent les BFUP et sont livrées à elles-mêmes lorsqu'il s'agit de savoir comment le travailler. Bien que les BFUP contiennent un grand nombre d'ingrédients identiques à ceux utilisés par les BHP, ces deux bétons ont un comportement sensiblement différent. Le dosage et la mise en œuvre sont distincts. Il est primordial d'exécuter correctement ces tâches pour un résultat satisfaisant. Les maîtres d'œuvre apprécient d'avoir un expert sur site qui connaît le résultat avant de commencer le coulage et peut prévenir les problèmes potentiels. Les maîtres d'ouvrage, quant à eux, apprécient notre présence qui garantit la mise en œuvre d'un produit de qualité contrôlée pour une exécution réussie.



Gérard Molines, responsable assistance technique Ductal® "Confiez-nous vos essais"

« Notre première mission est de former les préfabricants qui découvrent le Ductal®, » explique Gérard Molines. « Une

journée pour faire le point sur le process de mise en œuvre du Ductal®, valider l'installation et les équipements, assister la conception et la fabrication de moules, détailler les différentes techniques de coulage et préconiser les mesures de sécurité aux standards sécurité Lafarge.

Le second service met à disposition les équipements nécessaires aux essais permettant aux clients de tester les prémix Ductal® qu'ils doivent mettre en œuvre ou leurs prototypes préfabriqués : essais de flexion, de compression, de porosité sur le Ductal® durci, essais de granulométrie, de morphologie et analyses chimiques des particules sur les différents prémix de la gamme.

Nos champs d'intervention sont aussi nombreux que les besoins de nos clients sont spécifiques : valider le cycle de malaxage d'un nouveau malaxeur, réaliser des essais de convenance exigés par les recommandations AFGC-SETRA

sur des éprouvettes découpées dans un élément prototype réalisé à l'échelle. Nous assistons également des clients en prélevant des échantillons pour faire des tests de résistance mécanique à une échéance donnée. Ou encore, réaliser pour des architectes des teintes spécifiques ou de petits prototypes. »

Favoriser le contrôle qualité sur chantier

L'équipe d'assistance Ductal® peut aussi accompagner la mise en œuvre sur chantier et assurer un contrôle qualité de la réalisation. « Nous intervenons aussi pour vérifier la qualité

du mélange, du malaxage, du coulage..., et ce, tant auprès d'entreprises générales que des préfabricants comme Il Cantiere en Italie, Deneriaz (MFP) en Suisse, Preinco au Maroc, ou Bonna Sabla, Béton FEHR et Mérillon en France.

Il nous arrive même en urgence d'aider un maître d'ouvrage qui, à l'instar des Pompiers de Paris, nous ont demandé de venir couler sur place, en une journée, deux poteaux permettant les reprises de charges que nécessitait l'ajout d'un étage de parking à la caserne de Champperret à Paris. »

Comité de rédaction :

Directeur de la publication : Jean Martin-Saint-Léon

Rédacteur en chef et contact : Lisa Birnie

Crédits : Photothèque Lafarge – Département du transport de l'État de New York –

Ministry of Transportation of Ontario

Conception/réalisation : Agence All Write 01 53 59 83 83

Impression : Imprimerie BM

Allo Lafarge : 0 820 385 385

www.ductal-lafarge.com

