

# **CONSTRUCTION D'UN OUVRAGE D'ART EN BÉTON DE GRANULATS DE BÉTONS RECYCLÉS : UNE INNOVATION ENVIRONNEMENTALE SUR LE CHANTIER DU CONTOURNEMENT FERROVIAIRE DE NÎMES MONTPELLIER (CNM)**

## ***CONSTRUCTION OF A CIVIL ENGINEERING STRUCTURE USING A RECYCLED AGREGATE CONCRETE : AN ENVIRONMENTAL INNOVATION AT THE NÎMES MONTPELLIER RAIL BY-PASS SITE***

---

**François-Xavier DEMALHERBE<sup>1</sup>, Patrick MICHELON<sup>1</sup>, Olivier SERVAN<sup>2</sup>, Jacques RESPLENDINO<sup>2</sup>,  
Maryline VERBAUWHEDE<sup>3</sup>, Isabelle MOULIN<sup>4</sup>, Emmanuel PERIN<sup>4</sup>, Laurent NOLOT<sup>5</sup>,  
Philippe LABBÉ<sup>5</sup>, Patrick DANTEC<sup>6</sup>**

1 Oc'Via

2 Setec TPI

3 Bouygues TP

4 Lerm groupe setec

5 Unibéton

6 Projet National Recybéton

---

# 1. INTRODUCTION

L'utilisation de bétons formulés à partir de granulats de bétons recyclés est autorisée par la norme NF EN 206-1/CN dans certaines limites mais le nombre de réalisations avec ce type de matériau reste faible et les retours d'expérience rares, notamment dans les ouvrages d'art.

Dans le cadre de sa démarche innovation, et de sa mission de maîtrise d'œuvre du Contournement ferroviaire de Nîmes Montpellier (CNM), le groupe setec a mis en relation les partenaires du Projet National RECYBETON, avec la société Oc'Via et le groupe Bouygues maître d'ouvrage et pilote du groupement constructeur de l'infrastructure. Ce partenariat a débouché sur le développement et la mise en œuvre d'un béton à base de granulats recyclés sur un des ouvrages routiers de ce projet, de type véloroute. L'objectif de cette réalisation est de démontrer la faisabilité technique et industrielle d'un tel béton et de mieux appréhender les freins actuels liés au développement de ce type de béton en France.

La présentation s'attachera à détailler le contexte de l'opération et les modalités d'implication des divers intervenants ; les caractéristiques des granulats recyclés mis en œuvre et des bétons formulés notamment d'un point de vue de leur performance mécanique et de leur durabilité. Les opérations de mise en œuvre et les observations réalisées lors du coulage de l'ouvrage au début de l'été 2014 seront présentées ainsi que les premiers résultats du suivi de durabilité.

## 2. CONTEXTE

### 2.1. Le projet national recybéton

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé au monde. Les professionnels de la construction, de plus en plus sensibles aux questions liées à la préservation de l'environnement, s'interrogent sur le devenir du béton lors de la fin de vie des constructions. En particulier, on constate que sur un total d'environ 300 millions de tonnes de déchets de chantier produits par an en France, seule une petite partie du béton qu'on y trouve est recyclée, principalement pour des travaux routiers. Pourtant, dans d'autres pays d'Europe, les granulats recyclés provenant de bétons de déconstruction concassés sont déjà utilisés dans la formulation de nouveaux bétons.

Le Projet National RECYBETON, projet collaboratif de recherche appliquée, vise principalement à changer la tendance au niveau national en favorisant la réutilisation de l'intégralité des produits issus des bétons déconstruits.

L'utilisation des granulats recyclés en travaux routiers est déjà bien développée et des études sur le recyclage du « béton pour faire du béton » sont en cours. Toutefois, beaucoup de questions subsistent, et le projet RECYBETON vise à y répondre. Ce projet s'intéresse aussi au recyclage des matériaux hydrauliques issus de la déconstruction des bétons comme matière première dans la production de liants hydrauliques (pour produire le clinker ou comme constituant de nouveaux produits).

Le Projet National RECYBETON rassemble, sur la base d'un engagement volontaire, 46 partenaires, acteurs de la construction : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre publics et privés, entreprises de BTP, bureaux d'études, ingénieries, industries productrices de matières premières ou de composants de la construction, laboratoires publics et privés, universités et écoles d'ingénieur pour une durée de 4 ans (2012-2016). Le budget global est de l'ordre de 4,8 M€ dont une partie est financée dans le cadre du Projet National RECYBETON (soutenu par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie) et l'autre dans le cadre du projet ECOREB soutenu par l'ANR.

### 2.2. Le projet CNM et l'ouvrage retenu

Le projet CNM (Contournement ferroviaire Nîmes Montpellier) est la première ligne à grande vitesse mixte. Il comprend 60 km de ligne nouvelle de Manduel à Lattes et 20 km de raccordements (Lattes, Jonquières et liaison rive droite du Rhône). Ce projet compte également 188 ouvrages dont 172 classés ouvrage d'art, 12 viaducs et une tranchée de 1200 mètres. Ces nouvelles infrastructures permettront la circulation de trains de fret à 100 – 120 km/h et la circulation de trains de passagers à 220 km/h (300 km/h à terme), ce qui permettra de parcourir Paris à Montpellier en 3 heures. La livraison est prévue pour 2017. Ce projet est réalisé par le biais d'un Partenariat Public Privé (PPP) signé avec RFF. Oc'Via assure la maîtrise d'ouvrage (hors jonctions et gares), Oc'Via construction intervient comme groupement concepteur /constructeur, l'ingénierie intégrée est assurée par Systra et Setec et la maintenance par Oc'Via maintenance.

L'ouvrage identifié (RE 411-1), est un pont cadre très biais sur la commune de Nîmes permettant le franchissement du ruisseau de Valdebane par la véloroute. La véloroute, qui suit globalement le tracé de la ligne nouvelle, fait partie intégrante du projet CNM. L'ouvrage retenu est donc en dehors du domaine ferroviaire et le béton s'inscrit ainsi dans le champ normatif de la norme NF EN 206-1 /CN 2012.

La décision conjointe Oc'Via /Setec de réaliser un ouvrage en béton de granulats recyclés a été prise en février 2014. L'ouvrage retenu devant être coulé à partir du mois de juin 2014, les partenaires du projet n'ont disposé que d'un délai très court pour formuler et valider ce béton, tout en respectant les modalités de validation du fascicule 65. Un mur en retour et la totalité de la traverse ont toutefois pu être coulés en béton de granulats recyclés, soit 42 m<sup>3</sup> sur un total d'environ 100 m<sup>3</sup>.

### 2.3. Démarche du chantier expérimental CNM/ Recybeton

L'objectif principal du chantier expérimental CNM/Recybéton est de vérifier la faisabilité industrielle et technique de l'utilisation d'un béton à base de granulats recyclés pour un ouvrage d'art. Il fait suite à un premier chantier réalisé en décembre 2013 et concernant un parking d'environ 2100 m<sup>2</sup> divisé en 6 zones chacune construite avec un béton recyclé variant de 0 à 100% selon les zones (1).

Le chantier expérimental s'accompagne d'études en laboratoire permettant d'évaluer l'impact du dosage en granulat sur certaines caractéristiques techniques du béton. Deux taux de substitution sont étudiés, 20% de la fraction gravillonnaire correspondant à la limite supérieure imposée par la norme NF EN 206-1 et 40% dans une vision prospective. Seuls les résultats obtenus sur la formulation à 20% sont présentés dans cette étude.

Un accent particulier est mis sur les aspects durabilité afin d'évaluer la pertinence de l'emploi de tels bétons dans les ouvrages d'art.

Les partenaires du projet et leurs missions sont :

Oc'Via Construction	Groupeur Concepteur et Constructeur
Setec	Maître d'oeuvre (Setec TPI)
Lerm	Caractérisation du granulat recyclé Essais de durabilité des bétons Suivi dans le temps des bétons
Bouygues TP	Définition de la formulation et suivi des essais
Unibeton	Fournisseur du béton BGR
LRM	Fournisseur du granulat recyclé GR
PN Recybéton	Approche scientifique et soutien financier

## 3. ÉTUDES ET CARACTÉRISATION DES BÉTONS EN LABORATOIRE

### 3.1. Caractéristiques du granulat de béton recyclé

Le béton a été formulé à partir de gravillons de béton recyclé 6/20 de type 1+ (toutes les caractéristiques sont CR<sub>B</sub>)

au sens de la NF EN 206-1/CN, fourni par la carrière LRM basée à Saturargues située à une vingtaine de kilomètres de la centrale à béton sélectionnée pour la fabrication des bétons. Un stock de 50 tonnes a été constitué spécifiquement pour le chantier à partir de blocs de béton issus de la démolition.



**Figure 1 : Illustration de l'aspect du gravillon de béton recyclé 6/20**

La caractérisation de ce gravillon a été effectuée à partir de dix prélèvements sur lesquels sont réalisés la détermination de la masse volumique, du coefficient d'absorption d'eau, des teneurs en sulfates et en chlorures. Les autres essais de la norme NF EN 12620 sont réalisés sur un échantillon moyen reconstitué à partir des dix prélèvements. Une attention particulière a été portée au risque d'alcali-réaction.

Ainsi, il a été réalisé :

- Une analyse pétrographique sur trois prises d'essais différentes,

Caractéristiques physiques		
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	NF EN 1097-6	2350 – 2420
Coefficient d'adsorption (%)	NF EN 1097-6	6,1% - 7,3%
Micro Deval (%)	NF EN 1097-1	29
Los Angelès(%)	NF EN 1097-2	29
Caractéristiques chimiques		
Chlorures (%)	NF EN 1744-1 article 7	<0,01
Sulfates (%)	NF EN 1744-1 article 12	0,34
Soufre total (%)	NF EN 1744-1 article 11	0,14
Matière organique	NF EN 1744-1 article 15-1	Négatif
Sulfates solubles dans l'eau (%)	XP P18-581	0,11 – 0,15
Qualification vis-à-vis de l'alcali réaction		
Alcalins actifs (%)	Méthode LPC n°37	0,0111
Analyse pétrographique	NF EN 932-3	Calcaire
Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin	XP P 18-594 Article 5.1	Non réactif

**Tableau 1 : Caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques du gravillon de béton recyclé.**

- La détermination de la teneur en alcalins actifs selon la méthode LPC n°37,
- Un essai crible sur mortier par autoclavage selon la norme XP P 18-594 Article 5.1.

L'ensemble de ces caractérisation a été réalisé par le lerm. Le tableau 1 présente les différentes caractéristiques du gravillon de béton recyclé.

Les caractéristiques chimiques et physiques du gravillon de béton recyclé déterminées selon le cadre de la norme NF EN12620 respectent les différents seuils fixés et placent le gravillon étudié en catégorie D, à la vue des coefficients d'absorption d'eau, pour une utilisation en "Béton hydrauliques", suivant la norme NF P 18-545 de septembre 2011, « Granulats – Éléments de définition, conformité et codification ».

L'analyse pétrographique révèle des natures de roche différentes témoignant que le mélange granulaire provient de bétons différents. Néanmoins, les trois prises d'essais répondent à la nomenclature d'un gravillon calcaire. Les prélèvements étudiés renferment également de la silice réactive au sens de l'alcali-réaction à une teneur estimée comme proche de la limite des 4% préconisée dans le cas général par le fascicule de documentation FD P18-542.

L'essai crible de stabilité dimensionnelle en milieu alcalin effectué selon la norme expérimentale XP P 18-594 donne une expansion inférieure au seuil de 0,15 %, permettant de classer ce gravillon de béton recyclé parmi les granulats Non Réactifs (NR).

### 3.2. Études béton

L'étude béton du projet CNM prévoit un environnement XC4 XF1 mais les formulations retenues confèrent aux bétons des caractéristiques leur permettant de résister à des environnements plus agressifs. La formule retenue référencée 20%GBR correspond à un taux de substitution de la

fraction gravillonnaire de 20% par le gravillon de béton recyclé 6/20. Ce taux de substitution est conforme aux exigences de la norme NF EN 206-1/CN (tableau NA.5). La formule 20% GBR est dérivée directement de la formule témoin utilisée pour le reste de l'ouvrage, aucun rajout d'eau ou modification des dosages en adjuvant n'a été nécessaire.

Les études sur béton ont été réalisées par Unibéton et pilotées par Bouygues TP. Elles sont conformes aux prescriptions de validation du fascicule 65 (études complètes sur les 3 formulations avec dérivées) et aux STD A9.

Le tableau 2 présente les caractéristiques des béton frais et durcis obtenues sur le béton de formulation 20%GBR et le béton témoin.

On notera que la substitution de 20% de la fraction gravillonnaire par du gravillon de béton recyclé n'influence que très faiblement les caractéristiques du béton à l'état frais et ses caractéristiques mécaniques.

### 3.3. Indicateurs de durabilité et retrait

L'étude béton a été complétée par une caractérisation plus poussée du béton relative à sa durabilité comprenant :

- Des mesures de retrait total et endogène et perte de masse aux échéances de 1, 7, 14, 21, 28, 45, 56 jours, 90 jours, 6 mois et 1 an,
- Un essai de performance RAG sur béton selon la NF P18 454 ,
- La détermination des indicateurs de durabilité :
  - Porosité accessible à l'eau selon la norme NF P18-459 à 90 jours,
  - Perméabilité au gaz selon la norme XP P18-463 à 90 jours,
  - Carbonatation accélérée selon la norme XP P 18-458,
  - Coefficient de diffusion des ions chlorures selon la norme XP P18-462.

Formule	Témoin	20% BGR
<b>Béton frais</b>		
Slump à T0 (mm)	230	235
Slump à T60 (mm)	225	220
Slump à T120 (mm)	190	215
Masse volumique (kg/m³)	2356	2340
Air Occlus (%)	2	2,9
<b>Béton durci</b>		
Résistance en compression à 7 jours (MPa)	44	38
Résistance en compression à 14 jours (MPa)	–	47
Résistance en compression à 28 jours (MPa)	55	57
Résistance en traction à 28 jours (MPa)	4,0	3,8

**Tableau 2 : Caractéristiques à l'état frais et durcis du béton 20%GBR et du béton témoin.**

Formule	Témoin	20% GBR
Porosité accessible à l'eau NF P 18-459 (%) à 90 jours	12,8	14,6
Perméabilité à l'oxygène XP P18-463 ( $10^{-18}$ m <sup>2</sup> ) à 90 jours	Non mesuré	213
Coefficient de diffusion des ions chlorures XP P18-462 ( $10^{-12}$ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ) à 90 jours	Non mesuré	9,6
Carbonatation accélérée selon la norme XP P 18-458 (mm) à 90 jours	Non mesuré	7,1
Test de performance RAG NF P18 454 (%) à 20 semaines	Non mesuré	0,0128
Retrait total (µm/m) à 90 jours	470	540
Retrait endogène (µm/m) à 90 jours	20	100

**Tableau 3 : Indicateurs de durabilité, tests de performance et retraits obtenus sur la formule 20% GBR et la formule témoin.**

Le tableau 3 synthétise les résultats obtenus.

Les mesures de retrait de dessiccation ont été réalisées sur une série de 3 éprouvettes 7x7x28 cm munies de plots de mesures dimensionnelles et conservée dans une ambiance dessiccative à 20°C et 50% d'HR après le démoulage à 24 heures. La masse et la longueur des éprouvettes sont alors mesurées à différentes échéances.

Afin d'estimer, tout au moins partiellement, l'amplitude du retrait endogène, un suivi dimensionnel d'une seconde série d'éprouvettes a été réalisé sans échange avec le milieu externe par application d'un film adhésif en aluminium.

## 4. DÉROULEMENT DU CHANTIER ET PREMIÈRES OBSERVATIONS

L'ouvrage a été coulé le 27 juin 2014 (pied droit) et le 17 juillet 2014 (traverse). Les bétons ont été fabriqués par la centrale d'Unibéton de Nîmes puis transportés par Camion toupie sur 15 km jusqu'au chantier.

Les conditions de mise en œuvre ont été strictement identiques à celles du béton témoin et aucune problématique



**Figure 2 : Vue photographique de l'ouvrage.**

particulière n'est apparue. La cure s'est faite à l'eau avec une toile de protection imbibée.

Les observations visuelles réalisées régulièrement depuis le coulage ne font pas apparaître de défaut particulier.

Une extension d'un des murs en retour a été réalisée afin d'aménager une zone de carottage pour un suivi des indicateurs de durabilité au cours de la vie de l'ouvrage. Ainsi, outre des observations visuelles, il est prévu a minima un suivi de la profondeur de carbonatation, la porosité et la perméabilité aux gaz aux échéances sur 3 ans.

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le chantier pilote du pont cadre RE 411-1 du projet CNM a permis de mettre en évidence la faisabilité industrielle de la mise en œuvre d'un béton incorporant 20% de gravillons de béton recyclé de type 1 pour la réalisation d'un ouvrage d'art de cette nature.

Les caractéristiques du béton obtenu sont tout à fait conformes aux exigences requises pour un tel ouvrage.

Fort de cette expérience, et d'essais en laboratoire et en centrale à béton très encourageants, la réalisation d'un autre ouvrage de CNM mettant en œuvre un béton incorporant 40% de gravillons de béton recyclé est à l'étude. Plus largement, le Projet National Recybéton projette d'autres chantiers expérimentaux permettant de faire la démonstration qu'il est possible d'aller au-delà des seuils actuellement fixés par la NF EN 206/CN.

## TRAVAUX CITÉS

- [1] **François de Larrard, Duc-Tung Dao, Didier Mialon, Damien Rogat.** Recyclage du béton dans le béton - Le chantier expérimental de Chaponost (Rhône). *Revue Générale des routes et de l'Aménagement*. décembre 2014-janvier 2015, p. 72.