

# Projet national Recybéton

## La levée des freins

Le Projet national de recherche Recybéton a obtenu des avancées techniques majeures rassurantes. Les granulats et les sables obtenus sont utilisables pour produire de nouveaux bétons, ou des objets en béton, ou encore en cimenterie. Les gisements existent, il ne faut pas se priver de les utiliser à la condition de s'organiser autour des agglomérations afin de maîtriser les coûts logistiques et la rentabilité. Les pouvoirs publics sauront-ils faciliter le marché ?



Sur le chantier Onze à Chartres, coulage d'une dalle d'étage en béton comprenant 20 % de granulats issus du recyclage, les Granudem de Poullard.



Bertrand Lotte, directeur des Règlements à la SMABTP.



Jacques Roudier, président du Projet national Recybéton.

Le Projet national Recybéton a été lancé afin de lever les freins qui empêchent les différents acteurs de la prescription de réemployer les bétons déconstruits pour faire à nouveau du béton. Les acteurs du projet ont témoigné de l'avancement du Projet en organisant un colloque intermédiaire en mars 2017. Le Projet s'est achevé entre fin 2018 et début 2019. La bonne occasion pour organiser une série de colloques dans toute la France. Le premier se déroula en mars à Paris, dans les locaux de la SMABTP, la Société mutuelle d'assurances pour le BTP.

**Bertrand Lotte**, directeur des

Règlements à la SMABTP, rappelle « les sinistres apparus durant les années 2000 dans les bâtiments d'habitation en béton et dus à la qualité des agrégats ». Il souhaite que « les matériaux du futur puissent durer ».

### Pas de freins, des gisements

**Jacques Roudier**, président de l'Irex et de Recybéton, rappelle que l'objectif est de publier un ouvrage scientifique et des recommandations opérationnelles qui faciliteront le fait de recycler le béton dans le béton. Et de proposer des évolutions normatives. Le Projet a démarré en 2012, les premières dis-

cussions ayant débuté mi-2009, associant 50 partenaires pour un budget de 5,3 M€.

**Mickaël Thiery**, MTES/DGALN/DHUP, précise qu'il faut « lever les freins techniques et culturels pour fabriquer de nouveaux bétons ». Il souhaite que « les performances soient obtenues avec les granulats recyclés, mais sans augmenter la teneur en ciment » et, par ailleurs, « un travail dans la confiance » entre toutes les professions impliquées dans la production du béton, assureurs compris.

**Horacio Colina**, directeur du PN Recybéton, estime que les gisements de béton devraient croître avec la démolition d'ouvrages anciens en béton, datant de plus

de 50 ans. Le gisement annuel du béton de déconstruction est estimé à 19 ou 20 Mt. Voir le tableau *Gisement de granulats recyclables dans le béton*. L'objectif est de réutiliser tous les éléments produits par le recyclage du béton, y compris les fines comme sable ou composant du ciment ajouté dans le cru ou le cuit en cimenterie. La norme reconnaît déjà la possibilité d'utiliser des granulats de béton recyclé, mais pour des taux ne dépassant pas les 20 % ou 30 % selon la classe d'exposition du béton, et 60 % uniquement pour la classe X0.

**Laurent Izoret**, de l'Atilh, résume le *Recyclage du béton de démolition par le liant*. Il livre ses conclusions en trois points. Il est possible d'utiliser :

- les sables de béton recyclé comme ajout dans le cru cimentier, à l'échelle industrielle ;
- certains sables de béton recyclé en tant que constituant principal des ciments autre que le clinker, pour donner des ciments de type CEM II/A ou B et pour des usages courants ;
- les fines de GBR comme addition de type I au béton, et elles constituent une charge quasi inerte.

### Propriétés structurelles et durabilité

**Thierry Sedran**, de l'Ifsttar, détaille les *Propriétés structurelles des bétons recyclés*. Il conclut ainsi :

- les propriétés mécaniques sont prévisibles en ajustant les formules afin de tenir compte de l'effet du granulat issu du recyclage ;
- si le taux de substitution croît, le module élastique diminue tandis que le retrait et le fluage augmentent ;
- l'adhérence entre les aciers et le béton contenant des granulats issus du recyclage est peu influencée par les granulats ;
- pour des taux importants, l'EC2 doit être adapté afin de prédire

le comportement des structures en béton comprenant des granulats issus du recyclage ;

- le béton contenant, à fort taux, des granulats issus du recyclage utilisé dans la route conduit à épaissir les couches ;
- la compréhension de la chaîne matériau / éléments de structure / ouvrages est à présent au même niveau que pour les bétons classiques.



L'ouvrage pratique issu des travaux de Recybéton.

**Patrick Rougeau**, du Cerib, traite de la *Durabilité des bétons recyclés*. Il présente quatre conclusions :

- l'effet "barrière de diffusion" est observé lorsque la matrice cimentaire du nouveau béton est compacte ; le rapport E/C est plus faible ;
- l'effet positif de la cure interne n'est pas observé ;
- l'intensité de l'évolution des propriétés de transfert des bétons dépend des caractéristiques des granulats issus du recyclage, des taux d'incorporation et de la compacité de la matrice cimentaire du béton dans lequel ils sont incorporés ;
- la durabilité des bétons contenant des granulats issus du recyclage est maîtrisée dès lors que les compositions sont optimisées (taux d'incorporation, rapport eau/ciment, etc.).

### Neuf certitudes

**François de Larrard**, directeur scientifique du projet national Recybéton, présente le contenu des connaissances apportées par le PN Recybéton.

Le premier point porte sur la production des granulats de béton recyclé. Sont abordés la déconstruction, l'élaboration des granulats (concassage, déferrailage, sélection et fragmentation) et leur caractérisation, notamment la porosité apportée par la matrice cimentaire du béton d'origine. Il est essentiel de traiter les plâtres afin de réduire le plus possible leur présence dans les granulats et les sables obtenus.

Le deuxième point concerne les sables obtenus lors du broyage des blocs de béton. À une distance raisonnable d'une cimenterie, en termes de coût logistique, il est envisageable de les incorporer dans le cru avant de passer au four. Testé à l'échelle industrielle, le procédé est compatible avec les normes actuelles. On peut même considérer une économie de CO<sub>2</sub>. Ajouté dans le clinker, le comportement des sables fins est similaire à un filler calcaire. Mais ce point est à étudier pour la future norme portant sur les ciments.

Le troisième point porte sur la production des bétons comprenant des granulats issus du recyclage. Les procédures de fabrication habituelles sont valables. La gestion des granulats recyclés s'effectue soit en utilisant un case dédiée, soit en effectuant un prémélange avec des granulats naturels. La porosité de la pâte cimentaire influence la teneur en eau de la formulation du béton. L'utilisation de sable issu du recyclage a une conséquence plus importante qui augmente la demande en adjuvant, à cause d'un effet de forme des éléments. Cela étant, le degré de saturation des granulats issus du recyclage a peu d'effet sur la rhéologie. Enfin, au jeune âge, le retrait plastique augmente et le retrait endogène diminue.



Mickaël Thiery, MTES/DGALN/DHUP.



Horacio Colina, directeur du Projet national Recybéton, Atilh.



Laurent Izoret, Atilh.



Thierry Sedran, Ifsttar.



Patrick Rougeau, Cerib.

## Formulations et propriétés

Le quatrième point concerne les propriétés du béton recyclé durci. Au niveau de la microstructure, les



© PG / R&V

À Mignières, près de Chartres, Spurgin Léonhart utilise 20 % de granulats issus du recyclage pour produire ses prémurs. Ici, l'une des faces, dont le béton est suffisamment pris, est retournée afin d'être associée à l'autre face, en béton très frais.



© PG / R&V

Stéphane Poullard tient un échantillon de granulats 4/12 issus du recyclage.



© LafargeHolcim

Le nouveau campus d'Orange à Lyon a été réalisé à l'aide de 11 000 m<sup>3</sup> de bétons aggrégo de Lafarge, comprenant une part de granulats issus du recyclage.

deux générations de pâte cimentaire développent une bonne adhérence mutuelle. Par contre la porosité augmente. Par ailleurs, la densité du béton baisse. En ce qui concerne les propriétés mécaniques, un faible de substitution des granulats a une modeste influence sur la résistance à 28 jours. Pour une résistance à la compression comparable, les transferts de gaz carbonique, d'oxygène et des ions chlore sont facilités, mais ils sont rattrapables si on réduit le rapport eau/ciment. Enfin, les gonflements ettringitiques sont contrôlés si le taux de sulfates issus du plâtre est limité à 0,3 %.

Le cinquième point porte sur les formulations du béton recyclé. Pour le moment, le taux de recyclage des gravillons est limité et l'incorporation de sable très limitée. Recybéton propose d'ouvrir les recommandations. Pour les formulations proprement dites, les méthodes actuelles sont utilisables en tenant tout simplement compte du taux de granulats issus du recyclage. L'absorption d'eau est un peu plus importante. Les gravillons concassés adhérents offrent une moindre résistance en tant qu'élément du béton.

Le sixième point concerne le béton armé. L'adhérence avec les armatures est maintenue et les ouvertures de fissure similaires. Les tests de compression sur les poteaux concluent à aucun changement s'ils sont courts, mais il convient de prendre en compte le module et le fluage pour les poteaux élancés. Les tests portant sur les poutres montrent que les fissures et les flèches augmentent, l'effort tranchant étant contrôlé par les règles techniques.

## Approche économique

Le septième point porte sur les chantiers expérimentaux menés au cours du projet Recybéton. Cinq chantiers différents ont été menés dans des contextes variés : bâtiment, ouvrages industriels et ouvrage d'art. Le taux de granulats issus du recyclage était compris entre 20 et 100 %. Les changements par rapport aux projets usuels sont modestes : procédures de chantier inchangées, absence de difficulté de la mise en œuvre, conception adaptée dans un cas et aucun désordre ultérieur constaté.

Huitième point, quel serait l'impact environnemental du recyclage ? Recybéton estime le gisement en béton recyclable entre 25 à 38 Mt/an, ce qui correspond entre 20 et 35 % des besoins en granulats pour les bétons. Le réseau des plateformes devrait se situer à proximité des villes. L'analyse du cycle de vie permet de surveiller l'empreinte CO<sub>2</sub> par le dosage en ciment et les transports, mais les normes actuelles de l'ACV ne peuvent pas mesurer l'économie de la ressource. Les relargages dans l'environnement sont inférieurs aux seuils. Enfin, le béton est éventuellement recyclable plusieurs fois.

Dernier et neuvième point, les normes applicables en France permettent le recyclage. Toutefois, il est indispensable de faire évoluer la norme NF-P 18545 qui concerne les granulats, la norme EN 206/CN qui porte sur le béton et la norme EC 2 appliquée au béton armé ou précontraint.

Une question dans la salle soulève l'approche économique. Ce volet n'a pas été vraiment étudié par la PN Recybéton, mais « il pousse à modéliser l'écosystème du recyclage. C'est un vrai sujet pour l'économie de la construction. Si le coût du granulats est similaire, quelle est la mécanique du marché ? La balle se situe dans la commande publique et auprès des maîtres d'ouvrage. »

## Gisement de granulats recyclables dans le béton : 29 Mt en réalité.

Matériaux	Gisement total	Pourcentage de recyclage	Potentiel selon Recybéton
Mélanges	22 Mt	30 %	7 Mt
Graves et matériaux rocheux	27 Mt	75 %	20 Mt
Béton	19 Mt	60 %	12 Mt
Total	68 Mt	—	39 Mt

Une autre question porte sur le comportement au feu. La porosité très peu supérieure diminue aussi très peu la conductivité thermique. Et « *l'écaillage est similaire* ».

## Prescription et dimensionnement

**Thierry Sedran**, de l'Ifsttar, synthétise les *Recommandations pour la prescription du béton recyclé et pour le dimensionnement des ouvrages*. Le Projet national Recybéton et le projet de l'Agence nationale de la recherche Ecoreb ont permis de mieux évaluer les conséquences de l'emploi des granulats recyclés sur la durabilité, à prendre en compte dans l'EN 206/CN, et sur les performances mécaniques, à prendre en compte dans l'Eurocode 2 (EN 1991 et 1992-1-1). Sans tout détailler, notons que les granulats recyclés ne peuvent entrer dans le béton précontraint et que les gravillons de types 2 ou 3, moins purs, sont limités aux classes C25/30 ou inférieures. Le PN Recybéton et l'ANR Ecoreb ont confirmé qu'il est possible de produire des bétons durables avec des taux de recyclats élevés, sous certaines conditions :

- résistance au gel, dans les mêmes conditions que pour les bétons normaux, sous réserve que les gravillons recyclés soient résistants au gel ;
- risque d'alcali-réaction, la méthodologie préventive est la même que pour les bétons normaux ; il convient de privilégier le bilan des alcalins et l'essai à long terme et d'éviter les essais microbar et autoclave ;

- risque de formation d'ettringite ou de thaumasite lié aux réactions sulfatiques ; la teneur maximale des sulfates solubles dans l'eau pour les granulats recyclés pourrait être de 0,3 %, la norme actuelle étant de 0,2 % ; la teneur maximale des sulfates solubles dans l'eau pour un mélange de granulats recyclés et de granulats naturels est limitée à 0,2 %.

**Pierre Vuillemin**, d'Eqiom et intervenant pour l'Agence nationale de la recherche, résume les *Réalisations effectuées sur les chantiers expérimentaux et sur divers chantiers*. Les six chantiers du PN Recybéton concernent le bâtiment, le génie civil et l'aménagement. Quatre chantiers ont exploré les possibilités de substitution des granulats naturels supérieures aux seuils de la norme NF EN 206/CN, et jusqu'à 100 %. Le premier essai fut une dalle coulée à l'aéroport de Roissy, utilisant des granulats recyclés préparés par Clamens. Un chantier a utilisé un ciment qui contenait du sable recyclé. Quatre conclusions sont tirées :

- il n'y a pas de différence en termes de mise en œuvre ou de ressenti par les équipes entre un béton de granulats naturels et un béton comprenant des granulats recyclés ;
- les propriétés évoluent légèrement en cas de substitution simple, surtout le retrait, le module d'élasticité et les propriétés de transfert ;
- on n'a constaté aucun mauvais comportement des ouvrages en service, l'ouvrage le plus vieux ayant cinq ans ;



Le très récent Leroy Merlin de Neuville-en-Ferrain (Nord) est très vert, mais il ne vend pas de granulats issus du recyclage. Les dalles en béton contiennent des granulats issus de la déconstruction d'un autre magasin de l'enseigne, une expérience intéressante quoique pas rentable au premier abord.

- la méconnaissance du sujet par les différents acteurs bloquait au début du Projet national et s'est estompée progressivement. Certains projets prescrivent désormais du béton de granulats de béton recyclé.

## Recommandations

**Julien Sarthe**, d'Eiffage, évoque le projet immobilier et technique d'éco-quartier *La Vallée* à Châtenay-Malabry. Sur un terrain de 20,6 hectares situé le long du parc du château de Sceaux, il s'agit de construire 2 200 logements, 40 000 m<sup>2</sup> de surface de bureaux et 15 000 m<sup>2</sup> de surfaces commerciales. Deux objectifs importants sont de valoriser 100 % des terres et du béton à l'intérieur du périmètre du projet. Les granulats produits, à partir d'un gisement d'environ 100 000 t, sont intégrés dans les bétons coulés pour le projet immobilier et en voirie.

**Sophie Decreuse**, de Cemex, et



François de Larrard, directeur scientifique du projet national Recybéton.



Pierre Vuillemin, ANR, Eqiom.



Julien Sarthe, Eiffage.



Sophie Decreuse, Cemex.

## Acronymes

ACV, Analyse de cycle de vie.  
 Atilh, Association technique des industries des liants hydrauliques.  
 Cerib, Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton.  
 DGALN, Direction générale de l'aménagement du territoire, du logement et de la nature.  
 DHUP, Direction de l'habitat, l'urbanisme et des paysages.  
 Ifsttar, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux.  
 MTES, ministère de la Transition écologique et solidaire.  
 SNBPE, Syndicat national du béton prêt à l'emploi.



© PG / R&amp;V

Les éléments en béton provenant de démolitions et destinés à être recyclés sont très divers.



© PG / R&amp;V

François-Régis Mercier, Eurovia.



© PG / R&amp;V

Vincent Waller, SNBPE.



© PG / R&amp;V

Alexis Bormans, SMABTP.



© PG / R&amp;V

Adélaïde Feraille, École des Ponts ParisTech.

**François-Régis Mercier**, d'Eurovia, livrent les *Recommandations afin de produire les granulats recyclés*. Il est nécessaire de distinguer ce qui est recyclable de ce qui ne peut pas être recyclé à la fois sur les chantiers de démolition et sur les plateformes de recyclage. Les personnels doivent être formés dans ce sens et les zones de réception organisées. Les techniques d'élaboration sont en partie dérivées de celles des installations de carrière et on ajoute des étapes de tri spécifiques. La gestion des plateformes demande une organisation industrielle, un contact étroit avec la filière amont. Il est nécessaire de contrôler les lots de façon périodique, en particulier le contrôle du caractère non gélif des granulats produits. Les essais sont identiques à ceux pratiqués sur les granulats naturels (granulométrie, Los Angeles, etc.). Les fréquences d'essais sont définies par la norme NF EN 206/CN et le marquage CE est obligatoire. Dernier point, même si nous ne les détaillons pas tous, dans les prémélanges, le taux de mélange doit être indiqué sur la fiche technique du produit.

**Vincent Waller**, pour le SNBPE, résume les *Recommandations pour produire et contrôler du béton de granulats recyclés*. Le contrôle pour la production du béton inclut le contrôle des constituants à la récep-

tion (régularité granulométrique, coefficient d'absorption et teneur en sulfates) et la maîtrise du stockage des constituants dans des tas, cases ou silos séparés. Les granulats ne sont pas stockés en étant saturés d'eau comme au Japon. En conséquence, on considère qu'un malaxage ordinaire suffit à presque saturer les granulats recyclés.

Si l'on utilise un prémélange de sables, il est nécessaire de vérifier la teneur en sulfates. Si le taux de substitution de granulats recyclés dépasse 15 %, le producteur de BPE indique ce taux sur le bon de livraison. Lorsque la présence de granulats recyclés dans le béton est prise en compte dans la conception de l'ouvrage, la densité du béton sera contrôlée en même temps que la résistance en compression. De plus, pour des taux de recyclage élevés, les propriétés mécaniques critiques pour le projet seront également surveillées par un programme de contrôle approprié.

### Quelle économie circulaire ?

**Alexis Bormans**, responsable des Risques spéciaux à la SMABTP, rappelle la nécessité de l'assurance décennale pour les entreprises du bâtiment et de la responsabilité décennale pour les entreprises de travaux publics.

**Adélaïde Feraille**, de l'École des Ponts ParisTech, évoque l'*Économie circulaire, gisements et impacts environnementaux*. Rappelons la défi-

inition officielle du MTES : l'économie circulaire désigne un modèle économique dont l'objectif est de produire des biens et des services de manière durable, en limitant la consommation et les gaspillages de ressources (matières premières, eau et énergie) ainsi que la production des déchets. Le potentiel de production de granulats incorporables dans la production de béton est estimée à 29 Mt/an, sur un total de 39 Mt/an. Voir le tableau *Gisement de granulats recyclables dans le béton*.

La plateforme [materio.construction.fr](http://materio.construction.fr) favorise la mise à disposition de matériaux pour faciliter leur recyclage, y compris pour le béton. Le projet national Recybéton recommande :

- de pratiquer l'ACV, selon la norme EN 15804/CN, en utilisant les données de la filière lorsqu'elles sont disponibles et validées, en attendant la publication des règles et exigences décrites dans les PCR (Product Category Rules) à paraître ;
- d'adapter la formulation des bétons recyclés et le circuit d'acheminement des matériaux ;
- de compléter l'ACV par l'évaluation de nouveaux indicateurs d'impacts ; par exemple, l'économie en granulats naturels, l'accroissement de la part recyclée des déchets générés par la déconstruction ou les flux transportés en t.km.

PG / R&amp;V

### CARTE DE VISITE

#### LES 50 PARTENAIRES DE RECYBÉTON.

Andra, Atilh, Bernard Fouré Consultant, Bouygues Travaux publics, Cemex, Cerema, Cerib, Cetu, Clamens, Conseil général de Seine-et-Marne, CSTB, Ciments Calcia, ECCF, ECN, École des Mines d'Alès, École des Ponts ParisTech, École française du béton, EDF, ELTS, ENS Cachan, Eqiom, ESTP Paris, EVS Environnement ville société, FFB, FNTP, GEMH, Ifsttar, Institut Jean Lamour Université de Lorraine, Institut de mécanique des fluides et des solides Université de Strasbourg, Irex, Kerneos, L2MGC, LafargeHolcim, LaSIE, Lerm, LGCgE, LGCIE, LMDC, LMT, LNE, MTES, neo eco recycling, SGB, sigmabéton, SNBPE, Socabat, SPCTS, Synad, UNPG, Vinci Construction.