

Liège, Belgique  
7-8 Novembre 2018

## **FREINS ET LEVIERS À L'UTILISATION DES GRANULATS RECYCLÉS DE BÉTONS DANS LES BÉTONS – APPORT DES DÉMARCHES DE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES.**

BRAYMAND Sandrine<sup>A</sup>, , PILLARD Wilfried<sup>B</sup>, BODET Raphael<sup>C</sup>, DE LARRARD François<sup>D</sup>

A Laboratoire Icube, Université de Strasbourg, France

B EGF.BTP, Entreprises Générales de France BTP, France

C UNPG, Union Nationale des Producteurs de Granulats, France.

D LCR - LafargeHolcim Group, France

**Résumé** : Les mesures politiques actuelles, dont le Grenelle de l'environnement, incitent à la réduction de l'empreinte écologique du traitement des déchets et au recyclage des déchets de béton. Les freins ou incitations à l'utilisation de granulats recyclés de bétons (GRB) dans les bétons sont identifiés principalement sur la base de deux critères : un critère technique de garantie des propriétés du matériau et un critère environnemental d'analyse des impacts environnementaux. Le Projet National Recybeton a contribué à lever une partie des freins techniques et environnementaux par l'étude, entre autres, d'un prétraitement de ces matériaux afin de retrouver des granulats exempts de mortier. Des études d'ACV (Analyse du Cycle de Vie) sur des bétons de GRB indiquent que ce critère d'analyse des impacts environnementaux peut s'avérer être un frein ou une incitation au développement de tels bétons selon les objectifs du béton visés et, de ce fait, selon la composition du béton.

En complément de ces analyses techniques et environnementales, les démarches de qualité environnementale existantes en France, en Europe et plus largement dans le monde ont été analysées afin de déterminer leur potentiel à être des leviers pour inciter à l'utilisation des GRB dans les bétons.

Complémentaires des réglementations et allant souvent au-delà de leurs exigences, les labels et certifications d'application volontaire, créés le plus souvent à l'initiative des organisations professionnelles et des acteurs de la construction, accompagnent chez nos voisins comme en France, la montée en puissance des bâtiments performants sur le plan environnemental. Les principales certifications internationales applicables en France qui sont HQE, BREEAM et LEED ont été étudiées. D'autres certifications, en particulier Minergie Eco en Suisse, ont également été analysées dans cette étude. Cette analyse comparative des principales certifications existantes dans le monde montre que, s'il existe une volonté forte de prise en compte de l'économie circulaire, sa déclinaison aboutit, la majeure partie du temps, à une approche performancielle et globale (de type ACV bâtiment) dans laquelle on ne retrouve pas d'incitations fortes à l'utilisation des granulats recyclés. Seul le label Minergie Eco propose de manière explicite une quantité minimale de granulats recyclés dans le béton.

**Mots-clés** : granulats recyclés de béton, recyclage, qualité environnementale, certification

## 1. INTRODUCTION

Les déchets de construction et de démolition représentent aujourd'hui l'un des flux de déchets les plus importants au sein des pays développés [Vandecasteele et al., 2013], [Coronado et al., 2011]. Il devient essentiel de développer de nouvelles approches de la construction permettant de limiter ses impacts environnementaux et de prendre en compte le cycle de vie des matériaux mis en œuvre. Parmi les nombreuses pistes explorées actuellement, la valorisation des matériaux issus de la déconstruction a pour double objectif de préserver les ressources naturelles ainsi que de désengorger les sites de stockage.

Les freins ou incitations à l'utilisation de granulats recyclés de bétons dans les bétons sont identifiés principalement sur la base de deux critères : un critère technique de garantie des propriétés du matériau et un critère environnemental d'analyse des impacts environnementaux. Le Projet National Recybeton a contribué, en premier lieu, à lever une partie des freins techniques et environnementaux [Recybeton, 2012], [De Larrard and Colina, 2018].

Complémentaires des réglementations et allant souvent au-delà de leurs exigences, des labels et certifications d'application volontaire, créés le plus souvent à l'initiative des organisations professionnelles et des acteurs de la construction, accompagnent chez nos voisins comme en France la montée en puissance des bâtiments performants sur le plan environnemental [Pillard et al., 2018] Ces certifications s'appuient bien évidemment sur la performance énergétique mais contiennent aussi d'autres critères permettant de les différencier (exemple de l'économie circulaire).

L'analyse effectuée dans cette étude a porté sur les certifications volontaires, avec la recherche de critères explicites favorisant l'utilisation de granulats recyclés de bétons dans le béton.

## 2. FREINS ET LEVIERS A L'UTILISATION DES GRANULATS RECYCLÉS DE BÉTONS

### 2.1. Freins et leviers techniques

La fabrication de bétons de granulats recyclés (BGR) nécessite la caractérisation des matériaux recyclés mis en œuvre afin d'en appréhender l'influence sur les propriétés à l'état frais mais également durci du matériau ainsi élaboré. La présence de mortier accolé tel qu'illustré Figure 1 conditionne nombre de ces particularités [Martin-Morales et al., 2011, Sri Ravindrarajah and Tam, 1987, De Juan and Gutiérrez, 2011, Evangelista and De Brito, 2014, Duc-Tung, 2012, Tam et al., 2008, Hansen, 1992, Ramamurthy et al., 2009].

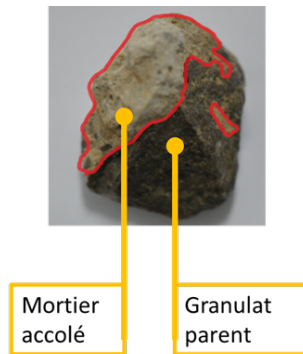


Figure 1. Constitution d'un granulats recyclés de béton (GRB).[ Deodonne, 2015]

Cette présence de mortier accolé qui modifie les propriétés de ces granulats et ainsi influence les compositions et propriétés des bétons dans lesquels ils peuvent être réintroduits constitue le principal frein technique à l'utilisation des granulats recyclés de bétons dans le béton [Deodonne, 2015, De Juan and Gutiérrez, 2009].

Il a été montré dans le cadre du projet que les granulats recyclés présentaient principalement une distribution granulaire plus étalée, une absorption plus élevée (Figure 2.) et une résistance à l'attrition (selon l'essai microdeval) plus faible que les granulats naturels roulés et concassés [Braymand et al, 2014]. Ces résultats sont confirmés par la littérature [Tam et al., 2008, De Juan and Gutiérrez, 2009].

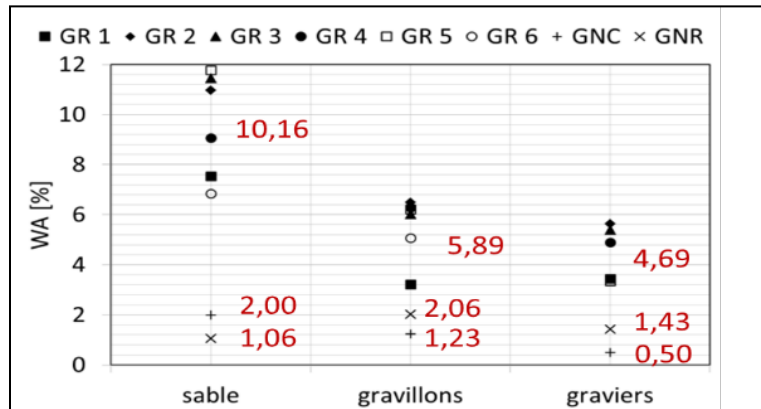


Figure 2. Coefficient d'absorption ( $WA_{24}$ ) GRB vs granulats naturels : GNR – GNC [Deodonne, 2015]  
*GR1 à GR5 : granulats recyclés de bétons issus de plusieurs sources de production ; GNC : Granulats naturels concassés issus de roches massives ; GNR : Granulats naturels roulés issus de roches meubles alluvionnaires*

Ces propriétés spécifiques des granulats recyclés de bétons, confrontées aux résultats sur les bétons à l'état frais et durcis, conduisent à proposer des pistes de modifications aux méthodes de formulation des bétons afin de compenser les pertes d'ouvrabilité et baisses des résistances mécaniques souvent observées lors de l'utilisation de tels matériaux [De Larrard and Colina, 2018]. Ainsi, ces pistes à explorer sont majoritairement liées à la complexité des cinétiques d'absorption et de désorption d'eau qui conduit à des discussions, notamment autour de la notion d'eau efficace [Braymand et al., 2017a].

Afin de lever en partie ce frein technique, une alternative à la prise en compte des propriétés spécifiques des granulats recyclés de bétons (GRB) dans la formulation des bétons, est de prétraiter ces matériaux afin de retrouver des granulats exempts de mortier.

Les méthodes décrites dans la littérature sont basées sur des principes physiques, mécaniques et chimiques (usure mécanique, micro-ondes, traitement à l'acide, traitements thermiques, etc ...). Dans la plupart des études de la littérature, l'efficacité d'un traitement est corrélée à la perte de masse, souvent confondue avec le taux de libération des granulats [Torgal, 2013, Yoda et al., 2003, Florea et al., 2014, Linß and Mueller, 2004, Akbarnezhad and Ong, 2013]. Les traitements thermiques à haute température [BAZ 96] ou à basse température [YAN 06] favorisent l'endommagement du mortier qui peut être détaché du granulat parent par un post traitement mécanique [Afnor, 2010, A Afnor, 2011].

Dans le cadre de cette étude, les travaux menés qui relèvent du projet national Recybeton ont montré que parmi les procédés étudiés, les procédés thermomécaniques permettent d'obtenir des granulats nettoyés et non endommagés [De Larrard and Colina, 2018]. Cependant, les rendements de production sont faibles, ils augmentent le coût du granulat recyclé et, selon la nature du granulat, un endommagement dû au traitement en température à 600°C ne peut être évité. Ainsi, il apparaît qu'aucune méthode n'est 100% satisfaisante car les granulats ne sont jamais complètement nettoyés et/ou sont endommagés (fissures). Ainsi pour 1 t de matériau à traiter seuls 130 kg sont nettoyés propres non endommagés pour le procédé TMC<sup>1</sup> (voir Figure 3.), et 240 kg sont nettoyés propres non endommagés pour le procédé TMF<sup>2</sup> (voir Figure 4.). Pour ces derniers, les masses volumiques des granulats parents sont retrouvées, à contrario des granulats nettoyés mais endommagés [Braymand et al., 2017b]

<sup>1</sup> TMC : Thermo Mécanique Chaud

<sup>2</sup> TMF : Thermo Mécanique Froid



Figure 3. Granulats endommagés par TMC 600°C

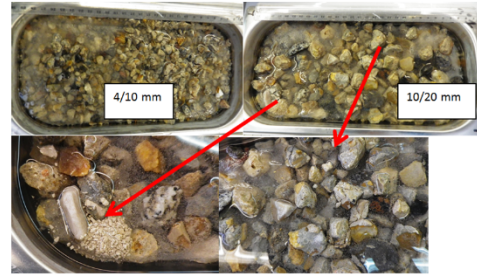


Figure 4. Granulats traités par TMF -10°C immergés.

Il est ainsi montré qu'une perte de masse élevée n'est pas nécessairement représentative d'un traitement efficace, il est nécessaire de contrôler les propriétés du granulats traité, en particulier sa masse volumique et son coefficient d'absorption [Braymand et al., 2017d], Sans connaissance des propriétés du granulats parent, il est difficile de conclure sur le taux de libération du granulats et un contrôle visuel est alors nécessaire. A l'issue de cette étude qui contient de nombreux résultats expérimentaux, il a été montré que peu de procédés de nettoyage des granulats recyclés sont susceptibles d'être transposés à l'échelle industrielle à coûts environnementaux donc économiques raisonnables lorsqu'il est envisagé de nettoyer intégralement le granulats. Ce n'est donc pas à ce stade la meilleure solution pour lever le frein technique lié à la forte absorption de tels matériaux.

Analyse visuelle des granulats classification selon leur état	Masse volumique	Porosité	Absorption
Nettoyés ET non endommagés après traitement	2,72 g/cm <sup>3</sup>	2,70%	0,99%
Nettoyés MAIS endommagés (fissurés) après traitement	2,35 g/cm <sup>3</sup>	2,41 %	5,67%
Partiellement nettoyés après traitement	2,39 g/cm <sup>3</sup>	8,21%	3,43%
Mortier résiduel après traitement	2,09 g/cm <sup>3</sup>	17,67%	8,46%
Granulats de Référence : Recyclé avant traitement	2,25 g/cm <sup>3</sup>	12%	6,00%
Granulats Parent 4-20 mm : du béton parent avant démolition	2,55 g/cm <sup>3</sup>	1%	0,75%

Tableau 1. Propriétés physiques des granulats avant et après traitement thermomécanique chaud.

## 2.2. Eco-respectabilité environnementale – frein ou levier

La prise en compte des enjeux du développement durable lors des opérations de construction incite aujourd'hui les maîtres d'ouvrage et les architectes à faire le choix de matériaux plus « éco-respectueux ». L'évaluation de cette éco-respectabilité peut se faire par la réalisation d'écobilans ou Analyses de Cycle de Vie (ACV) [Gomes et al., 2013]. Aujourd'hui, la réalisation d'ACV est adaptée aux domaines de la construction et, dans le cas des études réalisées lors du projet Recybeton, elle était basée sur la norme EN 15804 [Afnor, 2012].

On trouve dans la littérature beaucoup d'études portant sur l'évaluation environnementale de bétons de GBR, mais elles n'appliquent pas toutes la même méthode d'ACV. En outre, même lorsque la méthode normalisée est considérée [Afnor, 2006], elle peut être appliquée selon plusieurs options [Marinković et al., 2017]. Les différentes options conduisent alors à des différences sur de nombreux points, qui rendent les résultats difficilement comparables.

Dans le cadre de cette étude, les travaux menés qui relèvent du projet national Recybeton, indiquent que l'utilisation des GBR entraîne une augmentation des impacts environnementaux à différents niveaux [De Larrard and Colina, 2018], du moins lorsque la résistance mécanique requise est obtenue par ajustement du dosage en ciment [Braymand et Al, 2018]. Lorsque les dosages en ciment sont égaux, peu d'écart sont observés sur les niveaux des impacts environnementaux entre un béton de GBR et de GN. Au niveau du transport, pour des bétons de GBR et de GN ayant un dosage en ciment similaire (formule optimisée), il est constaté que l'utilisation de GBR n'a pas d'effet significatif lorsque les sites de production des granulats naturels, des granulats de bétons recyclés et du béton, sont proches les uns des autres (pour une quantité de transport inférieure à 25 t.km sur le circuit).

La préservation de la ressource en granulats est évaluée dans une ACV, selon la norme EN 15 804, par le calcul de l'épuisement de la ressource Silicium et de la ressource Calcium, éléments constituant la silice et le calcaire, espèces minérales les plus abondantes dans les roches. Or, ces ressources ne sont pas considérées comme épuisables dans le calcul des ACV [Braymand et al., 2018].

Le non stockage des déchets en amont ne peut, quant à lui, être évalué par une ACV normalisée. Ainsi, même si l'éco respectabilité de tels bétons semble évidente aux regards des deux critères « préservation des ressources » et « non stockage de déchets de démolition », sa démonstration n'est pas systématique. Afin de confirmer l'éco-respectabilité des BGR par rapport aux BGN, il serait pertinent de proposer d'autres éco-comparateurs tels que l'économie de la ressource granulat naturel. Par ailleurs, une analyse comparative d'un critère « T.km », indépendant des indicateurs environnementaux, apporterait une dimension économique à cette étude, autre pilier du développement durable et de l'économie circulaire.

Ainsi, il n'est pas évident de fonder des conclusions générales en comparant l'éco-efficacité des bétons de GBR et de GN, ce que confirme l'état de l'art [Vieira et al., 2016 ; Marinković et al., 2017]. Pour compléter l'ACV, certains auteurs ont proposé de prendre en compte les impacts évités. Finalement, le bénéfice environnemental de l'utilisation des GBR n'est effectif que lorsque sont ajoutés à une ACV les impacts évités tels que les quantités de granulats naturels économisés et les surfaces de stockage préservées [Braymand et al., 2018]. Ces impacts évités devront être calculés en considérant que les granulats recyclés utilisés dans le béton seront soustraits du remblayage in-situ ou des travaux routiers qui représentent les exutoires actuels.

### **3. APPORT DES DÉMARCHES DE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALES**

Les motivations qui conduisent un maître d'ouvrage à évaluer la qualité environnementale d'un bâtiment sont liées à des considérations environnementales, éthiques, économiques, sociales et commerciales (contexte international). L'avantage d'une labellisation environnementale réside dans la possibilité de prouver objectivement que la construction a une valeur et de rendre visible les objectifs de responsabilité sociétale du maître d'ouvrage [Pillard et al., 2018].

La prise en compte de la qualité environnementale au travers des certifications a pour but de limiter les impacts de la construction sur l'environnement tout en améliorant le confort et la qualité de vie des occupants. La méthode est axée, entre autres, sur l'optimisation des choix en matériaux ou équipements. La certification environnementale justifie comment des critères liés à l'écologie, à l'optimisation énergétique, à la gestion rationnelle du bâtiment, etc..., sont pris en compte.

Pour obtenir la certification, des cibles (objectifs) sont fixées par impact étudié pour le bâtiment ou l'opération. Des prérequis ou critères minimaux sont alors souvent exigés pour chacune de ces cibles. Ensuite, l'évaluation est faite par cible et des notes ou des niveaux de performance sont déterminés. L'affichage final de la certification est fait par une note globale pour le projet.

Les démarches de qualité environnementale proposent une méthode de gestion des projets et du système de management des opérations (SMO). Elles sont applicables par le maître d'ouvrage au cours des différentes phases de préparation, de réalisation et de pilotage des opérations. En général les certifications se déclinent en fonction de l'ouvrage considéré : bâtiments de commerce et de bureaux, bâtiments d'habitations, maisons individuelles.

Une grande partie des certifications traitées dans cette étude s'appuie sur la reconnaissance apportée par le GBC (Green Building Council). GBC est une association mondiale qui compte actuellement 72 membres (Figure 5.). France GBC est le membre français du World Green Building Council.

#### **3.1. Principales certifications**

Plusieurs certifications (indépendantes ou non du GBC), dont la plupart des certifications européennes, ont été analysées dans le cadre de cette étude, dans le but d'identifier des leviers permettant de recycler les déchets de construction dans le béton ([Pillard et al., 2018, Braymand et al., 2018], Tableau 2.).

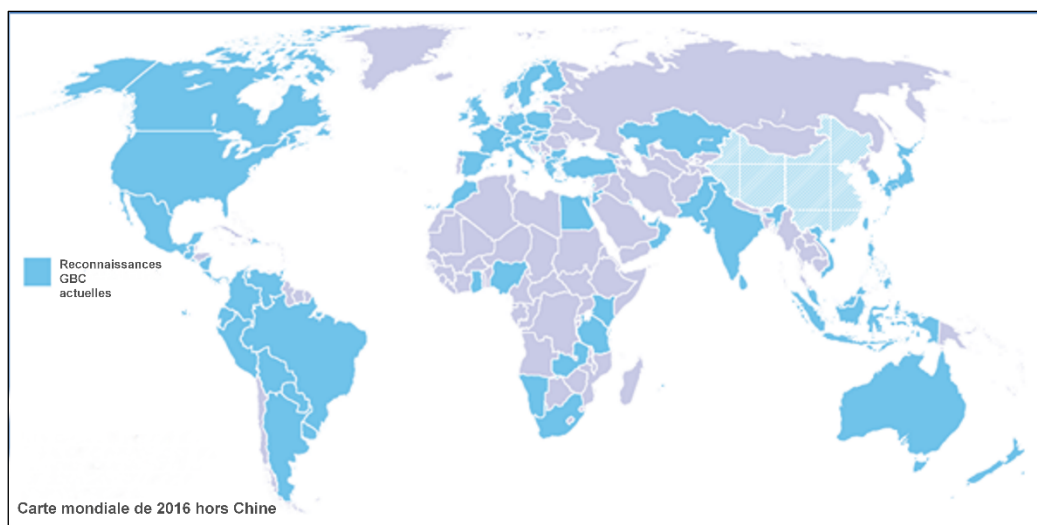


Figure 5. : Membres du « Green Building Council » dans le monde

Label	Pays	Année	GBC
NFHQE [CSTB, 2015]	France	1996	Oui
HQE-BD Bâtiment durable [Certivea, 2016]	France	2016	Oui
BDM & BDF Bâtiment durable [BDF, 2017],[BDM, 2008]	France, Régions Méditerranée et Île de France	2008/ 2017	Non
BREEAM [BREEAM, 2016]	Royaume-Uni +plusieurs pays	1990	Royaume-Uni : partenariat Autres pays : oui
DGNB [DGNB, 2016]	Allemagne	2008	Oui
VERDE [VERDE, 2016]	Espagne	2002	Oui
VALIDEO [VALIDEO, 2001]	Belgique	2011	Non
MINERGIE-ECO [MINERGIE, 2016]	Suisse	2008	Non
LEED [LEED, 2017]	États-Unis	1998	Oui

Tableau 2. : Certifications de qualité environnementale analysées

### 3.2. Apport des certifications incitatives

L'analyse comparative de ces certifications a mis en évidence qu'il existait une forte volonté de développer l'économie circulaire. Mais force est de constater que pour les trois certifications internationales applicables en France que sont LEED, BREEAM et HQE, c'est une vision globale qui est le plus souvent adoptée pour les critères en lien direct avec l'économie circulaire, ce qui n'incite pas à l'utilisation de granulats recyclés dans le béton. Par exemple, ces critères peuvent considérer l'ACV de la construction ou le choix de la source des matériaux ; ou proposer une simple incitation au tri des déchets en amont. Seule BREEAM propose quelques mesures incitatives.

Hormis le label « MINERGIE ECO », il n'existe aucune incitation explicite à recycler des granulats de bétons dans le béton (voir Tableau 3.). Celui-ci impose l'utilisation d'une quantité minimale de granulats recyclés dans le béton. A l'image du label BREEAM, le label VERDE propose également quelques mesures incitatives, mais avec peu de crédits obtenus pour son application.

Incitation à l'accroissement du tri des déchets et du réseau de valorisation (en amont)	BREEAM-LEED-NFQE-HQE BD-DGNB VALIDEO-BDM
Incitation par l'évaluation du cycle de vie Matériaux/réutilisation responsable	BREEAM-LEED-HQE BD-DGNB BD-DGNB VERDE-BDM & BDF
Incitation directe et explicite par l'utilisation de déchets de béton dans le béton	BREEAM (une seule sous-section) MINERGIE-ECO (c'est un critère d'exclusion) VERDE (peu de points/crédits accordés)

Tableau 3. : Certifications incitatives « qualité environnementale »

Parmi les propositions les plus explicites pour l'utilisation des « déchets » de bétons dans le béton, pour les trois labels les plus incitatifs, on retiendra les mesures suivantes :

### 3.2.1. *BREEAM (Royaume-Uni)*

Le britannique BREEAM [BREEAM, 2016], lancé en 1986, a été conçu à l'origine pour les immeubles de bureaux. Il concerne l'ensemble des aspects environnementaux du bâtiment : énergie, eau, matériaux, déchets..., soit dix critères au total. Il est souvent exigé par les investisseurs car il est synonyme de valeur à long terme pour leurs projets immobiliers. Ce programme volontaire de certification par tierce partie s'applique à divers types de projets (bureaux, bâtiments tertiaires, écoles, prisons, ...) et classe les impacts des bâtiments sur l'environnement dans 10 catégories : Gestion, bien-être et santé, énergie, transport, matériaux, eau, déchets, paysage et écologie, pollution et innovation.

BREEAM est devenu, en près de trente ans, un label d'envergure internationale et s'est imposé comme le premier référentiel d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments dans le monde.

Le sous-chapitre « Granulats recyclés dans le béton » de la rubrique « Déchets » précise que si la réglementation nationale de la construction permet, pour un usage donné, d'utiliser un béton contenant jusqu'à 50 % de granulats recyclés, alors un crédit exemplaire est obtenu lorsque le béton utilisé contient au moins 35 % de granulats recyclés. Lorsqu'il n'y a pas de niveau réglementaire maximum, l'exigence de 50 % doit être respectée pour que ce crédit soit accordé. Il faut noter toutefois que le poids du sous-chapitre « Déchets » n'est que de 7 dans la note globale de 119, et que sur ces 7 crédits, seul 1 crédit traite de l'utilisation de granulats recyclés dans le béton.

### 3.2.2. *VERDE (Espagne)*

La certification environnementale GBCE – VERDE [VERDE, 2016] créée en 2002 repose sur la réduction de l'impact environnemental du bâtiment, par rapport à un bâtiment de référence standard. Le bâtiment de référence est un modèle conçu en fonction des paramètres minimaux établis par la loi espagnole et la pratique courante. Six niveaux de certification permettent une évaluation distincte des mérites environnementaux de chaque projet. Les critères sont les suivants : sélection du site et, planification/développement du projet, énergie et atmosphère, ressources naturelles, qualité de l'air intérieur, qualité de service, aspects socioéconomiques.

Un premier critère (« Ressources naturelles ») est basé sur la part que représente le coût des matériaux recyclés par rapport au coût total des matériaux utilisés, et ce quel que soit les matériaux recyclés. L'objectif de cette approche est basé sur le fait que l'utilisation de matériaux recyclés doit se faire dans une démarche globale, de sorte que, plus les coûts sont élevés, moins l'utilisation est intéressante. Deux seuils sont retenus : 10 % et 20 %. Le sous-chapitre « Béton recyclé d'une résistance n'excédant pas 40 N/mm<sup>2</sup> » présente un critère plus incitatif. Cette limitation implique toutefois que les granulats recyclés ne peuvent être retenus pour les bétons haute performance (BHP). Elle permet d'obtenir des crédits qui peuvent atteindre 4 points, sur un total de 40 points soit, dans le meilleur des cas, 10 % de la note globale.

### 3.2.3. *MINERGIE-ECO (Suisse)*

Ce label, créé en 2006 en Suisse, complète la certification MINERGIE [MINERGIE, 2016]. MINERGIE® est un label d'efficacité énergétique qui s'applique aux bâtiments neufs ou rénovés et leur garantit confort, économie, performance énergétique, qualité de la construction et préservation de

l'environnement. MINERGIE-ECO® est un complément du label MINERGIE pour les aspects liés à la performance écologique et à la santé. Il est applicable aux bâtiments administratifs, aux écoles, aux bâtiments locatifs ainsi qu'aux maisons individuelles.

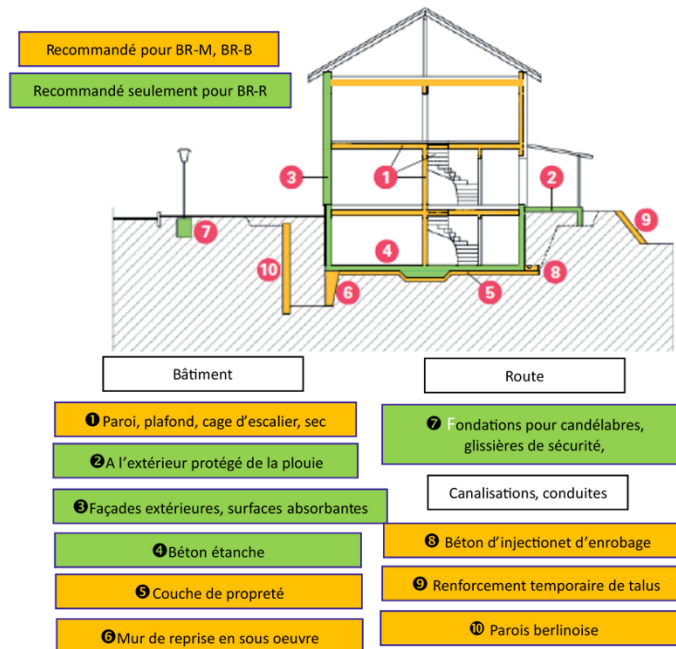


Figure 6. Utilisation possible des bétons de GBR, MINERGIE-ECO [MINERGIE, 2016]. où BR-B = Béton recyclé à base de GBR ; BR-M : Béton recyclé à base de granulats mixtes recyclés<sup>3</sup>

Les opérations de construction qui ne respectent pas les critères relatifs au recyclage du béton ne peuvent obtenir la certification du label MINERGIE-ECO, c'est un critère exclusif. Cette clause existe du fait d'une carence en granulats naturels dans plusieurs cantons et du prix compétitif des matériaux recyclés. Parmi les critères proposés, les plus incitatifs sont « matières premières largement disponibles » et « part plus élevée de matériaux recyclés ». D'autres critères concernent la disponibilité locale de la ressource.

Ainsi, pour qu'une opération soit labellisée MINERGIE-ECO, il faut que 50 % des parties en béton de la construction soient en béton recyclé (désignés par « BR-B », selon les spécifications SIA 2030). La Figure 6 montre les parties de la structure où il faut utiliser du béton de GBR. Par contre, si la distance entre la centrale à béton et le chantier dépasse 25 km ou si le coût du béton de GBR est beaucoup plus élevé que celui du béton conventionnel, une exception peut être accordée.

#### 4. CONCLUSION

Il devient essentiel de développer de nouvelles approches de la construction permettant de limiter ses impacts environnementaux et de prendre en compte le cycle de vie des matériaux mis en œuvre dans le cadre d'une économie circulaire. Parmi les nombreuses pistes explorées actuellement, la valorisation des matériaux issus de la déconstruction a pour double objectif de préserver les ressources naturelles ainsi que de désengorger les sites de stockage. Néanmoins, cette pratique appliquée à l'utilisation de granulats recyclés dans le béton peut se heurter à des freins d'ordres techniques et environnementaux. Les freins techniques que sont les modifications apportées au béton par le remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés de béton, sont directement liés à la forte absorption des granulats recyclés. Le projet National Recybeton a apporté des éléments de réponse à la formulation et à la caractérisation des bétons composés de tels granulats. En outre, il est possible de s'exempter partiellement de ce frein par l'application d'un prétraitement du granulat en vue de le séparer du mortier adhérent, responsable de cette

<sup>3</sup>

RC-C (au moins 25% de GBR) et RC-M (au moins 25% de granulats mixtes recyclés).



forte absorption. Cependant il a été montré que peu de procédés de traitement conduisent à un nettoyage complet du granulat. De plus, les procédés thermomécaniques à haute température qui sont les plus efficaces en terme de nettoyage restent coûteux et génèrent un risque d'endommagement du granulat selon sa nature minéralogique.

Il ressort que l'Analyse du Cycle de Vie n'est pas la méthodologie qui permet de confirmer le caractère éco-respectueux des Bétons de Granulats Recyclés. L'influence de la composition des bétons est prépondérante. L'ACV est conditionnée par la teneur en ciment. Deux des critères éco-respectueux des bétons de granulats recyclés de bétons qui pourraient être la préservation de la ressource en granulats et le non stockage des déchets en amont ne sont pas évalués significativement dans une ACV normalisée. Finalement, le bénéfice environnemental de l'utilisation des GBR n'est effectif que lorsque sont ajoutés à une ACV les impacts évités tels que les quantités de granulats naturels économisés et les surfaces de stockage préservées.

Dans le but de proposer des incitations politiques à l'utilisation de granulats recyclés de bétons dans les bétons, cette étude a finalement analysé les certifications volontaires que sont les démarches de qualité environnementales, avec la recherche de critères explicites favorisant l'utilisation de granulats recyclés dans le béton. Force est de constater que pour les trois certifications leader que sont LEED, BREEAM et HQE, c'est une vision globale et performancielle qui est adoptée, ce qui n'incite pas l'utilisation des granulats recyclés dans le béton. A contrario, la certification Minergie Eco (développée en Suisse) est, elle, beaucoup plus incitative puisque la délivrance du label est conditionnée à un pourcentage minimum d'utilisation. Parmi les incitations volontaires existantes, les méthodes de certification actuelles n'accordent que peu de poids au critère « utilisation des GBR dans le béton » dans l'évaluation globale. Ce critère en faveur du recyclage mériterait cependant d'être mieux pris en compte au moment du jugement des offres. De même, l'introduction de critères plus explicites dans les certifications, tels que ceux mis en œuvre dans MINERGIE-ECO (Suisse), serait aussi une voie d'amélioration à envisager. Enfin, l'introduction de clauses imposant le recyclage dans les marchés publics est probablement le moyen le plus efficace pour favoriser le processus de recyclage du béton dans le béton.

## Remerciements

Les auteurs remercient les auteurs des rapports réalisés dans le cadre du projet national Recybeton, en particulier Adélaïde Feraille, Nicolas Serres, Sébastien Roux et Hanaa Fares. Une partie des essais expérimentaux présentés ici ont été réalisés dans le cadre de la thèse de Kunwufine Déodonne.

## RÉFÉRENCES

- Afnor (2006), Management environnemental-Analyse du cycle de vie-- NF EN ISO 14040.
- Afnor (2010), Norme NF EN 1097-2, Tests for mechanical and physical properties of aggregates: methods for the determination of resistance to fragmentation,
- Afnor (2011), NF EN 1097-1, Tests for mechanical and physical properties of aggregates: methods for the determination of the resistance to wear (micro-deval),
- Afnor (2012), Norme NF EN 15804 Sustainability of construction works, Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products.
- Akbarnezhad A., Ong K.C.G. (2013), Separation processes to improve the quality of recycled concrete aggregates (RCA), In: *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*, ,p. 246–269.
- BDF. (2017), La démarche Bâtiment Durable Franciliens. France,
- BDM (2008), La démarche Bâtiment Durable Méditerranéens. France,
- Braymand S., Roux S., Deodonne K., Mihalcea C., Feugeas F., Fond C. (2014), Les granulats recyclés de bétons un matériau à fort potentiel de valorisation dans les bétons, *MATERIAUX 2014*, Montpellier, France.
- Braymand S., Roux S., Fares H., Feugeas F. (2017). Separation and Quantification of Attached Mortar in Recycled Concrete Aggregates, *Waste and Biomass Valorization*, Springer, Vol. 8(5):1393-1407.
- Braymand S., Roux S., Deodonne K., Feugeas F., Fond C. (2017), Use of recycled aggregates of concrete in total replacement of natural materials: Influence on the determination of concrete formulation parameters, *HISER*, TU Delft (Eds.), Delft, Netherlands, pp. 189-192.

Braymand S., Roux S., Fares H., Feugeas F.. (2017), Multi-criteria study for recycled concrete aggregate separation process, *HISER*, TU Delft (Eds.), Delft, Netherlands, pp. 97-100.

Braymand S., A. Feraille, N. Serres, F. Feugeas.(2017), Benchmarking of materials composition and transportation influences on Life Cycle Assessment of Recycled Aggregate Concrete, *5th International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, Athènes, Greece.

Braymand S., Feraille A., Serres N., Idir R. (2018, under press). Life-cycle analysis of recycled concrete. In *Concrete Recycling - Research and Practice*, Dir. De Larrard F. – Ed. Taylor and Francis - CRC Press and Spon Press, France.

BREEAM. (2016), BREEAM International new construction. Technical Manuel SD 233 1.0, UK

Certivea. (2016), Référentiel HQE Bâtiment Durable 2016. Annexe technique, France, October, 93 p.,

Coronado M., Dosal E., Coz A., Viguri J.R., Andrés A. (2011), Estimation of Construction and Demolition Waste Generation and Multicriteria Analysis of C&DW Management Alternatives: A Case Study in Spain, *Waste Biomass Valorization*, Vol.2, , p. 209–225.

De Juan M.S., Gutiérrez P.A. (2009), Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Constr. Build. Mater.*, Vol. 23, , p. 872–877.

De Juan M.S., Gutiérrez P.A. (2011), Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Constr. Build. Mater.*, vol 23,n°2, p. 872-877.

De Larrard F., Colina H., (2018 in Press), *Concrete Recycling - Research and Practice*, Dir. – Ed. Taylor and Francis - CRC Press and Spon Press, France.

Deodonne K. (2015), Etude des propriétés physicochimiques des bétons de granulats recyclés et de leur impact environnemental, *Thèse de doctorat, Université de Strasbourg*, France.

DGNB. (2016), DGNB Global Benchmark for sustainability, <http://www.dgnb-system.de>, Germany

Duc-Tung D. (2012), (Multi-) recyclage du béton hydraulique, *Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Nantes*, France.

Evangelista L., De Brito J. (2014), Concrete with fine recycled aggregates : a review, *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 8, n°2, p. 129-172

Florea M.V.A, Ninig Z., Brouwers H.J.H. (2014), Smart crushing of concrete and activation of liberated concrete fines, *TU/e. Final report*, Netherland.

Gomes F, Brière R, Feraille A, Habert G. (2013), Adaptation of environmental data to national and sectorial context: application for reinforcing steel sold on the French market, *Int. J. of Life Cycle Assessment*, Vol. 18, Issue 5, p. 926-938.

Hansen T.C(1992), *Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, Editions Taylor & Francis.

CSTB. (2015), Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments. Certification NFHQE, 176p.

LEED. (2017), LEED v4 for building design and construction., United State, 161 p.

Linß, E., Mueller, A. (2004), High-performance sonic impulses—an alternative method for processing of concrete, *Int. J. Miner. Process.*,vol. 74, , p. 199–208

Marinković S., Dragaš J., Ignjatović I., Tošić N. (2017), Environmental assessment of green concretes for structural use, *Journal of Cleaner Production*, 154, 633–649.

Martin-Morales M., Zamorano M., Ruiz\_Moyano A., Valverde-Espinosa I. (2011), Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08, *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, n°2, p. 742-748.

MINERGIE. (2016), Label MINERGIE-ECO® s'appliquant aux bâtiments, Switzerland,

Pillard W., Bodet R., Braymand S.(2018), Certifications pour évaluer la qualité environnementale des bâtiments, *Rapport de recherche PN recybeton*, R/18/RECY/047- LC/18/RECY/98.

Ramamurthy K., Padmini A.K., Mathews M.S.(2009), Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Constr. Build. Mater.* Vol. 23, n°2, p. 829–836.

Recybeton (2012), French National Project RECYBETON, <http://www.pnrecybeton.fr/>.

Sri Ravindrarajah R., Tam C.T. (1987), Recycling concrete as fine aggregate in concrete, *Int. J. Cem. Compos. Lightweight Concr.*, vol.9,n°4, p. 235-241

Tam V.W., Wang K. , Tam C.M. (2008), Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis, *J. Hazard. Mater.*, vol. 152, n°2, p. 703–714.

Torgal F.P. (2013), Handbook of recycled concrete and demolition waste, Cambridge Ed. Woodhead Pub.

VALIDEO.(2001), Construire durable aujourd'hui Certification des compétences et réalisations en construction durable, Belgique, 2011

Vandecasteele C., Heynen J., Goumans H. (2013), Materials Recycling in Construction: A Review of the Last 2 Decades Illustrated by the WASCON Conferences, *Waste Biomass Val.*, Vol.4, p. 695–701.

VERDE. (2016), VERDE Certificate, <http://www.gbce.es>, Spain

Vieira D. R., Calmon J. L., Coelho, F. Z. (2016), Life cycle assessment (LCA) applied to the manufacturing of common and ecological concrete: A review, *Construction and Building Materials*, 124, 656–666.

Yoda K., Harada M, Sakuramoto F. (2003), Field application and advantage of concrete recycled in-situ Recycling Systems, *Thomas Telford Serv. Ltd.*, , p. 437–446