



Interreg

France-Wallonie-Vlaanderen



UNION EUROPÉENNE
EUROPESE UNIE

**Solutions intégrées de VALorisation des flux
matériaux issus de la DEMolition :
Approche transfrontalière vers une économie circulaire**

Transfert technologique VALDEM

01/07/2016 au 31/12/2020



IMT Lille Douai
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



LIÈGE
université



Université
de Lille

Version du 26 novembre 2020
Versie van 26 November 2020

**Avec le soutien du Fonds européen de
développement régional**

**Met steun van het Europees Fonds voor
Regionale Ontwikkeling**

PROGRAMME TRANSFRONTALIER
Interreg « Coopération territoriale européenne »
France - Wallonie - Vlaanderen

GRENSOVERSCHRIJDEND PROGRAMMA
Interreg “Europese territoriale samenwerking”
France-Wallonie-Vlaanderen

Transfert technologique
Technologieoverdracht

1 - Introduction

Le présent rapport a pour objectif de présenter les principaux résultats obtenus par les doctorants et ingénieurs qui ont collaboré, notamment dans le cadre de la co-tutelle entre l'Université de Liège (Belgique) et l'IMT Lille Douai (France) et d'assurer un transfert technologique efficace vers le monde de l'industrie et les responsables des administrations publiques.

En effet, l'objectif du projet VALDEM était de promouvoir, dans la zone transfrontalière France/Wallonie/Flandre, le recyclage des matériaux issus de la démolition ou la déconstruction des bâtiments, et d'informer les acteurs industriels de technologies de séparation existantes ou émergentes (notamment au travers de workshop ou de démonstration). Dans une zone géographique où les types de bâtis sont similaires, la rationalisation du traitement de ces déchets de démolition passe par une logique d'économie circulaire adaptée au territoire pour développer des procédés de traitement rentables. Ce projet permettra en outre de produire des flux homogènes de matériaux qui pourront intégrer de nouvelles applications et dont l'intérêt environnemental aura été vérifié en comparaison à la situation actuelle (ex: mise en décharge) via une analyse de cycle de vie.

Les chercheurs juniors, qui ont réalisé leur doctorat en co-tutelle, ont en particulier développé des programmes de recherche visant à valoriser les fines de recyclage, que ce soit du béton ou des briques, de vérifier l'impact des résidus de gypse dans ces fines sur la fabrication de nouveaux bétons et de réaliser une étude environnementale sur les processus de recyclage. C'est sur ces points que porte principalement ce rapport. Les détails sont présentés dans les publications et les mémoires de thèse en référence.

2 – Transfert technologique

1. Dans quelles proportions peut-on remplacer les granulats naturels par des granulats de béton recyclé pour la formulation de nouveaux bétons ?

Réponse : Les granulats de béton recyclé (GBR) proviennent des déchets de construction et de démolition (béton). Leur nature et leur composition sont différentes selon la nature du béton d'origine et surtout selon la qualité du processus de déconstruction et de démolition. Les GBR sont principalement constitués de granulats naturels et de pâte de ciment durcie adhérente. La différence entre un GBR et un granulats naturel réside essentiellement dans cette pâte adhérente.

La fraction des GBR supérieure à 4 mm ne cause pas de problème majeur car elle contient généralement une plus faible fraction de pâte de ciment adhérente, grâce au concassage des bétons d'origine effectué en centre de traitement. La norme sur les bétons (EN 206 : 2013+A1 : 2016) limite l'utilisation des GBR dans un béton en substitution d'un granulats naturel à 50% en masse pour les GBR type A (Tableau 1).

Tableau 1. Maximum percentage of replacement of coarse aggregates (% by mass) according to EN 206:2013+A1

Recycled aggregate type	Exposure classes			
	X0 ^c	XC1, XC2 ^c	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1 ^c	All other exposure classes ^a
Type A: (Rc ₉₀ , Rcu ₉₅ , Rb ₁₀ , Ra ₁ , FL ₂ , XRg ₁) ^d	50%	30%	30%	0%
Type B ^b : (Rc ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀ , Ra ₅ , FL ₂ , XRg ₂) ^d	50%	20%	0%	0%

^a Type A recycled aggregates from a known source may be used in exposure classes to which the original concrete was designed with a maximum percentage of replacement of 30%.

^b Type B recycled aggregates should not be used in concrete with compressive strength classes > C30/37.

^cX0: Exposure class for no risk of corrosion or attack;

XC1 to XC4: Exposure classes for risk of corrosion induced by carbonation (XC1: Dry or permanently wet;

XC2: Wet, rarely dry; XC3: Moderate humidity; XC4: Cyclic wet and dry);

XF1: Exposure class for risk of freeze/thaw attack (Moderate water saturation, without de-icing agent);

XA1: Exposure class for risk of chemical attack (Slightly aggressive chemical environment);

XD1: Exposure class for risk of corrosion induced by chlorides other than from sea water (Moderate humidity).

^dRc₉₀: mass percentage of concrete products is higher than 90% (50% for Rc₅₀);

Rcu₉₅: mass percentage of concrete products and unbound aggregate is higher than 95% (70% for Rcu₇₀);

Rb₁₀: mass percentage of clay masonry units (i.e. bricks and tiles) is lower than 10% (30% for Rb₃₀);

Ra₁: mass percentage of bituminous materials is lower than 1% (5% for Ra₅);

FL₂: volume percentage of floating material is lower than 2%;

XRg₁: other non-floating materials (i.e. clay, soil, plastic, gypsum) and glass is lower than 1% (2% for XRg₂).

Cependant, la fraction inférieure à 4 mm contient une quantité importante de pâte de ciment. Les recherches menées dans le cadre de VALDEM font ressortir des contradictions sur les effets néfastes (ou bénéfiques) de cette substitution jusqu'à 30% de sable recyclé. Cette variabilité pourrait être attribuée à la nature des granulats utilisés (naturels et/ou recyclés) provenant de multiples sources.

Lors de nos travaux, un sable recyclé a été produit au laboratoire à partir du concassage d'un béton fabriqué avec des granulats calcaires. Le sable naturel est issu aussi d'un concassage d'un granulats calcaire similaire à celui du granulats utilisé pour

fabriquer les bétons. Ainsi, la seule différence entre les deux sables vient de la pâte adhérente présente dans le sable recyclé. L'étude à l'état frais des mortiers fabriqués avec 100% de sable naturel et recyclé a montré que le mortier réalisé avec le sable recyclé saturé présente des similitudes avec celui fabriqué avec le sable naturel. L'étude à l'état durci a montré que les mortiers fabriqués avec le sable naturel ont une résistance mécanique plus élevée que celui fabriqué avec un matériau recyclé. Cette différence de résistance est due principalement à la mauvaise adhérence entre le grain du sable recyclé et la nouvelle pâte de ciment.

Ainsi, la valorisation d'un sable recyclé dans une formulation de béton est possible. La connaissance des caractéristiques physiques du sable recyclé et de sa porosité nous permettent de contrôler le comportement à l'état frais. Cependant l'utilisation de ce dernier diminue d'une manière significative les résistances mécaniques.

2. Comment modifier la composition d'un mortier ou d'un béton pour y incorporer une proportion donnée de granulats (gravillons) recyclés ?

Réponse : Lors de l'utilisation des matériaux naturels, le comportement à l'état frais d'un mortier ou d'un béton dépend essentiellement du rapport eau efficace sur ciment (E_{eff}/C), de la granulométrie et de la morphologie des granulats. Ainsi, pour contrôler le comportement à l'état frais du béton ou du mortier, les mêmes règles sont à prévoir que pour l'utilisation des matériaux naturels. Pour ce qui est du comportement mécanique (résistance en compression notamment), la réduction du rapport eau sur ciment et l'utilisation d'un adjuvant peuvent s'avérer une solution pour limiter la perte de résistance mécanique. Il faut aussi noter qu'à cause de la mauvaise adhérence entre le grain et la nouvelle pâte de ciment, il est impossible d'atteindre des résistances mécaniques élevées. L'utilisation du modèle empirique de De Larrard peut être une solution qui permet d'identifier les limites des résistances mécaniques.

3. Doit-on saturer les granulats recyclés avant de les mélanger aux autres composants pour fabriquer du béton ?

Réponse : Les études ont montré que, si la pré-saturation permet d'éviter l'absorption d'eau du mélange et le risque d'un effet retardateur sur la réaction d'hydratation, l'adhérence entre le granulat saturé et la nouvelle pâte de ciment durci était moins bonne que si le granulat (gravillon) recyclé a été utilisé à sec.

4. Est-il possible de recycler les fines de broyage des bétons ?

Réponse : Valoriser les GBR de dimension inférieure à 125 μm comme addition minérale (en substitution du ciment) est possible. Le broyage d'un GBR peut éventuellement réduire la porosité mais ne permet en aucun cas de la supprimer. Dans nos recherches, un modèle empirique ainsi qu'une méthode expérimentale ont été développés pour la quantification de la porosité d'une poudre (inférieure à 125 μm). Les résultats de nos recherches ont montré que les fines de GBR inférieures à 125 μm

dans une matrice cimentaire se comportaient comme un filler calcaire. Ainsi, le ciment pourrait être substitué jusqu'à 20% en masse par un GBR broyé.

5. Quel est le risque lié à la présence de résidus de plâtres dans les granulats et les sables recyclés ? Quel est le taux maximum admissible ?

Réponse : Des sulfates, provenant du plâtre du bâtiment démolé ou du ciment résiduel, sont à l'origine d'une détérioration potentielle pour le béton. L'attaque sulfatique est la réaction entre les composants du ciment, l'eau et les sulfates. Elle entraîne la formation de minéraux expansifs comme l'ettringite ou la thaumasite. Cette expansion peut éventuellement conduire à une fissuration du matériau et à une perte générale des performances mécaniques.

Le taux de sulfate recommandé pour les granulats recyclés est inférieur à 0,2 % en masse selon la norme EN 206, afin de limiter le risque d'attaque sulfatique. Néanmoins, une étude systématique a permis de mettre en évidence que ces quantités n'engendrent pas de gonflement ni de dégradation lorsque les granulats contaminés sont incorporés dans des mortiers. Une teneur en sulfate jusque 0,3 % pourrait être possible (comme le recommande d'ailleurs le Projet National français Recybéton), et même plus en fonction de certains paramètres et compositions de mélange (cfr. point 12). La limite actuelle de 0,2 % semble trop stricte et freine la valorisation de sables recyclés dans des bétons durables et résistants.

6. Dans quelles fractions granulométriques des déchets de construction et de démolition retrouve-t-on le plus de contamination en sulfate résiduel (plâtres) ?

Réponse : Les sulfates seront principalement présents dans les fractions de taille plus fine des granulats recyclés. La raison en est double:

- Le gypse et la pâte de ciment sont des matériaux friables et, pendant le processus de concassage et traitement des granulats recyclés, ils sont écrasés plus finement.
- Les granulats recyclés peuvent être séparés des particules de plâtre sur la base de mesures de couleur ou de masse volumique ou même visuellement. Mais ces techniques ne sont pas applicables aux sables recyclés (0/4 mm).

7. Peut-on remplacer une partie du ciment par des fines de brique dans la composition de nouveaux bétons? Dans quelles proportions ? Quelle est l'impact de leur finesse ?

Réponse : Les fines de brique sont un matériau alumino-silicaté pouzzolanique de granulométrie inférieure à 500 μm . La finesse et la pouzzolanité du matériau permettent d'envisager une utilisation comme substituant à un ciment Portland. Une étude réalisée sur trois granulométries de fines de brique différentes nous a permis de comprendre l'impact de la finesse quand elles sont utilisées en substitution du ciment (Figure 1). Leur finesse est définie par le d_{50} (μm) :

- 3 μm pour les plus ultra-fines (B1),

- 17 µm pour les fines avec une granulométrie proche de celle d'un ciment (B2),
- 190 µm pour des fines plus grossières (B3).

Pour comparer les résultats obtenus, notamment la résistance en compression, il faut prendre en compte le coût énergétique de fabrication de ces fines : plus le matériau est fin, plus le temps de broyage est augmenté et donc plus le coût est élevé.

Les matériaux qui offrent le meilleur rendement (coût vs performances) sont les fines de brique avec une granulométrie proche du ciment (B2). Il n'y a pas d'augmentation de performances mécaniques remarquable avec les ultra-fines tandis qu'une perte de résistance mécanique est visible dès 20 % de substitution pour les fines plus grossières (Figure 1).

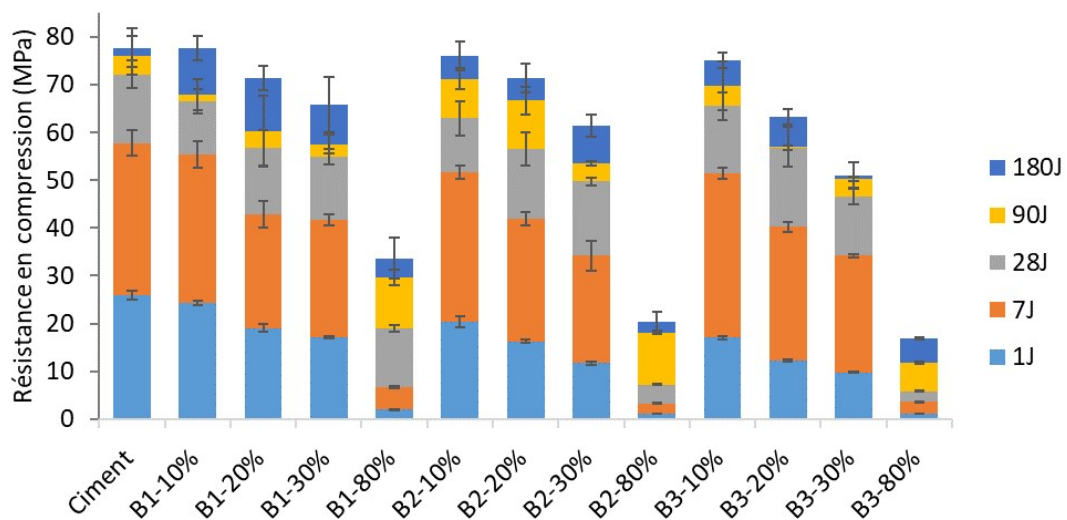


Figure 1. Résistance en compression sur des formulations avec trois granulométries de fines de brique et des taux substitutions de 10, 20, 30 et 80 %.

Il faut noter que, si on ajoute une part d'ultra-fines d'environ 3 à 5 % dans les fines de brique avec une granulométrie équivalente au ciment (B2), les performances mécaniques dans les mélanges avec 20% de substitution du ciment sont équivalentes voire supérieures à celles d'un ciment. Pour des taux de substitutions supérieurs à 20%, les performances mécaniques diminuent mais pourraient être compatibles avec des usages spécifiques tels que l'élaboration de coulis ou de mortiers. L'emploi de fines de brique permet par conséquent de réduire la part de clinker dans le ciment composé élaboré et donc de contribuer à la réduction de l'impact CO₂ et la préservation des ressources naturelles.

8. Existe-t-il une application industrielle envisageable pour la réutilisation des fines de brique issus de la déconstruction et de la démolition dans la formulation des matériaux alcali-activés?

Réponse : Des essais réalisés sur un matériau alcali-activé à base de laitier de haut fourneau moulu (laitier HF) démontrent la possibilité de substituer une part du laitier de haut-fourneau par des fines de brique : ces matériaux ont été formulés à base de

laitier, de fines de brique et d'une solution alcali-activatrice à base de soude et de silicate de sodium avec un pourcentage de Na_2O de 5 % et rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ de 1,5.

1) les fines de brique peuvent être considérées dans un premier temps comme une addition minérale non activable. La concentration de la solution alcali-activatrice est alors calculée par rapport à la quantité de laitier HF présent. Dans ces mélanges, la concentration de la solution diminue avec l'augmentation du taux de fines de brique. Le temps de prise d'une part et d'étalement d'autre part démontrent l'impact bénéfique de l'addition des fines de brique sur l'ouvrabilité et la maniabilité du matériau alcali-activé. En effet, pour 50 % de fines de brique en substitution du laitier, le temps de prise est doublé mais surtout, à partir de 30 % de fines de briques, le matériau alcali-activé reste maniable plusieurs heures sous réserve toutefois qu'il y ait un malaxage continu pour éviter le figeage. Des résistances en compression supérieures à 60 MPa obtenues à 180 jours pour tous les mélanges allant jusqu'à 50 % de fines de brique au lieu de 90 MPa pour le mélange de contrôle à 100 % de laitier de haut-fourneau indiquent que le niveau de performances mécaniques de ces matériaux alcali-activés reste élevé. De plus, la diminution de résistance en compression n'est pas proportionnelle à l'augmentation du taux de substitution en fines de brique, montrant ainsi que ces fines de brique sont bénéfiques et qu'elles contribuent aux performances mécaniques.

2) les fines de brique peuvent être considérées comme une addition activable. Les matériaux alcali-activés formulés sont basés sur une concentration de solution alcali-activatrice calculée par rapport à la masse totale de matériaux, soit le laitier et les fines de brique. La concentration reste constante dans tous les mélanges quel que soit le taux de substitution en fines de brique.

Les performances rhéologiques sont identiques, la maniabilité et l'ouvrabilité sont légèrement améliorées par rapport au témoin 100% laitier HF. En revanche, l'augmentation des fines de brique impacte modérément la génération des hydrates permettant d'atteindre des performances mécaniques équivalentes à celle du laitier HF seul même avec une substitution de 50 % de fines de brique. Les fines de brique, grâce à leur composition silico-alumineuse, contribuent donc fortement dans ce cas à la réaction d'alcali-activation et permettent ainsi de préserver des performances mécaniques élevées.

Les résultats montrent donc que la voie de valorisation des fines de brique dans des matériaux alcali-activés à base de laitier de haut-fourneau est tout à fait pertinente au vu des performances mécaniques atteintes. De plus, l'incorporation de ces fines de brique permettrait d'économiser un précurseur tel que le laitier de haut fourneau, dont la disponibilité à l'avenir va se réduire, et de diminuer le coût du liant alcali-activé vu que la valeur de fines de brique est moindre que celle du laitier HF. Un autre avantage possible est la réduction de la concentration de la solution alcali-activatrice tout en garantissant des performances mécaniques compatibles aux besoins du génie civil, mais seulement à long terme (au-delà de 28 jours) et pour des applications spécifiques nécessitant peu de performances mécaniques au jeune âge (1 jour).

9. Quelles sont les mesures à mettre en place par l'industriel qui souhaite fabriquer des bétons avec un taux plus élevé de granulats (gravillons) de béton recyclé ?

Réponse : Pour la fabrication d'un béton avec des granulats (gravillons) de béton recyclé, la norme (EN 206 : 2013+A1 : 2016) limite l'utilisation des GBR de type A dans un béton en substitution d'un granulat naturel à 50% en masse (Tableau 1) en fonction du type de béton et la classe d'exposition. Des formulations avec un taux de substitution inférieur à 30 % en gravillon recyclé semblent donner des bétons avec des performances équivalentes à celles d'un béton classique. Pour des taux de substitution supérieurs (qui semblent concevables avec les travaux du Projet National Recybéton): des mesures de maniabilité, de résistance mécanique ainsi que de durabilité doivent bien entendu être réalisées avant toute application.

10. Quelles sont les mesures à mettre en place par l'industriel qui souhaite fabriquer des bétons avec un taux plus élevé de sables de béton recyclé ?

Réponse : Pour la fabrication de béton avec un taux plus élevé de sable recyclé de béton, des essais doivent être réalisés pour confirmer le travail effectué sur les pâtes et les mortiers. Selon la norme des bétons (EN 206 : 2013+A1 : 2016), l'utilisation de sable recyclé de béton dans un nouveau béton n'est pas autorisée. Nous avons néanmoins montré que des formulations avec un taux de substitution inférieur à 30 % en sable recyclé semblent donner des bétons avec des performances équivalentes à celles d'un béton classique : des mesures de maniabilité, de résistance mécanique ainsi que de durabilité doivent bien entendu être réalisées avant toute application.

11. Quelles sont les mesures à mettre en place par l'industriel qui souhaite fabriquer des bétons avec des fines provenant du broyage des briques ?

Réponse : Pour la fabrication d'un béton avec des fines de brique, des essais doivent être réalisés afin de vérifier la maniabilité et le développement des résistances mécaniques. Des formulations avec un taux de substitution de 20 % en fines de brique semblent donner des bétons avec des performances équivalentes à celles d'un béton classique. L'utilisation de brique peut également se faire sous forme de sable : dans ce cas, une part du squelette granulaire est substituée par du sable de brique. La formulation d'un béton à base de brique sous forme de sable et de fines permettrait d'utiliser moins de ressources naturelles tout en gardant les propriétés d'un béton classique.

12. Quelles sont les mesures à mettre en place par l'industriel qui souhaite fabriquer des bétons avec un taux plus élevé en sulfate dans les sables de béton recyclé ?

Réponse : La Figure 2 montre le gonflement observé sur des mortiers fabriqués avec un sable recyclé contaminé par des sulfates. Chaque courbe représente un mélange où un paramètre est modifié par rapport au standard (courbe pourpre). Si la teneur en sulfate des granulats recyclés est très importante, une alcalinité élevée diminuera les effets de la réaction de gonflement (courbe verte) par limitation de la formation

d'ettringite L'augmentation de l'alcalinité est toutefois à appliquer avec précaution notamment vis-à-vis d'autres pathologies d'ouvrage potentielles comme la réaction alcali-granulat pour laquelle toute augmentation des alcalins est néfaste.

Une attention particulière doit être portée à la porosité du mélange : si le rapport E/C est trop faible, cela peut diminuer la porosité et aggraver l'expansion (courbe jaune). Une détermination précise de l'absorption d'eau est donc nécessaire pour éviter ce faible rapport E/C.

Si le mélange contient une source de carbonates, comme une teneur en filler calcaire importante ou un ciment de type CEM II, il est possible que l'on observe la formation de thaumasite : à basses températures, ce paramètre est le plus dommageable (courbe noire).

Par contre, un ciment avec une teneur limitée en C₃A, la granulométrie du gypse ou une porosité plus élevée n'ont pas d'influence sur les conséquences de l'attaque sulfatique.

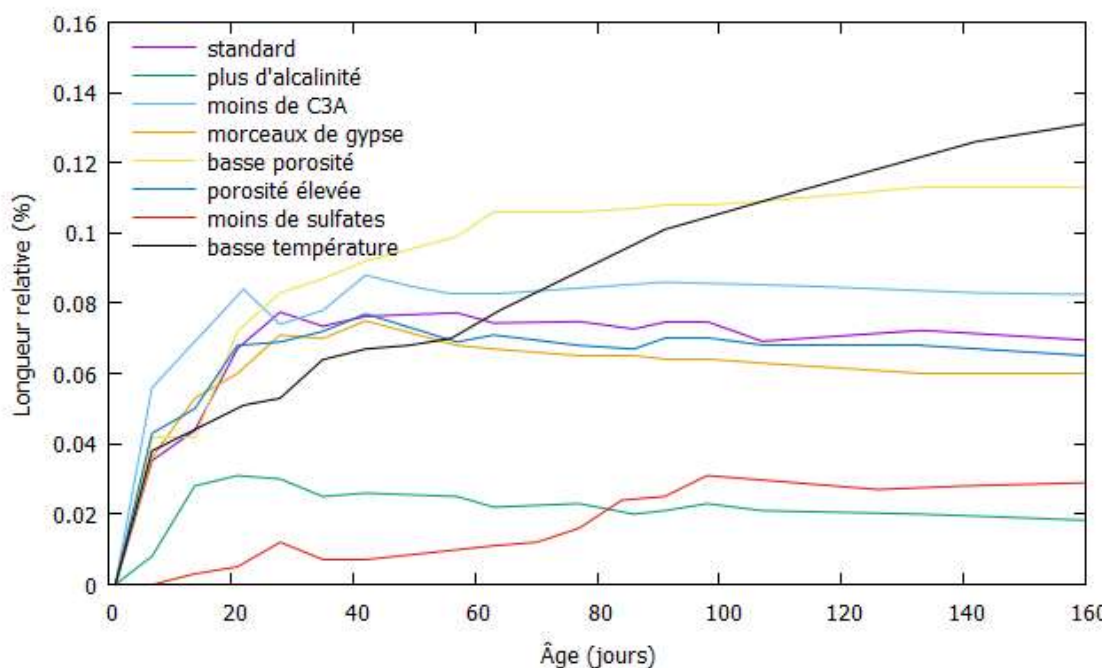


Figure 2. Expansion des mortiers fabriqués avec un sable recyclé contaminé par des sulfates.

13. Quel est l'avantage environnemental associé au recyclage de granulats ?

Réponse : D'un point de vue environnemental, l'avantage peut être évalué par une analyse du cycle de vie (ACV) du produit intégrant des granulats recyclés.

Cette méthode scientifique normée (ISO 14040:2006 et ISO 4044:2006), selon la définition officielle, "*traite les aspects environnementaux et les impacts environnementaux potentiels tout au long de la vie d'un produit, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation, son traitement en fin de vie, son recyclage et sa mise au rebus (à savoir, du berceau à la tombe)*".

Les avantages peuvent être mesurés au travers de plusieurs approches selon le produit concerné : soit la substitution de granulats naturels par des granulats recyclés,

soit le remplacement d'un objet ayant un coût environnemental élevé par un autre plus avantageux qui remplit la même fonctionnalité.

Dans le projet Valdem, les déchets de démolition sont principalement utilisés pour la réalisation de béton intégrant des granulats de béton recyclés (GBR) en substitution à des granulats naturels (GN). Ces granulats naturels étant abondant sur notre planète, leur impact est négligeable pour ce qui concerne l'exploitation des ressources minérales. Par contre, il peut être avantageux du point de vue de la consommation énergétique de les remplacer par des granulats recyclés. Un point important est lié au transport des matériaux : un chantier de démolition plus proche de la centrale à béton ou du lieu d'utilisation des GBR que la carrière d'extraction des granulats naturels avantage le recyclage et diminue les émissions de CO₂. Il en va de même pour la substitution d'une fraction de l'argile dans des briques par des fines de granulats de béton recyclés.

Une autre voie pour l'utilisation des fines de démolition est leur valorisation (avec un liant) sous forme de dallages. Ces dalles de sol remplacent avantageusement les traditionnelles dalles en céramique qui nécessitent une importante quantité d'énergie pour leur réalisation et permettent ainsi une diminution drastique des émissions de CO₂.

Globalement, dans une perspective d'économie circulaire, la valorisation des déchets de démolition des ouvrages en béton sous forme de granulats recyclés soit dans du béton, soit dans des briques ou des dalles, permet un gain environnemental significatif en comparaison de l'utilisation de ressources naturelles.

3 - Thèses de doctorat

- **Mohamed El Karim Bouarroudj.** Utilisation de matériaux naturels modèles pour la formulation de mortier contenant des sables et des fines de granulats recyclés. Thèse de doctorat (Université de Liège et Université de Lille (IMT Lille Douai)). Co-promoteurs (Luc Courard et Sébastien Remond). Défense publique le 19 novembre 2019. Disponible sur <http://www.theses.fr/2019MTLD0016>
- **Charlotte Colman.** Gypsum residues in fine recycled aggregates: effects on mechanical and microstructural properties of cementitious composites. PhD thesis (Université de Liège and Université de Lille (IMT Lille Douai)). Co-promoteurs (D. Bulteel and Luc Courard). Public defense on December 7th, 2020. Available on OrBi <http://hdl.handle.net/2268/251515>
- **Adèle Grellier.** Valorisation des fines de recyclage des matériaux silicatés (tuiles et briques) dans les bétons Thèse de doctorat (Université de Liège et Université de Lille (IMT Lille Douai)). Co-promoteurs (Luc Courard et David Bulteel). Défense publique le 14 décembre 2020. Disponible sur OrBi <http://hdl.handle.net/2268/252184>

4 - Publications scientifiques

- Alternative hydraulic binder development based on brick fines: influence of particle size. A. Grellier, D. Bulteel, Z. Zhao, S. Remond, L. Courard. Journal of Building Engineering 102263 (2021).

- (<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102263>)(<http://hdl.handle.net/2268/252191>).
- Intra granular porosity of grinded hardened cement paste and bricks: modeling and experimentation. M.K. Bouarroudj, S. Remond, A. Grellier, D. Bulteel, F. Michel, Z. Zhao, L. Courard. Materials and structures 54(88) (2021) (<https://doi.org/10.1617/s11527-021-01670-5>)(<http://hdl.handle.net/2268/259744>)
 - Valorization of fine recycled aggregates contaminated with gypsum residues: characterization and evaluation of the risk for secondary ettringite formation. C. Colman, D. Bulteel, S. Rémond, Z. Zhao, L. Courard. Materials 2020, 13 (21), 4866. (<https://doi.org/10.3390/ma13214866>) (<http://hdl.handle.net/2268/252190>)
 - Use of grinded hardened cement pastes as mineral addition in mortars. M.K. Bouarroudj, S. Remond, D. Bulteel, F. Michel, Z. Zhao, L. Courard. Journal of Building Engineering 2020, 101863. (<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101863>) (<http://hdl.handle.net/2268/251565>).
 - Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study. Z. Zhao, L. Courard, S. Gros Lambert, T. Jehin, A. Léonard, J. Xiao. Resources, Conservation & Recycling 157 (2020), 104786. (<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104786>)(<http://hdl.handle.net/2268/246444>).
 - Use of a reference limestone fine aggregate to study the fresh and hard behavior of mortar made with recycled fine aggregate. M.K. Bouarroudj, S. Remond, F. Michel, Z. Zhao, D. Bulteel, L. Courard. Mater Struct (2019) 52 (1), 18. (<https://doi.org/10.1617/s11527-019-1325-1>) (<http://hdl.handle.net/2268/243423>)
 - Circular economy of buildings: Leroy Merlin case study. S. Gros Lambert and A. Léonard. 5th FNRS LCA Meeting (2019) (<http://hdl.handle.net/2268/241904>)
 - Valdem project: from LCA of demolition waste to circular economy of buildings. S. Gros Lambert, A. Léonard, R. Breuil, A. Roy. Congrès SAM13 2018 (<http://hdl.handle.net/2268/230033>)
 - Valorization of construction and demolition waste, a route to circular economy: the Valdem project. S. Gros Lambert and A. Léonard.
 - [avniR] Conference 2019 (<http://hdl.handle.net/2268/241902>)
 - [avniR] Conference 2018 (<http://hdl.handle.net/2268/230034>)
 - 4th FNRS LCA Meeting 2018 (<http://hdl.handle.net/2268/230035>)
 - Valdem Project: From building waste LCA to buildings circular economy. S. Gros Lambert, A. Roy. [avniR] Conference 2017 (<http://hdl.handle.net/2268/217372>)
 - FLCM of construction waste towards circular economy of buildings: VALDEM project. S. Gros Lambert, A. Léonard, A. Roy, V. Pasquet. LCM 2017 (<http://hdl.handle.net/2268/215400>)
 - Internal sulfate attack in mortars containing contaminated fine recycled concrete aggregates. Colman, C., Bulteel, D., Thiery, V., Rémond, S., Michel, F., Courard, L. Construction and Building Materials 272 (2021), 121851(<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121851>) (<http://hdl.handle.net/2268/247519>).

- *Expansion of concrete with fine recycled aggregates contaminated with gypsum. C. Colman, D. Bulteel, S. Rémond, M.K. Bouarroudj, L. Courard. Journal of Building Engineering (sous revue).*
- *Substitution of limestone filler by waste brick powder in self-compacting mortar: properties and durability. Z. Zhao, A. Grellier, M.E.K. Bouarroudj, F. Michel, D. Bulteel, L. Courard. Construction and Building Materials (sous revue).*

5 – Contacts

Encadrants

David BULTEEL – IMT Lille Douai - david.bulteel@imt-lille-douai.fr

Luc COURARD – Université de Liège – Luc.Courard@uliege.be

Angélique LEONARD – Université de Liège – A.Leonard@uliege.be

Sébastien REMOND – Université d’Orléans – sebastien.remond@univ-orleans.fr

Chercheurs seniors

Sylvie GROSLAMBERT – Université de Liège – S.Groslambert@uliege.be

Zengfeng ZHAO – Université de Liège - Zengfeng.Zhao@uliege.be

Chercheurs

Mohamed El Karim BOUARROUDJ

Charlotte COLMAN

Adèle GRELLIER