

Projet National FastCarb

CAPTAGE DE CO₂ : ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UN PROCESSUS DE CARBONATATION DE GRANULATS DE BETON RECYCLES

M. Saadé

EMGCU, MAST, Université Gustave Eiffel

A. Feraille

MSA, NAVIER, Ecole des Ponts ParisTech

C. Rospars

IREX, Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

J.M. Torrenti

MAST, Université Gustave Eiffel

1. INTRODUCTION

Le Pacte Vert européen pose les bases d'un nouveau modèle de développement économique (European Commission 2019). Il vise à la fois à garantir le bien-être des populations et à protéger l'environnement. Cela implique de mettre en œuvre des stratégies et solutions de réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre tout en découplant croissance économique et consommation de ressources primaires. Le secteur de la construction fait partie des secteurs sur lesquels agir en priorité, du fait des émissions de gaz à effet de serre (GES) émis par ses activités, des quantités croissantes de matériaux consommés pour la mise en œuvre de bâtiments ou d'infrastructures, et des volumes de déchets générés (European Commission 2020 ; Mongeard & Dross 2016). Parmi les solutions à développer dans le secteur du génie civil, la carbonatation accélérée des granulats de béton recyclés pourrait conduire à des bénéfices environnementaux, et ce pour trois raisons principales. D'une part, elle permet de valoriser et d'améliorer la qualité des matériaux secondaires, issus de la démolition d'ouvrages du BTP et d'infrastructures, d'autre part de stocker du CO₂ émis par différentes industries, et enfin d'éviter l'extraction de matériaux naturels (graviers et sable). Les systèmes carbonatation accélérée peuvent être directement associés aux cimenteries (ou d'autres industries) dont les fumées industrielles sont source de CO₂ (Izoret & al., 2021). Cette solution de captage du CO₂ doit être cependant évaluée sur l'ensemble de son cycle de vie. L'analyse doit comptabiliser tous les impacts et de les comparer aux bénéfices environnementaux attendus. Si le focus sur l'empreinte carbone est tout à fait légitime, il est également nécessaire de prendre en considération d'autres indicateurs affectant la santé humaine, les écosystèmes ou les ressources.

L'objectif de cette contribution est de proposer un protocole d'évaluation des impacts environnementaux de procédés de carbonatation accélérée des granulats de béton recyclés (GBR), selon une approche cycle de vie. Elle repose sur l'analyse d'un démonstrateur mis en œuvre dans le cadre du PN FastCarb. L'approche consiste de manière itérative à :

- effectuer une analyse préliminaire permettant d'analyser les contributions des étapes du cycle de vie du procédé de carbonatation, d'identifier les paramètres clés et d'estimer les ordres de grandeur en matière d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'impacts ;
- comparer différentes solutions de mise à disposition de granulats.

L'article conclut sur la nécessité d'étendre les comparaisons à des unités fonctionnelles plus larges, à savoir la tonne de béton produite et le fonctionnement d'un site industriel sur une période donnée.

2. METHODOLOGIE

L'ACV est une méthode itérative, multicritère et multi-étape d'évaluation de l'impact environnemental (Brochard et al 2020). Elle a pour objectif de quantifier et rendre comparables les dommages causés par les activités humaines (Jolliet et al. 2017). C'est un outil analytique dont la fonction est l'amélioration des processus productifs dans une démarche d'éco-conception. Son principe repose sur la définition d'une unité fonctionnelle, représentant la fonction du système modélisé, et à laquelle tous les flux de matière, d'énergie et les impacts sont rapportés (phase de définition des objectifs et du système). Pour différents scénarios de production d'un bien ou d'un service, les flux de matière et d'énergie émis vers et extrait de l'environnement sont estimés au cours de l'inventaire. Sur la base de ces flux, les impacts sont évalués pour différentes catégories ou domaines à protéger (le climat, la santé humaine, les écosystèmes...) lors de l'étape d'analyse de l'impact sur le cycle de vie. A chaque phase de l'analyse, l'interprétation permet de discuter les hypothèses et les résultats, d'expliquer les limites de l'étude et de proposer des recommandations (Figure 1).

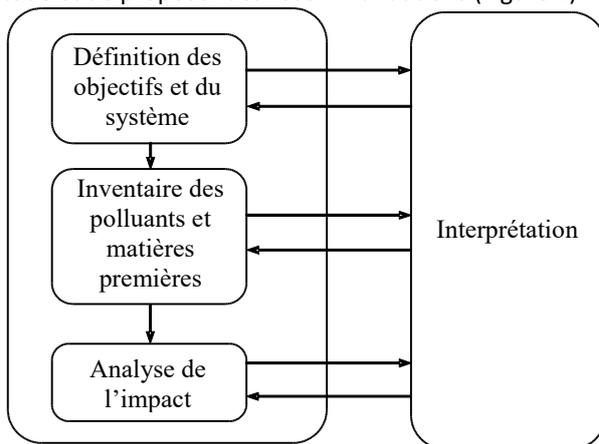


Figure 1. Phases de l'analyse du cycle de vie, tiré de Jolliet et al. (2017)

En plus de son ambition holistique, son originalité vis-à-vis d'autres méthodes d'évaluation repose sur l'estimation des flux de matière et de leurs impacts potentiels sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit, afin d'éviter la proposition d'améliorations du système productif menant à des déplacements d'impact d'une catégorie à une autre, ou d'une étape du cycle de vie à une autre. Plusieurs normes cadrent actuellement l'application de la méthode, telles que la norme EN 15'804. Pour cette recherche, l'ACV est réalisée conformément aux normes ISO 14'040 et 14'044.

3. EVALUATION PRELIMINAIRE D'UN SYSTEME DE CARBONATATION DES GBR

3.1. Définition des objectifs et du système

3.1.1. Objectifs, unité fonctionnelle et scénarios

L'objectif de l'analyse est d'évaluer le système de carbonatation des granulats de béton recyclés (GBR) mis en œuvre sur le site de Créchy et présenté dans Izoret & al.(2021). La fonction principale du système étudié est de produire un matériau de construction captant du carbone. La fonction secondaire est d'améliorer la qualité des granulats recyclés en diminuant leur porosité. La fonction secondaire n'est pas incluse dans l'unité fonctionnelle choisie, à savoir **1 t de granulats de béton recyclé carbonaté (GBRC)**.

3.1.2. Système étudié

Le système de production des GBRC à l'étude est illustré en Figure 2. Les GBR, fournis par Lafarge Holcim, sont issus d'une plateforme de réception et de traitement des déchets inertes de démolition situé à Saint Fons (Rhône) et sont concassés sur site. Il s'agit de bétons de type retours de centrale, des matériaux de bonne qualité exempts d'indésirables liés à la démolition de bâtiments. Ils sont fournis en deux granulométries : sable à 0-4 mm ; gravillons à 4-16 mm. Ils sont ensuite transportés par camion jusqu'à la cimenterie de Créchy (Allier), sur une distance de 250 km, où ils sont stockés puis carbonatés. A noter que les choix du site d'approvisionnement des

GBR comme du site de carbonatation n'ont pas fait l'objet d'une optimisation des distances parcourues. Pour les besoins de l'étude technique, avec deux démonstrateurs différents, et pour avoir des mesures comparables sur les taux de carbonatation obtenus entre le procédé mis en place à Créchy et le second démonstrateur, le même lot de GBR a été utilisé. Les distances parcourues ne correspondent donc pas à un système à l'industriel. Dans cette étude, seules les données sur le démonstrateur de Créchy ont été étudiées. Dans une première approche, la distance parcourue réelle a été intégrée.

Le démonstrateur employé pour la carbonatation est un tambour rotatif utilisé précédemment comme sécheur pour la fabrication d'enrobés, modifié pour pouvoir remplir sa fonction de carbonatation. Il a été positionné sur site à côté du broyeur cru, récupérant les gaz industriels concentrés en CO₂ en provenance de la tour de préchauffage. De 25% en volume à la sortie de la tour de préchauffage, la concentration de CO₂ baisse par dilution au niveau du broyeur, pour atteindre 15%. La température du gaz est de 50°C à l'entrée du carbonateur.

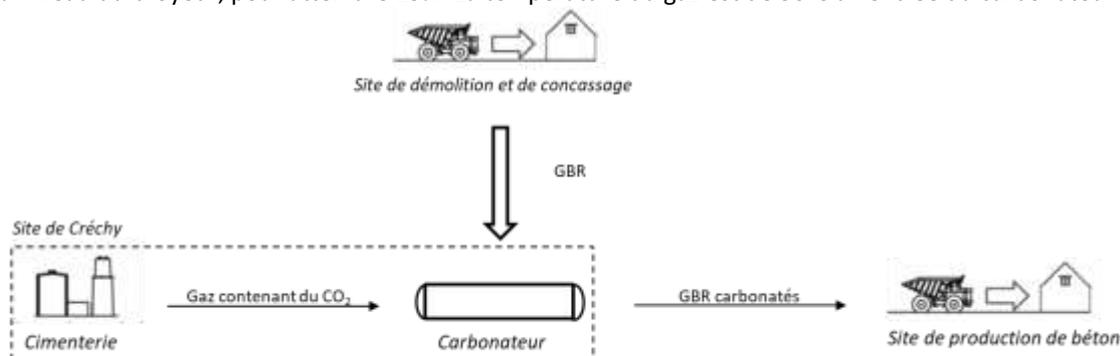


Figure 2. Système de production des GBRC – démonstrateur VICAT

Le gaz doit être dépoussiéré avant carbonatation. Il passe par un cyclone puis par un système de filtres à manche. Des échangeurs de chaleur ont également été installés mais ne sont pas utilisés. Le gaz dépoussiéré est ensuite injecté dans le démonstrateur, puis rejeté dans la gaine principale reliant la tour de préchauffage et le broyeur cru. Le gaz est ainsi récupéré par l'usine.

Le chargement des GBR se fait par une trémie qui fonctionne en batch de 3 tonnes. Le tapis d'alimentation fonctionne 20 minutes par batch. La carbonatation de ces 3 tonnes se fait en deux heures. Le démonstrateur comporte 4 moteurs fonctionnant 2 minutes toutes les quinze minutes pendant la durée de la carbonatation afin de ralentir le déplacement des granulats vers la sortie du tambour. En termes de maintenance, le tambour est équipé de relevés fréquemment changés (environ 500 kg d'acier par an). La maintenance implique également du graissage et un renforcement du blindage.

Suite à différents essais, le temps de séjour optimum a été déterminé à 1h, avec une humidité de l'ordre de 10%. Pour ces conditions, les taux de carbonatation obtenus sont de 3,1% pour le sable et 0,5% pour le gravier (Tableau 1). L'objectif est d'atteindre un taux de carbonatation de 5%, impliquant une maîtrise du taux d'humidité et l'augmentation de la concentration de CO₂ dans le gaz industriel. Même si les premiers résultats obtenus sur le démonstrateur sont inférieurs, nous l'indiquerons comme « objectif » dans la suite de l'étude (50 kgCO₂/t).

Tableau 1. Taux de carbonatation obtenus sur site démonstrateur (kgCO₂/t GBR)

Fraction 0-4 mm	Fraction 4-16 mm	Objectif
31	5	50

En considérant la carbonatation de 1,5 tonnes de GBR par heure, il est estimé que le démonstrateur pourrait être utilisé au moins 7000 h/an sur 10 ans. Dans le cas d'un système industriel, l'installation pourrait fonctionner en poste si la demande est importante. L'effet prototype est à considérer lors de l'interprétation des résultats. Les GBRC sont ensuite stockés sur site, puis transportés sur un site de fabrication du béton, avec l'hypothèse d'un transport sur 50 km.

3.1.3. Limites du système

Les limites du système (Figure 3) incluent les différentes étapes du cycle de vie de la carbonatation des GBR, du concassage au niveau du chantier de démolition/déconstruction (site d'utilisation antérieur) jusqu'au chantier (excluant la mise en œuvre sur site et production de béton). L'exclusion de l'étape d'utilisation des GBR ne fait sens que si les propriétés des GBR carbonatés n'influencent pas cette étape. La carbonatation ayant un effet sur la qualité des granulats et sur la quantité de ciment ajouté pour fabriquer du béton, une extension du système étudié sera discutée en conclusion.

En matière d'allocations, on considère ici les ressources secondaires que sont les déchets de béton et le CO₂ comme « gratuites », c'est-à-dire que les impacts liés à leur mise à disposition sont alloués entièrement aux

cycles de vie des processus les ayant générés comme déchets (approche cut-off). L'évitement des impacts liés au transport et au traitement des déchets de béton n'est donc pas considéré. Par contre, tout procédé de traitement de ces déchets après leur génération (y compris le concassage) est inclus dans le système. Ceci doit permettre une comparaison avec un système d'approvisionnement de matériaux primaires (sable ou granulats naturels).

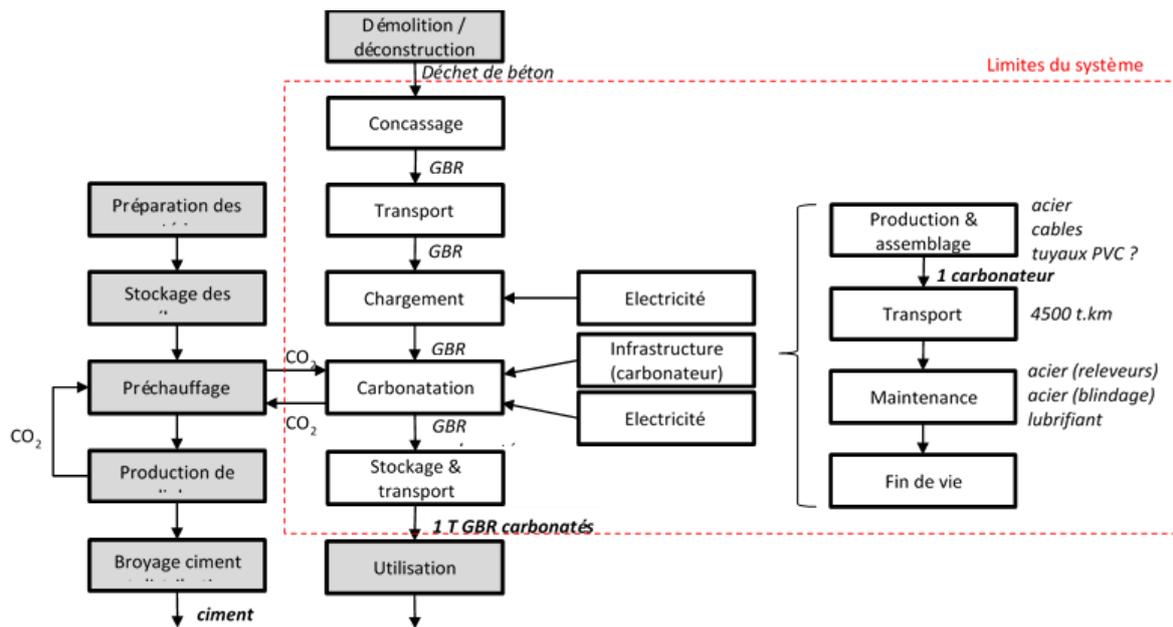


Figure 3. Limites du système de production des GBRC – démonstrateur VICAT

3.2. Inventaire des émissions et des extractions : focus sur le bilan carbone

L'inventaire des émissions et des extractions est calculé à partir des flux de référence définis pour le démonstrateur VICAT (Saadé et Feraille 2021) et de la base de données générique ecoinvent 3.7. Les valeurs pour le procédé de recyclage des GB proviennent de Mousavi et al (2020). Le logiciel OpenLCA 1.10.3 est utilisé pour l'automatisation des calculs.

Il est possible de comparer les émissions de CO₂ pour les différentes étapes du cycle de vie des GBRC avec les quantités de CO₂ captés lors du processus de carbonatation (Figure 4). Que soit pour la fraction fine 0-4 mm ; la fraction grossière 4-16 mm ou pour un taux de captage à atteindre de 50 g/kg de GBR, et pour les conditions de transport du système étudié, les quantités de CO₂ captées sont inférieures aux émissions sur l'ensemble du cycle de vie du procédé de carbonatation des GBR du fait des conditions de transport du système démonstrateur (Figure 3). Dans le cas de la fraction grossière, les émissions liées au concassage et à la carbonatation (2kg CO₂/t GBR) sont du même ordre de grandeur que le taux de CO₂ capté lors du processus de carbonatation (5kg CO₂/t GBR).. Le résultat obtenu pour les fines 0-4 mm est remarquable car il présente un bilan carbone largement positif si l'on retire le transport depuis le site de déconstruction.

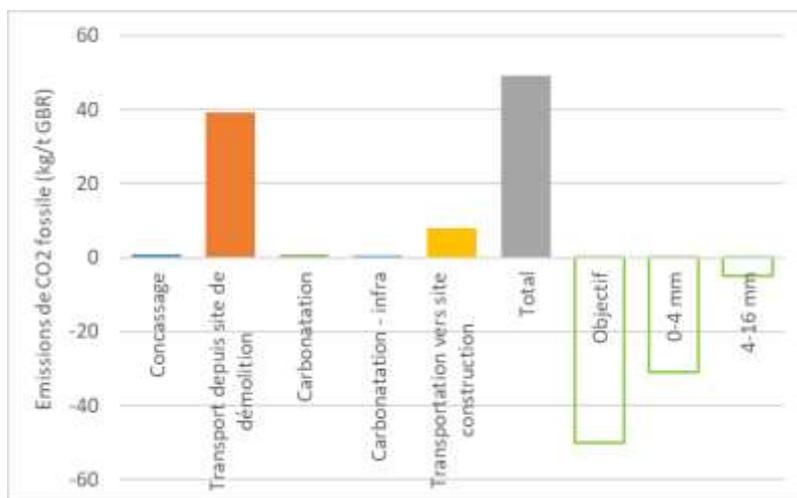


Figure 4. Bilan des émissions de CO₂ fossile – contribution des étapes du cycle de vie en regard des quantités captées par carbonatation

Compte tenu de l'importance du transport amont et aval, une étude de sensibilité est effectuée sur la distance totale de transport, sans distinction entre transport de GBR et GBRC (Figure 5). Sur la base des hypothèses formulées, il apparaît que les émissions de CO₂ générées par le système de carbonatation (transport des GBR et des GBRC compris) peuvent être compensées par un captage du CO₂ par la fraction fine pour une distance transportée maximum de 185 km. Cette distance parcourue pour garder un bilan CO₂ à l'équilibre est de 305 km pour un captage de CO₂ maximum (50 kg/tGBR). Par contre, il apparaît que le CO₂ capté par carbonatation de la fraction grossière permet de compenser les émissions du procédé pour un transport sur 20 km uniquement (0,8 kg CO₂ pour le concassage et 1,2 kg de CO₂ pour la carbonatation). Ces valeurs ne prennent pas en compte les autres gaz à effet de serre GES.

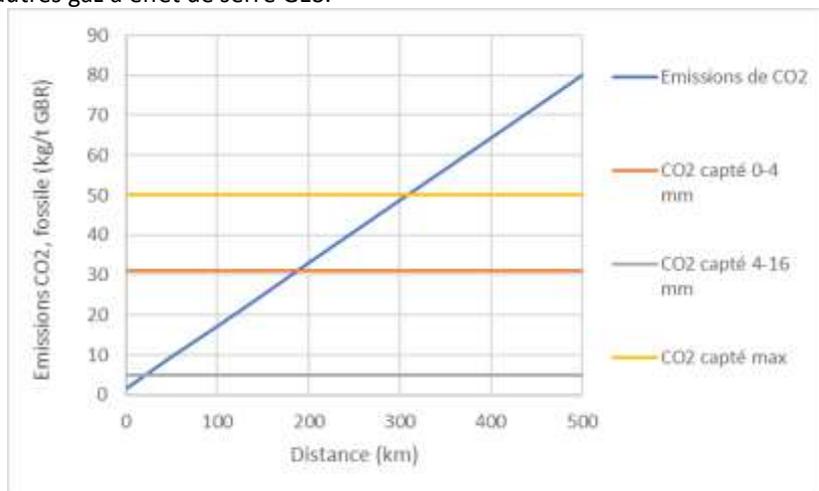


Figure 5. Etude de sensibilité sur la distance totale de transport des granulats (GBR et GBRC)

3.3. Analyse de l'impact

L'analyse de l'impact est réalisée avec le set d'indicateurs préconisés par la norme EN 15 804+A2, fournie dans le package de méthodes d'évaluation environnementale compatibles avec ecoinvent 3.7 via le logiciel OpenLCA 1.10.3. Elle confirme, selon les hypothèses choisies, la part prédominante des transports pour la plupart des catégories d'impact environnementale. Seule la catégorie radiation ionisante présente une répartition des impacts différente, la contribution de l'étape de carbonatation contribuant pour moitié. Ceci est dû à la consommation électrique du procédé, et du mix électrique choisi, français, à forte composante nucléaire.

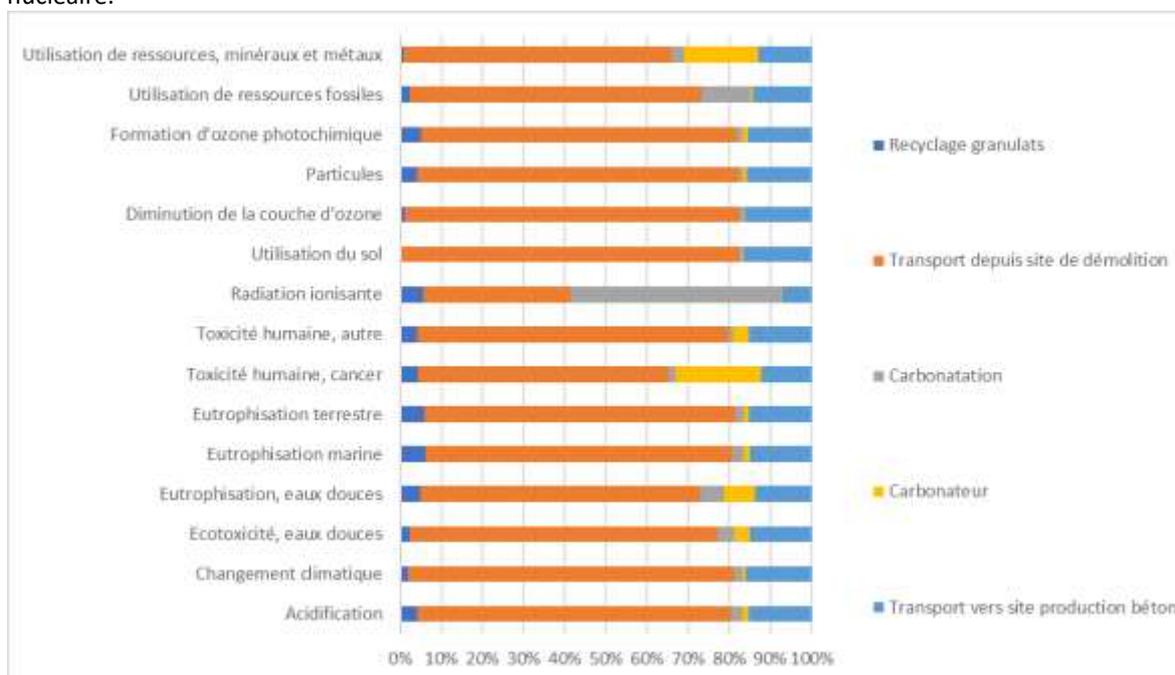


Figure 6. Contribution des différentes étapes du cycle de vie de la carbonatation accélérée, impacts calculés avec le set d'indicateurs préconisés par la norme EN 15 804+A2

Ce résultat est obtenu à partir du système retenu (fig.3) et s'est volontairement contraint à utiliser les données réelles sur les ressources, les GBR et le transport. L'analyse montre que l'impact du transport supplémentaire

des GBR pour être carbonaté sur le site du démonstrateur de Créchy est donc majeur. Dans une logique industrielle, les distances entre les sites sont limitées au maximum et en général se situent autour de 50 km pour les GN et 100 km pour les GBR. L'efficacité encore limitée du procédé de carbonatation sur ce démonstrateur pour la fraction 4-16 mm (5kg CO₂/t) limite également son intérêt à ce stade du développement du procédé. Cependant, le concassage reste nécessaire dans les opérations de déconstruction et de gestion des déchets du bâtiment, ainsi que leur transport vers leur site de ré-usage, ce qui pose la question de l'unité fonctionnelle choisie. Enfin, la carbonatation des GBR présente des effets sur la durabilité des bétons qui seront produit avec ces granulats. Cet effet positif reste aujourd'hui à quantifier en laboratoire (ANR CO₂crete) mais il pourrait démontrer une meilleure durabilité que le GBR et donc influencer sur la durée de vie de l'ouvrage construit.

4. COMPARAISON DE DIFFERENTS TYPES DE GRANULATS

Sur la base de l'évaluation du démonstrateur de carbonatation accélérée des GBR, l'objectif de cette deuxième partie est de comparer différentes options de mise à disposition de granulats : granulats naturels (GN) ou sables naturels (SN), granulats de béton recyclés (GBR), granulats de béton recyclés carbonatés (GBRC), en distinguant la fraction fine 0-4 mm et grossière 4-16 mm. L'unité fonctionnelle (UF) choisie est la suivante : 1 t de granulats (GN, SN, GBR ou GBRC) mis à disposition sur chantier de construction. Les scénarios définis sont décrits au tableau 2, précisant les distances totales parcourues (définis en cohérence avec Bougrain et Doutreleau 2021). Les différences de qualité ne sont pas pris en compte.

Tableau 2. Scénarios analysés

Nom du scénario		Distance min	Distance max
GN	Granulat naturel issu de carrière	5	30
SN	Sable naturel, issu de carrière	5	30
GBR	Granulat de béton recyclé	20	100
GBRC ₀₋₄	Granulat de béton recyclé carbonaté, fraction 0-4 mm	35	275
GBRC ₄₋₁₆	Granulat de béton recyclé carbonaté, fraction 4-16 mm	35	275

Les procédés de mise à disposition des GN, des SN et les GBR ont été construits sur la base des procédés de production de GN, SN et GBR, provenant de la base de données ecoinvent (adaptés au contexte français, voir Mousavi et al 2020) et des modules d'information environnementale fournis par l'UNPG (2017a, b, c), auxquels ont été ajoutés du transport, selon les hypothèses données au Tableau 2. Le procédé de mise à disposition des GBRC provient du travail présenté en section 3.

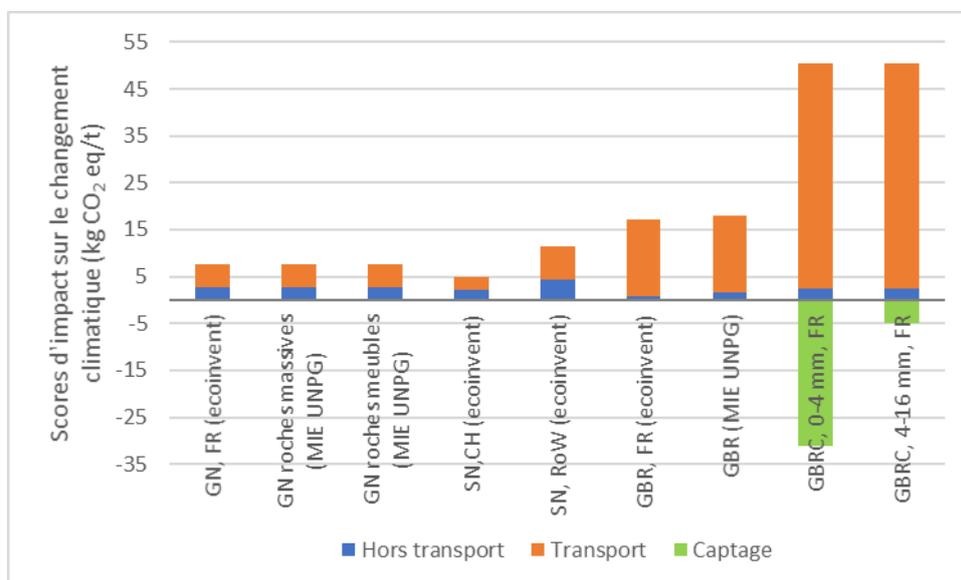


Figure 7. Comparaison des scores de changement climatique CC pour différents scénarios de mise à disposition de granulat/sable, prenant en compte le transport

Comparés sur la base d'une tonne de granulats ou de sable, les scores d'impact sur le changement climatique (Figure 7), exprimés en équivalent CO₂, dépendent à nouveau fortement des hypothèses de transport choisies. Compte tenu des distances parcourues en moyenne plus importante entre granulats ou sables naturels et les GBR, les impacts sur le changement climatique sont plus importants pour les GBR. Pour les GBRC de type sable, les impacts sont en partie compensés par le captage de CO₂, dans le cas des GBRC de type sable pour les distances

de transport considérées. En ramenant les distances de transport à 100 km, le système d'approvisionnement de GBRC atteindrait un bilan positif sur son cycle de vie.

Sans prise en compte des transports, il est à noter que les impacts sur le CC des différents processus de production des GN sont relativement proches (entre 2,6 et 2,8 kg CO₂ eq par tonne), qu'il s'agisse de roches meubles, massives, et quelle que soit la source des données (MIE UNPG ou ecoinvent adapté au contexte français). Les impacts de la production de SN, calculés pour des processus ecoinvent non adaptés, doublent quasiment selon le contexte (2,3 kg eq pour du sable extrait en Suisse, 4,3 kg eq pour des conditions non spécifiées). Compte tenu de ces différences, il serait intéressant de disposer d'un processus de production de sable qui soit adapté aux conditions françaises. Que ce soit pour les données UNPG ou ecoinvent adapté, le processus de recyclage est moins impactant sur le CC que la production de granulats ou de sable (entre 0,9 et 1,5 kg CO₂ eq par tonne). La production de granulats recyclés carbonatés rajoute l'impact de la carbonatation (1,4 kg CO₂ eq) à l'impact du recyclage, pour atteindre entre 2,3 kg et 2,9 kg CO₂ eq par tonne de GBRC.

5. CONCLUSION

L'évaluation préliminaire du démonstrateur mis en œuvre sur le site de la cimenterie VICAT à Créchy met en évidence, pour les conditions données de localisation de la plateforme de recyclage des granulats de béton et du carbonateur, les points suivants :

- La carbonatation de la fraction grossière entraîne le captage d'une quantité de CO₂ du même ordre de grandeur que le CO₂ émis lors du processus de carbonatation ;
- La carbonatation de la fraction fine se révèle par contre plus intéressante en termes de captage de CO₂ ;
- Le transport des GBR et des GBRC a un poids environnemental important dans le bilan total. Les procédés de carbonatation sur les sites proche des chantiers sont donc à privilégier, ce qui nécessitera un regard local en fonction des localisations des sites industriels émettant du CO₂.

La comparaison de différentes options de mise à disposition de granulats (GN, SN, GBR, GBRC, sables de béton recyclés carbonatés SBRC) sans prise en compte d'éventuelles substitutions (approche cut-off), montre encore une fois la prédominance du transport dans l'impact total, pour une majorité de catégories d'impact. Elle met également en évidence l'importance de la distinction entre gravier (fraction grossière 4-16 mm) et sable (fraction fine 0-4 mm).

Les scénarios de GBRC et SBRC comparés ne correspondent cependant pas à un système de carbonatation accélérée industriel, mais à un système prototype qui, pour des raisons expérimentales et pratiques, présente des conditions de transport très défavorables d'un point de vue environnemental. Il serait donc fondamental de disposer de scénarios industriels réalistes et contextualisés à un territoire (Mousavi et al 2020), fondés sur une analyse fine du maillage territorial en matière de sources de GBR, sources de CO₂ industriel et besoins de GBRC, permettant ainsi d'optimiser les transports, et réduire les impacts afférents. Il serait également intéressant de comparer ce système avec un système de carbonatation accéléré des GBR impliquant un transport de CO₂ vers la source de GBR, ou de le comparer avec des systèmes de carbonatation utilisant d'autres sources de CO₂ industrielles, soumises à SEQE ou non (raffineries, usines sidérurgiques ou électro métallurgiques, de production de chaux, de verre, de céramique, de papier, de produits chimiques, UIOM...).

D'autre part, les différences de qualité entre granulats n'ont pas été prises en compte dans les comparaisons. L'amélioration de la qualité des granulats de béton recyclés après carbonatation accélérée est à considérer. De précédents travaux (Idir et al 2015, Braymand et al 2017) ont en effet montré que l'utilisation de GBR dans certaines formulations de bétons entraîne une augmentation des impacts environnementaux, y compris sur le changement climatique. Ceci est lié à l'augmentation de la teneur en ciment de ces bétons pour obtenir une même durabilité à partir de béton contenant des GBR en comparaison des GN. Cependant, une amélioration de la qualité des granulats par carbonatation accélérée pourrait, a contrario, réduire les impacts environnementaux de solutions de béton, en permettant une adjonction maîtrisée de matériaux cimentaires. Ceci reste cependant à démontrer. L'ANR CO2crete débuté en janvier 2021 va poursuivre ce travail scientifique.

Les étapes suivantes de l'analyse consisteront donc, d'une part à approfondir les connaissances sur les performances environnementales du procédé de carbonatation accéléré, en comparant le démonstrateur à d'autres systèmes (procédé de lit fluidisé développé par LafargeHolcim sur le site de Val d'Azergues, transport de CO₂). D'autre part, il s'agira de comparer des scénarios d'utilisation de GBRC et de SBRC, en considérant les aspects de substitution de matériaux primaires (GN et SN). Une réflexion plus approfondie sur les usages possibles du sable carbonaté dans le béton est ainsi à mener. Il serait intéressant de disposer d'un procédé de d'approvisionnement en sable adapté au contexte français. Enfin, il s'agira de comparer des systèmes industriels de carbonatation, sur la base non pas d'une unité de produit (tonne de béton par exemple), mais d'une année de fonctionnement d'une installation de carbonatation, incluant dans les limites du système l'installation émettrice de GES. Cette extension du système présente un intérêt particulier pour discuter les réductions

d'émission de GES à l'échelle de ces installations, et poser les bases de futures négociations sur l'attribution de ces réductions à l'émetteur ou à l'utilisation de GES.

6. REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre du PN FastCarb, et co-financé par le projet Fastcarb et l'IRES. Le PN Fastcarb comme cette étude ont été soutenus par le Ministère de la Transition Écologique. Cette étude a bénéficié des apports des membres du GT2.3 portant sur l'évaluation environnementale et économique des procédés de carbonatation des GBR. Elle a également été possible grâce à la collaboration des équipes de VICAT, qui ont fourni les données sur le démonstrateur de Créchy.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Braymand, S., Feraille, A. & Serres, N. (2017). Evaluation environnementale du béton de granulats recyclés, 2ème étape, rapport PN recybeton.
- Brochard, L., Feraille, A., Saadé, M. (2021), L'Analyse du Cycle de Vie, Transitions.
- CNR (2019) Enquête longue distance 2019.
- Di Maria, A., Snellings, R., Alaerts, L., Quaghebeur, M., Van Acker, K. (2020), Environmental assessment of CO2 mineralisation for sustainable construction materials, Int. J; Greenh. Gas Control 17, 32-45.
- European Commission (2020), Circular Economy Action Plan.
- European Commission (2019), The European Green Deal.
- Idir, R. & Ben Fraj, A. (2019) Environmental analysis of recycled aggregates concrete considering some ways to improve their impact: A case study of Paris' region, Proceedings of the International Workshop CO2 Storage in Concrete – CO2STO2019, France, Marne La Vallée, IFSTTAR, June 24-25 2019.
- Idir, R., Feraille, A., Serres, N. & Braymand, S. (2015). Evaluation environnementale du béton de granulats recyclés, rapport PN recybeton.
- Izoret L., Barnes-Davin L., Jeong J., Guillot X., Fastcarb retour d'expérience des démonstrateurs industriels, GC'2021.
- Jolliet, O., Saadé-Sbeih, M., Crettaz, P., Jolliet-Gavin, N., Shaked, S. (2017) Analyse du cycle de vie, Comprendre et réaliser un écobilan, 3ème édition, PPUR.
- Mongear, L., Dross, A. (2016) La ressource en matériaux inertes recyclables dans le béton en France, rapport du PN RECYBETON.
- Mousavi, M., Ventura, A. & Antheaume, N. (2020), Decision-based territorial life cycle assessment for the management of cement concrete demolition waste, Waste Management & Research, 38(12):1405-1419.
- Tazi, N., Idir, R., Ben Fraj, A. (2020), Sustainable reverse logistic of construction and demolition wastes in French regions: Towards sustainable practices, Procedia CIRP 90:712–717
- UNPG (2017), Module d'information environnementale de la production de granulats à partir de roches massives
- UNPG (2017a), Module d'information environnementale de la production de granulats à partir de roches massives
- UNPG (2017b), Module d'information environnementale de la production de granulats à partir de roches meubles
- UNPG (2017c) Module d'information environnementale de la production de granulats recyclés