

Projet de recherche et développement



Stockage de CO₂ par carbonatation du béton recyclé

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

Analyse de la filière et jeu d'acteurs

Auteur(s) / Organisme(s) :

LEMAGNANT M. - CSTB

Thème de rattachement :

Thème 2.3

FCARB/R/001

LC/18/FCARB/01

Décembre 2019

Site internet : www.fastcarb.fr

Plateforme collaborative : www.omnispace.fr/fastcarb

Président : Raoul de PARISOT

Directeur : Jean-Michel TORRENTI

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

Projet FastCarb

GT2.3 Analyse de la filière et jeu d'acteurs

15/07/2019 – Marie LEMAGNANT

Relecture : Yacine BENNOUNA





Projet FastCarb

GT2.3 Analyse de la filière et jeu d'acteurs

TABLE DES MATIERES

Abréviations	5
Remerciements	7
Introduction	9
I. Cartographie actuelle du jeu d'acteurs	11
1. Enjeux actuels de la filière béton	11
2. Organisation de la filière béton	13
3. Cartographie de synthèse	19
II. Transformations potentielles de la chaîne de valeur suite à l'introduction d'un procédé de carbonatation accélérée du béton recyclé	22
1. Contraintes réglementaires	22
2. La modification du jeu d'acteurs.....	24
3. La mise en place d'incitations	27
III. Les opportunités et obstacles liés à l'introduction de la carbonatation accélérée du béton recyclé.....	28
1. Aspect réglementaire	28
2. Aspect technique	30
3. Aspect économique	31
4. Aspect logistique.....	33
5. Aspect organisationnel.....	34
6. Aspect culturel	36
7. Matrice SWOT de synthèse	37
Conclusion	39
Annexe : Questionnaire	41
Références.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cartographie de la filière "béton"	21
Figure 2. Application du béton à base de granulats recyclés sur différentes parties d'un bâtiment (Recybéton, 2017)	23
Figure 3. Freins réglementaires	29
Figure 4. Freins techniques	30
Figure 5. Freins économiques	31
Figure 6. Freins logistiques	33
Figure 7. Freins organisationnels	35
Figure 8. Freins culturels	36
Figure 9. Matrice SWOT relative à l'introduction de la carbonatation accélérée.....	38

Abréviations

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ATILH : Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques

BPE : Béton Prêt-à-l'Emploi

BTP : Bâtiment Travaux Publics

CAPEB : Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment

CERIB : Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

DHUP : Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages

ETS : Emission Trading Scheme

FIB : Fédération de l'Industrie du Béton

GN : Granulat Naturel

GR : Granulat Recyclé

ICPE : Installation Classée Pour l'Environnement

IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes

ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux

MOA : Maîtrise d'Ouvrage

MOE : Maîtrise d'œuvre

MTep : Million de Tonnes équivalent pétrole

MTES : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

PN : Projet National

R&D : Recherche & Développement

SFIC : Syndicat Français de l'Industrie Cimentière

SNBPE : Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi

SOeS : Service de l'Observation et des Statistiques

TGAP : Taxe Générale sur les Activités Polluantes

TP : Travaux Publics

UNICEM : Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction

UNPG : **Union** nationale des producteurs de granulats

Remerciements

Une vingtaine d'entretiens ont été menées pour construire ce rapport. Les personnes ayant accepté d'accorder de leur temps pour répondre aux questions sont chaleureusement remerciées :

- Madame Laury BARNES-DAVIN, Directrice département R&D, Vicat
- Madame Audrey BERTRAND, Ingénieure Économie Circulaire, Yprema
- Monsieur Raphaël BODET, Chef du service Affaires Techniques, UNPG
- Monsieur Laurent CATRICE, Chargé de mission déchet, Ile-de-France
- Monsieur Christian CLERGUE, Directeur du Département Innovation-Représentation-Matériaux, Eiffage Génie Civil
- Monsieur Christophe CHARRON, Responsable du Centre Technique National Le LAB & et des solutions clients, Eqiom
- Monsieur Didier COLLONGE, Responsable Environnement, LafargeHolcim
- Monsieur Hector CUADRADO, Ingénieur Recherche et Développement, CMEG
- Monsieur Amaury CUDEVILLE, Directeur développement, Clamens
- Monsieur Marc DAURA, Développement du marché des collectivités, Aktid
- Monsieur Nicolas DECOUSSER, responsable du Pôle Evaluations Environnementales, CERIB
- Madame Sophie DECREUSE, Directrice Produits et Qualité National à CEMEX et présidente de la commission « Technique », UNPG
- Monsieur Florent DUBOIS, Ingénieur développement technique du marketing, LafargeHolcim
- Madame Aïcha EL KHAMLICHI, Ingénieure Captage, Stockage et Valorisation du CO2, ADEME
- Monsieur Gérard FERRO, Gérant du Groupe Esterel
- Monsieur Xavier GUILLOT, Responsable coordination normes, LafargeHolcim
- Monsieur Mathieu HIBLOT, Secrétaire général de l'UNPG
- Monsieur Laurent IZORET, Directeur Délégué Produits et Applications, ATILH
- Monsieur Guillaume JAMET, Responsable développement durable, Bouygues Immobilier

- Monsieur François de LARRARD, Directeur scientifique R&D, LafargeHolcim
- Monsieur Olivier LEGONIN, Sous-directeur du Développement et de l'Habitat, Habitat 76
- Monsieur François Régis MERCIER, Directeur Régional Matériaux Industries, Eurovia
- Monsieur Sébastien NERVA, Responsable du service innovations, EPARMARNE
- Monsieur Raoul de PARISOT, Ex-directeur général délégué, Vicat et président du projet FastCarb
- Monsieur Philippe PELLEVOISIN, Directeur technique et innovation, COLAS
- Monsieur Pierre PIMIENTA, Chef de division Mécanique et Résistance Feu adjoint, CSTB
- Monsieur Jean-Marc POTIER, Chargé de mission technique, SNBPE
- Monsieur Patrick ROUGEAU, Directeur de la Division Matériaux et Technologie du Béton, CERIB
- Monsieur Mickaël THIERY, Chef du bureau de la performance environnementale des bâtiments et de l'animation territoriale, DHUP
- Monsieur Jean-Michel TORRENTI, Directeur délégué du département Matériaux & Structures, IFSTTAR et directeur du projet FastCarb
- Madame Anne VENTURA, Chercheure, IFSTTAR

Introduction

En 2014, les déchets du BTP représentaient 227,5 millions de tonnes de déchets. Le secteur du bâtiment comptabilise à lui seul 42,2 millions de tonnes de déchets, dont 75% sont des déchets inertes. De plus, ce secteur représente environ 45 % des consommations d'énergie finale en France (67,7 Mtep en 2014) contre 33% pour les transports et 19% pour l'industrie, et cette part n'a cessé d'augmenter sur la période 1970-2014 (SOeS, 2017). C'est donc un secteur au centre des enjeux de politique publique en lien avec le changement climatique - épuisement des ressources fossiles, dérèglements climatiques et crise écologique.

En France, 17 millions de tonnes de déchets inertes sont à base de béton uniquement (Recybéton, 2017).

Sur les 227,5 millions de tonnes de déchets gérés en 2014 par les établissements du BTP, 57 % sont directement réutilisés ou recyclés. Cette proportion s'élève à 61 % pour les déchets inertes, ce qui représente une augmentation de + 12 points par rapport à 2008 (SOeS, 2018). A titre indicatif, il y a dix ans, la Suisse en recyclait déjà 86% (Canton de Vaud, 2007). Le volume de déchets générés par la déconstruction des bâtiments et infrastructures en fin de vie est amené à augmenter, entraînant ainsi le volume de déchets en béton.

Actuellement, les déchets inertes de démolition sont soit recyclés en remblaiement routier soit mis en centre de stockage. Toutefois, le gisement est tel que toute l'industrie du BTP, et spécifiquement dans cette étude, le secteur du bâtiment, se doit de trouver des alternatives aux voies de valorisation actuelles pour répondre aux défis environnementaux et socio-économiques. La carbonatation accélérée pourrait constituer une des solutions, permettant la captation du CO₂ au sein des GR¹, et ainsi de répondre aux trois objectifs principaux du projet FastCarb: (i) améliorer la qualité des granulats de béton recyclé pour conserver des ressources naturelles, (ii) capter des émissions de CO₂ qui participent au réchauffement climatique, (iii) réduire l'empreinte carbone des bétons,

Le projet FastCarb est porté par 21 partenaires, établissements publics, industriels, laboratoires, centres de recherche privés, bureaux d'études et maîtres d'ouvrage. Il a pour objectif de montrer que l'on peut stocker une quantité importante de CO₂ dans les granulats de béton recyclé, ce qui aura pour conséquence d'améliorer les propriétés de ces derniers et de diminuer l'impact environnemental des bétons fabriqués avec ces granulats traités.

Ce livrable concerne l'analyse de la filière et du jeu d'acteurs. Il devrait permettre de mieux comprendre l'organisation de la filière « béton », d'analyser le rôle des principaux acteurs concernés, et d'expliquer comment ces relations stratégiques pourraient évoluer à terme si un/des procédé(s) de carbonatation accélérée s'avérai(ent) viable(s) tant sur les plans environnementaux qu'économiques.

Afin d'apprécier les relations entre les acteurs de la filière béton et les évolutions induites par l'introduction d'un nouveau procédé de carbonatation accéléré du béton recyclé, une vingtaine d'entretiens ont été menés avec des acteurs de construction. La filière construction se définit

¹ Dans le présent rapport, on entend par Granulat Recyclé, ceux contenant au moins 90% de béton et matériaux rocheux

comme « la succession d'activités articulées entre elles, allant en amont, de la production des matériaux de construction et du matériel de BTP à, en aval, la livraison et la gestion des produits du bâtiment et du génie civil, le centre étant constitué par les entreprises du BTP et les services qui leur sont liés. »² Lors de ces entretiens, vingt-neuf personnes ont été interrogées, parmi lesquelles des fournisseurs de granulats, des cimentiers, des producteurs de béton, des gestionnaires de plateformes de recyclage, des entreprises de construction, des grands maîtres d'ouvrages ainsi que des chercheurs, des syndicats et des acteurs institutionnels. Les sujets abordés regroupent les enjeux actuels de la filière « béton », les opportunités et freins liés à la carbonatation accélérée, la prise en charge du procédé ainsi que le surcoût vraisemblable de celui-ci, la capacité du marché à gérer l'augmentation de la demande en granulats recyclés et carbonatés et l'intérêt vis-à-vis des politiques publiques.

Dans un premier temps, l'étude tentera d'identifier comment les acteurs de la filière béton se positionnent et les interactions qui les lient. Puis, il s'agira de repérer en quoi des évolutions des conditions de la demande (montée des exigences environnementales de la part des maîtres d'ouvrage, contraintes réglementaires...) et de l'offre (évolutions techniques liées aux procédés de carbonatation) peuvent modifier les équilibres en place et notamment le jeu d'acteurs précédemment identifiés et la répartition de la valeur ajoutée. Enfin, une analyse SWOT (Forces, Faiblesses Opportunités Menaces) permettra de repérer tant les freins ou obstacles potentiels que les leviers au développement de ce procédé innovant.

² Carassus (1987) « Economie de la filière de construction ». Pp. 17. Paris : Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.

I. Cartographie actuelle du jeu d'acteurs

1. Enjeux actuels de la filière béton

Interrogés sur les enjeux forts du béton, les acteurs ont mis en exergue deux principales problématiques. La première est la recyclabilité et la valorisation des déchets. Celles-ci sont directement corrélées à l'économie circulaire et à la nécessité d'utiliser de plus en plus des granulats recyclés (GR) en substitution de granulats naturels (GBN). D'un côté, la maîtrise et la préservation des ressources naturelles sont des objectifs forts que le marché français a encore du mal à mettre en application étant donné qu'il n'y a pas encore d'épuisements de celles-ci. De l'autre, l'augmentation de centres de recyclage et de points de collectes auprès de chantiers urbains permettrait un meilleur maillage du territoire, la proximité étant de mise lors de la décision d'orientation des déchets vers le recyclage, le stockage ou la valorisation.

La seconde problématique est l'impact carbone, de plus en plus au centre des préoccupations avec l'arrivée du label E+C-. Ce label est l'une des concrétisations de la démarche engagée dans le cadre de la loi de transition énergétique pour la croissance verte, et vise à généraliser les bâtiments à énergie positive et à faible empreinte environnementale. Or, les indicateurs d'analyse de cycle de vie (ACV), de consommation d'énergie et d'émission de CO₂ du béton sont élevés, ce qui est en grande partie lié à la fabrication du ciment. En effet, la température requise pour faire du clinker (constituant indispensable du ciment) atteint les 1400°C, et la transformation de certaines matières premières utilisées (ex : le calcaire) engendrent l'émission de 0,7 tonne de CO₂ pour chaque tonne de ciment produite (bilan GES de l'ADEME, 2017³). C'est pourquoi valoriser le ciment en montrant qu'il peut devenir un puits de carbone pourrait constituer une bonne réponse aux enjeux environnementaux. En effet, s'il semble difficile, voire impossible actuellement, de cesser d'utiliser du ciment, une solution technique intéressante pour baisser ses émissions pourrait être de capter directement à la fin du processus, le CO₂ émis au début. Toutefois, pour que le procédé soit viable d'un point de vue environnemental, il est indispensable de s'assurer que la technologie permette de capter efficacement du CO₂ sans en émettre autant ou plus qu'elle n'en capte.

Quelques solutions de captage, stockage ou utilisation de carbone ont déjà été testées telles que :

- La captation aux amines,
- Le stockage profond du CO₂
- La production de micro-algues.
- La transformation du CO₂ en méthanol, produit de base pour l'industrie chimique

³ [http://www.bilans-
ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm#ciments_chaux_platres_bet.htm](http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm#ciments_chaux_platres_bet.htm)

Toutefois, elles sont souvent très coûteuses ou très compliquées à mettre en place sur une échelle industrielle et de ce fait peu développées. A titre d'exemple, nous pouvons citer le projet de stockage carbone du BRGM⁴ Un autre défi pour la filière béton est d'améliorer son image notamment en comparaison d'autres filières telles que la filière du bois, qui jouit d'une meilleure image en matière d'impact environnemental notamment. Certains maîtres d'ouvrage cherchent donc ainsi à limiter l'usage du béton pour utiliser, par exemple, des ossatures bois à la place (Ile de France, communication personnelle).

Par ailleurs, en considérant les perspectives de fin de vie des bâtiments dans les décennies à venir, on estime qu'il faudra déconstruire au moins 90 millions de tonnes de béton par an dans les 70 ans à venir, soit 70 millions de tonnes supplémentaires par rapport à la moyenne annuelle actuelle, ce qui représente un enjeu très fort pour la filière (IFSTTAR, communication personnelle). En effet, la production actuelle de béton prêt pour l'emploi (BPE) est de 36,3 millions de mètres cubes par an, soit 91,5 millions de tonnes de BPE par an (FIB, 2017), contre seulement 20 millions de démolition actuelle pour le béton seul.

Enfin, le projet FastCarb apportera de l'objectivité concernant la question de la reprise du CO₂ par le béton en général, dans les calculs d'analyses de cycle de vie (ACV) et lors de la réalisation de bilans environnementaux en particulier. Il est à noter cependant qu'il existe depuis octobre 2018, une norme de calcul de captation et carbonatation du CO₂ par le béton : carbonatation and CO₂ uptake by concrete CEN / TR17310.

Le sujet de la recarbonatation de granulats de béton recyclé est un sujet de recherche qui intéresse de plus en plus le secteur du bâtiment⁵. Les premières publications menées sur ce thème mettent en avant un double avantage à ce procédé : les granulats recyclés pourraient stocker du CO₂ par carbonatation, et simultanément obtenir de meilleures caractéristiques constructives et ainsi constituer une possibilité de réemploi très intéressante à de multiples égards, pour la construction. En particulier, ce procédé représenterait une alternative économique réaliste au procédé de séquestration industrielle du CO₂ (Jang et al., 2016).

Ce premier projet français sur la carbonatation accélérée pourrait donc profiter à toute la chaîne de valeur du béton en trouvant une véritable valeur ajoutée aux granulats de béton de granulats recyclés. Plus de la moitié des personnes interrogées ont participé au projet national Recybéton et considèrent le projet FastCarb comme une des suites logiques. Cela témoigne d'une certaine volonté de développement de la filière des granulats recyclés. Un des acteurs justifie sa motivation pour rejoindre ce projet par le devoir d'implication en tant que leaders du bâtiment, tandis que trois autres expliquent que leur démarche s'inscrit plutôt dans la continuité d'un engagement actif dans le recyclage. FastCarb fait en effet converger les problématiques d'économie circulaire et de valorisation du CO₂, deux enjeux forts de la filière « béton » cités précédemment.

⁴ <http://www.brgm.fr/projet/couplage-reussi-stockage-co2-geothermie>

⁵ Lagerblad B, "Carbon dioxide uptake during concrete life cycle – State of the art", CBI report 2:2005.

2. Organisation de la filière béton

Afin de mieux comprendre l'impact que pourrait avoir la mise en application de la carbonatation accélérée sur la filière, il est intéressant de décomposer la filière par acteurs. Une description de chaque entité, de ses principales interactions, de sa concurrence potentielle et de son implication dans le recyclage et le développement durable sont donc décrits ci-dessous.

i. Maîtrises d'ouvrage et d'œuvre

La maîtrise d'ouvrages, notée MOA, est l'entité porteuse d'un besoin, qui définit l'objectif, le calendrier et le budget du projet. Elle est à l'origine de l'idée du projet et représente les utilisateurs finaux et/ou l'entité qui réceptionnera l'ouvrage. Ainsi, la MOA se doit de définir clairement son expression de besoin et de donner un avis lors de la réception de l'ouvrage, mais n'a pas forcément besoin de compétences techniques liées à la réalisation de celui-ci.

Il existe, comme dans la plupart des filières, deux types de maîtres d'ouvrage dans la filière « béton » :

- Les maîtres d'ouvrage publics qui appliquent le code des marchés publics et qui doivent passer par une procédure d'appels d'offre pour le choix du maître d'œuvre et/ou des entreprises de construction
- Les maîtres d'ouvrages privés, personne physique et morale qui passent commande par contrat de droit privé avec une ou plusieurs entités parmi celles citées plus haut

Il est ressorti des entretiens que la commande publique pourrait entraîner la commande privée. Les acteurs interrogés seraient donc favorables à ce que les maîtres d'ouvrage publics impulsent de nouvelles exigences environnementales.

Avant de contacter les entreprises de construction, la maîtrise d'ouvrage fait appel à un concepteur faisant partie de la maîtrise d'œuvre. Celui-ci conçoit l'ouvrage, dirige et s'assure de la bonne exécution des travaux et peut être représenté par des architectes, des ingénieurs ou encore des bureaux d'études techniques.

A ce jour, il n'y a pas encore de demandes fortes en termes de matériaux recyclés de la part de la maîtrise d'ouvrage. Il a même été souligné pendant les entretiens que certains maîtres d'ouvrage interdisent le recours aux matériaux recyclés, explicitant leurs besoins en termes de matériaux naturels uniquement. Pour autant, la maîtrise d'ouvrage a un rôle central à jouer dans la mutation du marché et dans la montée des exigences environnementales.

Peu à peu cependant de plus en plus de MOA intègrent des approches environnementales telles que les procédés de déconstruction sélective, de réemploi et de recyclage avec un diagnostic ressource permettant d'identifier tous les matériaux présents, leurs qualités et de trouver ainsi une source intéressante de valorisation. Des critères précis peuvent être explicités dans les contrats quant aux taux de recyclés, types de matériaux à utiliser et localisation des gisements (par exemple, rayon inférieur à 25 km). Même si le réemploi et le recyclage ne sont pas encore systématisés parmi les produits de déconstruction et de démolition, le label BBCA, à titre d'exemple, intègre des cibles sur le stockage carbone et l'économie circulaire, appelées « points innovation climat », et la nouvelle réglementation thermique 2020 incitera les maîtrises d'ouvrage à intégrer des objectifs d'énergie et de carbone.

En particulier, les personnes interrogées lors des entretiens ont exprimé une demande forte vis-à-vis des maîtres d'ouvrages publics, en faveur d'une exemplarité environnementale et d'une plus grande clarté dans la caractérisation de ses exigences, notamment dans le cadre des appels d'offre.

ii. Fournisseurs de granulats

Les producteurs de granulats extraient dans des carrières, des roches naturelles susceptibles de fournir des granulats les criblent et les concassent afin d'obtenir des sables, des gravillons et des graves. Ceux-ci sont vendus à des clients potentiels, dont des entreprises productrices de béton et sont acheminées par voie routière, ferroviaire ou fluviale. Il est indispensable pour les producteurs de granulats, d'avoir un bon maillage du territoire afin que le transport de granulats ne soit pas trop coûteux. Il est estimé qu'en moyenne, la distance pour laquelle il serait économiquement rentable de transporter les granulats est de 32 km pour la route (74% du transport), 97 km pour le fleuve et jusqu'à 194 km pour le fer (26% du transport) (UNPG, 2012).

Les fournisseurs de granulats peuvent aussi détenir leurs propres plateformes de recyclage, produisant des granulats à partir des déchets du BTP. Une grosse part de leur marché est représentée par les entreprises de la construction routière, qui utilisent actuellement beaucoup plus de granulats recyclés que le bâtiment. L'UNPG (2012) évalue le besoin annuel en granulats dans le BTP à 383 millions de tonnes, dont 300 pour le génie civil travaux routiers et infrastructures. Ces granulats peuvent former des couches de forme, des couches d'assises et chaussées et/ou être utilisés pour la production de béton. Par ailleurs, on évalue à 14 millions de tonnes le béton réellement disponibles (après soustraction des 3 millions de tonnes réutilisées sur chantier) issu de la démolition.

Or, cette quantité importante de déchets de béton échappe en grande partie au secteur du bâtiment. Une partie de ce béton, de très bonne qualité, serait mieux employé dans la fabrication de nouveaux bétons plutôt que d'être utilisé par les Travaux Publics, qui n'ont pas obligatoirement besoin de granulats de haute qualité et pourraient utiliser d'autres matériaux plus adaptés. Dans l'hypothèse d'une plus grande utilisation des granulats recyclés ou carbonatés dans le bâtiment, ces mêmes entreprises de TP pourraient être, davantage, amenées à valoriser d'autres matériaux comme les mâchefers, dans la limite imposée par l'arrêté du 18 novembre 2011 relatif au recyclage en techniques routières des mâchefers d'incinération de déchets non dangereux.

Pour répondre à la demande croissante en GR, les principaux acteurs, producteurs de granulats, grands groupes de TP sont amenés à intégrer le recyclage dans leur stratégie.

Cependant, selon des représentants d'un fournisseur de granulats, d'une entreprise TP et d'une plateforme de recyclage, les propriétaires de carrières qui investiront dans le recyclage auront un avantage compétitif indéniable pour l'évolution de la filière du « béton », les granulats naturels restant une référence pour réaliser du béton de structure. En outre, les granulats recyclés ne pourront pas couvrir toute la demande du fait d'un trop faible gisement.

Le producteur de granulats a donc un rôle central à jouer dans le développement du recyclage, mais aussi dans la limitation des décharges illégales.

iii. Cimentiers

La production de ciment est une étape très importante dans la filière, étant donné que le ciment est, avec les granulats, l'autre composant principal du béton. Cette industrie lourde a une forte intensité capitalistique. Cette branche est marquée par une forte concentration d'entreprises. Ainsi, en 2016, la filière du ciment en France est constituée de 12 entreprises dont 5 réalisent 95% de la production⁶.

La proximité entre cimenteries et clients est de mise pour éviter des transports onéreux, c'est pourquoi les cimentiers disposent d'un bon maillage du territoire, hormis dans les régions des Vosges, du Jura et du Massif Central. Par ailleurs, les cimentiers investissent dans les pays émergents à fort potentiel de croissance, stratégie principalement motivée par la nécessité de maintenir un niveau de compétitivité élevé face à la concurrence.

La concurrence naît au niveau local, entre acteurs locaux, dont la totalité de la chaîne de valeur est située sur le territoire et des entreprises internationales (broyeurs ou importateurs indépendants) qui bénéficient de clinker ou de ciment importés de zones aux contraintes réglementaires moins exigeantes. Par ailleurs, les premiers peuvent faire valoir les liens noués avec les clients locaux tandis que les seconds mettent en avant leur réputation internationale. Toutefois, la filière ne souffre pas de la venue de nouveaux entrants, les besoins en capitaux et l'investissement de départ étant extrêmement lourds. Enfin, à ce jour, il n'existe pas de produits de substitution au ciment, rendant ce produit incontournable dans le domaine du BTP. À noter cependant qu'il existe plusieurs importateurs de clinker ou de ciment qui sont en concurrence directe avec les cimentiers intégrés.

Le développement durable a été intégré de manière proactive par cette filière, avec la mise en place dès 1999 d'un programme d'actions « L'initiative ciment pour le développement durable », en collaboration avec le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). De façon croissante, l'industrie cimentière a recours aux combustibles alternatifs de proximité, et à la valorisation, à diverses étapes de son procédé de fabrication, de déchets minéraux d'autres industries locales (SFIC, 2015).

En développant des programmes de recherche et de développement conséquents, dans le domaine du développement durable, les cimentiers travaillent constamment à la réduction des émissions de CO₂ issues de leur activité, ce qui constitue un avantage concurrentiel indéniable. En effet les investisseurs, conscients des enjeux environnementaux font pressions sur les cimentiers pour atteindre la neutralité carbone en 2050, à travers une lettre ouverte écrite à l'attention de 100 entreprises du secteur, donc Holcim, Saint Gobain, dans le cadre du climateaction⁷.

Ainsi, les cimentiers sont, a priori, les acteurs les plus favorables à la mise en application de la carbonatation accélérée. En effet, la haute consommation d'énergie et les fortes émissions de CO₂ lors de la fabrication du ciment placeraient les cimentiers dans une situation très

⁶ Source : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3589283#titre-bloc-1>

⁷ Source : <https://climateaction100.wordpress.com/companies/>

vulnérable si le coût de l'énergie et le coût des quotas de CO2 dont le rôle est primordial venait à croître de manière importante.

iv. Producteurs de béton

Pour produire du béton prêt-à-l'emploi (BPE) ou bien préfabriqué, les producteurs interagissent avec d'autres acteurs de la filière afin de s'approvisionner en ciment, eau, granulats et adjuvants. Le BPE est transporté sous une forme fluide jusqu'au chantier de construction, tandis que le béton préfabriqué permet de produire des éléments standards au niveau de la plateforme, éléments qui sont ensuite vendus et livrés aux entreprises de construction.

Suite à la crise de 2008 qui a sévèrement touché le secteur du bâtiment, le marché du BPE a fortement ralenti. Toutefois, le SNBPE a souligné une hausse de 3,6% d'évolution annuelle de sa production depuis 2016 contre des diminutions de 4,6% en 2014 et 5,3% en 2015 (SNBPE, 2017).

Les bétons BPE et préfabriqués ont deux contraintes principales : le temps et l'espace. Le premier est important pour le BPE spécifiquement car c'est un produit frais qui doit être mis en œuvre dans les deux heures qui suivent sa fabrication. De ce fait, le rayon d'action ne dépasse généralement pas les 30 km, la circulation étant dense dans les agglomérations (SNBPE, 2016). Le maillage des centrales à béton est donc un élément très important. De plus, le stockage des différentes matières premières utilisées lors de la fabrication du béton exige un espace important dans des implantations urbaines. Le nombre de cases de stockage bien défini et l'espace foncier réduit sont un frein au stockage des granulats recyclés dans une case supplémentaire. D'un point de vue économique, l'ajout d'une case pour le gravillon ou le sable de béton recyclé dans une centrale de BPE coûterait environ 15 000 euros HT (Recybéton, 2017). De plus, il n'existe qu'une très faible demande pour des bétons recyclés de la part des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre

v. Entreprises de construction

Les entreprises de constructions sont des grands groupes ou des petites entreprises locales, en charge de la réalisation des travaux. Elles sont choisies par les maîtres d'ouvrage pour réaliser un projet de construction, et ont une obligation de conseil. Elles peuvent également être en charge des études techniques et de la coordination des différents travaux, en neuf, en rénovation ou bien encore en exploitation / maintenance.

Leurs principales interactions sont avec les producteurs de béton puisque la plupart des bâtiments sont conçus avec une structure béton. Ils s'approvisionnent en BPE ou en béton préfabriqué selon leurs besoins.

Toutes les entreprises peuvent sous-traiter en partie l'exécution de leur marché (dans le cas d'un marché public), en accord avec la loi n°75-1334 du 31 décembre 1975 relative à la sous-traitance, ou en totalité (marché privé) à une ou plusieurs autres entreprises.

Le travail des entreprises de construction est contraint par la souscription d'assurances, dont notamment l'assurance responsabilité civile décennale, qui s'applique aux travaux de

construction neuve ou de rénovation. Celle-ci couvre les dommages pouvant compromettre la solidité de l'ouvrage pendant dix ans.

Comme dans le cas des cimentiers, même si les grandes entreprises de construction existantes sont en compétition, l'arrivée de nouveaux challengers dans le secteur, est ralentie par des économies d'échelle importantes et la nécessité d'une trésorerie suffisante. Les entreprises de construction étant souvent intégrées dans des groupes au périmètre plus important, le risque de pénurie de produits ou matériaux de construction en amont de la chaîne reste limité. Cependant, les entreprises de construction sont toujours en quête d'innovation, de création de nouveaux procédés et ont donc la plupart, des départements de Recherche et de Développement.

Concernant le recyclage de béton, ces entreprises dépendent directement des demandes du maître d'ouvrage. Ces demandes sont en train de se développer mais restent encore anecdotique (SNBPE, communication personnelle).

vi. Gestionnaires de plateformes de recyclage

Les plateformes de recyclage peuvent être indépendantes ou peuvent appartenir à des producteurs de granulats, produisant des granulats à partir de déchets de chantiers.

L'activité des entreprises de recyclage est de récupérer les déchets issus de la déconstruction des bâtiments et d'infrastructures et de les traiter en vue d'une utilisation ultérieure. Sur ces installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), les déchets de béton sont triés, concassés, criblés et nettoyés, créant des granulats de béton recyclé. Le prix d'entrée des déchets est décidé à l'avance et est contractuel avec les entreprises de démolition.

En 2013 et 2014, respectivement 20 et 27,7 millions de tonnes de granulats recyclés ont été produits. Ces granulats peuvent suivre des modes de valorisation différents. 80% de ces déchets sont dits « valorisés », majoritairement dirigés vers la technique routière pour former, entre autres, des couches de forme, des couches d'assises et chaussées et/ou des bétons (MTES, 2016 ; FEDEREC, 2017). A l'instar du recyclage chez les producteurs de granulats, le remblai routier est un débouché rentable qui n'incite pas à changer les habitudes et nuit au développement du recyclage dans le béton.

Pour produire le béton recyclé, les centrales à béton doivent pouvoir s'approvisionner en granulats recyclés produits sur ces plateformes de recyclage. C'est pourquoi là encore le maillage territorial est crucial pour accroître la production de béton recyclé tant au niveau des plateformes de recyclage que des chantiers de démolition et des centrales à béton (Jambou, 2015 ; Mongeard & Dross, 2016).

Les 20% restants échappent au recyclage et sont envoyés en Installation de Stockage de Déchets Inertes. Si les déchets partant en ISDI sont censés être exclusivement des déchets non valorisables, la vérité tient d'avantage d'une affaire de coût économique. En effet, il peut être plus rentable pour un démolisseur de mettre ses déchets en décharge plutôt qu'en recyclage si la décharge est moins éloignée que la plateforme et si le prix d'admission en ISDI est plus faible. Il existe également des entreprises peu scrupuleuses qui, par intérêt financier, favorisent la décharge sauvage et illégale. Par ailleurs, l'absence de tri sur chantier aboutit à des déchets en mélange, contenant une part de béton, mais difficilement valorisables car ne permettant pas d'obtenir des matériaux répondant aux normes sans un processus de tri coûteux.

Il paraît donc crucial de favoriser le tri amont sur chantier et la déconstruction au lieu de la démolition.

Le recyclage du béton représente aujourd'hui un surcoût selon les personnes interrogées. Il coûte parfois plus cher aux entreprises de déconstruire que de démolir car cela requiert plus de temps, une logistique spécifique et une qualification des opérateurs plus élevés (ADEME, 2016). La plupart des acteurs soulignent le manque de structuration de la filière et estiment qu'à terme, le recyclage deviendra une activité plus compétitive.

3. Cartographie de synthèse

Le schéma ci-dessous représente les différents acteurs de la filière « béton », en amont soit dans la phase de construction et en aval, en phase de déconstruction. Les interactions sont représentées par des flèches entre les différents acteurs. Les potentiels conflits d'intérêts sont aussi symbolisés par les flèches oranges.

Dans la partie aval, les différents modes de valorisation sont présentés : réemploi, recyclage, remblaiement de route, remblaiement de carrière, stockage ou même décharge illégale. Dans le projet FastCarb, l'objectif de développer le recyclage du béton pour fabriquer du nouveau béton.

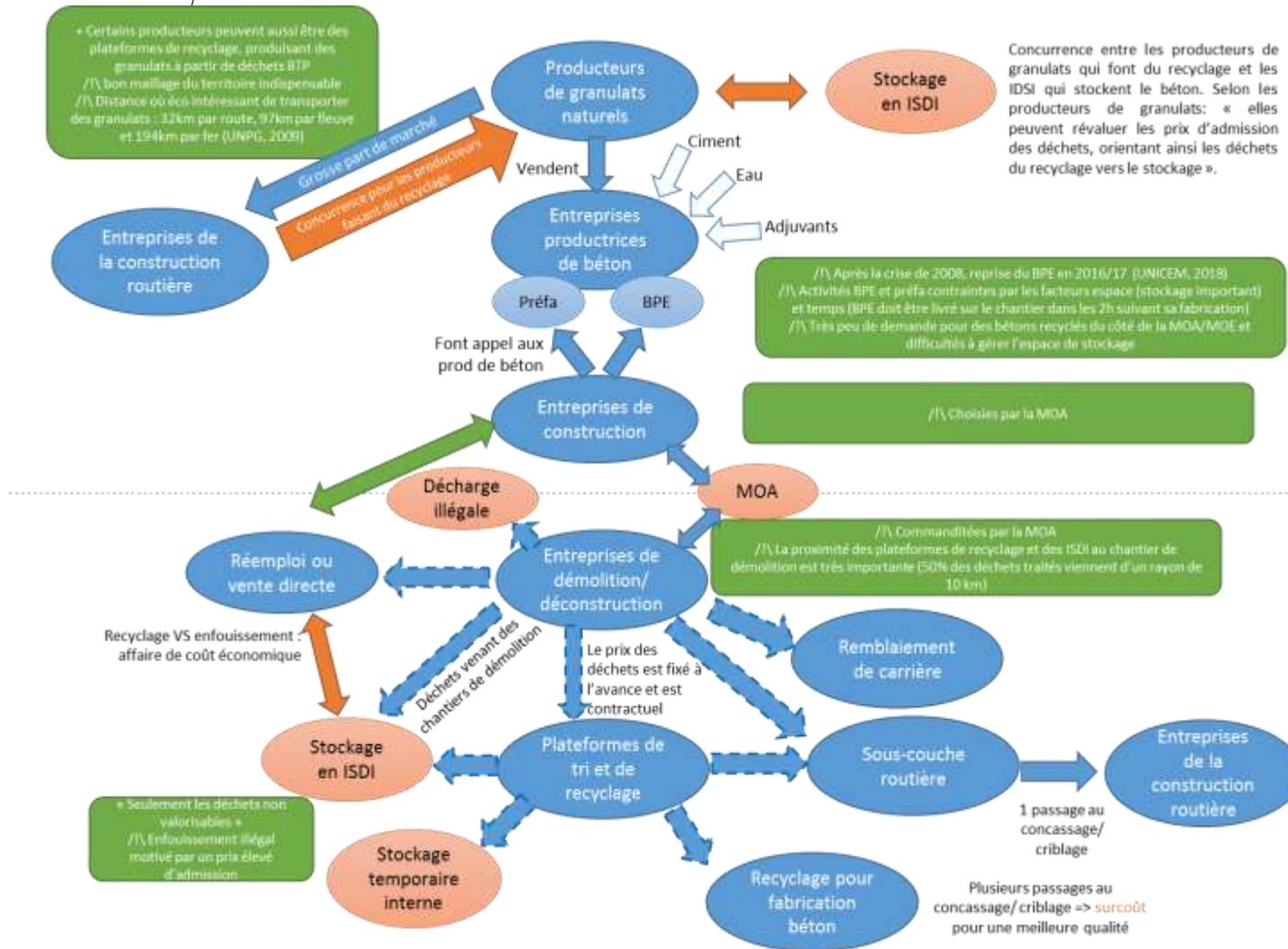


Figure 1. Cartographie de la filière "béton"

Sources : selon l'auteur et UNICEM (2018) : <http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/lmc-n69-janvier-2018.pdf>

II. Transformations potentielles de la chaîne de valeur suite à l'introduction d'un procédé de carbonatation accélérée du béton recyclé

L'introduction du procédé de carbonatation accélérée pourrait avoir différentes conséquences sur la chaîne de valeur du béton. Les équilibres en place et interactions identifiés précédemment pourront être modifiés selon l'entité qui prendra à sa charge le procédé, et celle à laquelle sera attribué les émissions de CO₂. Les différentes réglementations sont également à étudier car elles peuvent constituer autant un facteur d'augmentation de l'offre, incitant certaines pratiques environnementales, qu'une contrainte supplémentaire à l'utilisation de recyclés.

1. Contraintes réglementaires

Tous les enjeux de la filière béton évoqués dans le §I.1. sont renforcés à travers la Loi Croissance Verte et Transition Énergétique du 17 août 2015, qui confirme l'ordonnance de 2010 : « Au plus tard en 2020, l'Etat et les collectivités territoriales s'assurent qu'au moins 70 % des matières et déchets produits sur les chantiers de construction ou d'entretien routiers dont ils sont maîtres d'ouvrage sont réemployés ou orientés vers le recyclage ou les autres formes de valorisation matière » (art. 79). De plus, en application de la directive européenne 2008/98/CE, les déchets inertes issus des chantiers publics routiers devront être réemployés ou recyclés dans les ouvrages de l'Etat et des collectivités territoriales ou orientés vers les autres formes de valorisation matière, à hauteur de 60% dès 2020. En 2017, il a été estimé que la moitié de l'ensemble des déchets BTP ont été valorisés, dont seulement 30% de matériaux non dangereux issus de second œuvre (Ministère de Transition écologique et solidaire, 2018 ; BTP Consultants, 2017). Pour atteindre ces objectifs, le secteur du bâtiment doit modifier ses pratiques de démolition et de déconstruction, ses méthodes de travail et de gestion de chantier. Cette contrainte pourrait être transformée en opportunité de développement commercial si des synergies naissent entre les industriels, les démolisseurs, les territoires et l'ensemble de l'écosystème d'acteurs concernés par la construction. Dans le cadre de FastCarb, ce pourcentage de valorisation pourrait inciter le développement de la carbonatation accélérée, qui permettrait d'augmenter le pourcentage de valorisation matière, et par la même occasion d'augmenter le taux de recyclage et baisser le taux de remblaiement.

De plus, l'article L. 541-4-3, transposition en Droit français de la directive cadre Déchets du 19 novembre 2008 définit qu'« un déchet cesse d'être un déchet après avoir subi une opération de valorisation, notamment de recyclage ou de préparation en vue de la réutilisation, s'il répond à des critères remplissant l'ensemble des conditions suivantes : la substance ou l'objet est couramment utilisé à des fins spécifiques, il existe une demande pour une telle substance ou objet ou elle répond à un marché, la substance ou l'objet remplit les exigences techniques aux fins spécifiques et respecte la législation et les normes applicables aux produits, son utilisation n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine ». Cette directive introduit donc la possibilité pour un déchet de devenir un produit et ainsi faciliter sa réutilisation. Toutefois, elle est controversée en France car la démarche européenne a été transformée en deux démarches françaises. La première, qui a une logique « produit », souligne la possibilité officielle et juridique permettant l'obtention du statut de produit, tandis que la seconde promeut le refus de changement de statut en gardant une logique déchet.

Plusieurs acteurs interrogés expliquent que la sortie du statut de déchets permettrait de simplifier les flux.

Depuis une vingtaine d'années, la filière béton s'investit dans le recyclage des granulats issus des bétons de déconstruction, notamment par la création d'une branche recyclage au sein de l'UNPG dès le début des années 90. Cet engagement a permis de faire évoluer le contexte normatif, et spécifiquement :

- Les normes granulats NF EN 12620 de juin 2008 et NF P18-545 de septembre 2011 qui spécifient les caractéristiques et les propriétés des granulats recyclés ;
- La norme béton NF EN 206/CN de décembre 2012 qui autorise l'utilisation de granulats recyclés issus de la déconstruction pour la fabrication de bétons (FIB, 2013) ;
- Le projet national Recybéton, dont le guide de recommandations devrait être publié fin 2018, pourrait à son tour faire évoluer les normes.

Enfin, pour conclure sur les aspects réglementaires favorisant la carbonatation accélérée, la révision de la norme ISO 21930 : 2017 « Développement durable dans les bâtiments et les ouvrages de génie civil » prend en compte les impacts environnementaux pendant la production, l'utilisation et la fin de vie la carbonatation naturelle, incluant la carbonatation naturelle. Les indicateurs de potentiel de réchauffement global doivent donc prendre en compte l'absorption de CO₂ dans les analyses de cycle de vie. Il est à noter également que la norme NF EN 15804 le prend en compte également.

La norme NF EN 206 CN, quant à elle, est une contrainte réglementaire spécifique aux granulats de béton. Elle stipule le pourcentage de granulats recyclés qu'il est possible d'inclure dans du béton selon la classe de résistance et la partie du bâtiment (Figure 1). Les acteurs de la filière se rejoignent presque tous pour dire que la réglementation actuelle sur le taux de recyclé pénalise le recyclage. Toutefois, dans l'étude de faisabilité du projet Recybéton (2011), il est argumenté que les freins proviennent plus de l'absence de guides de recommandations que de l'exigence de dispositions restrictives et qu'il est nécessaire de disposer de recommandations encadrant l'utilisation des granulats recyclés selon la destination des bétons produits avec ces granulats.

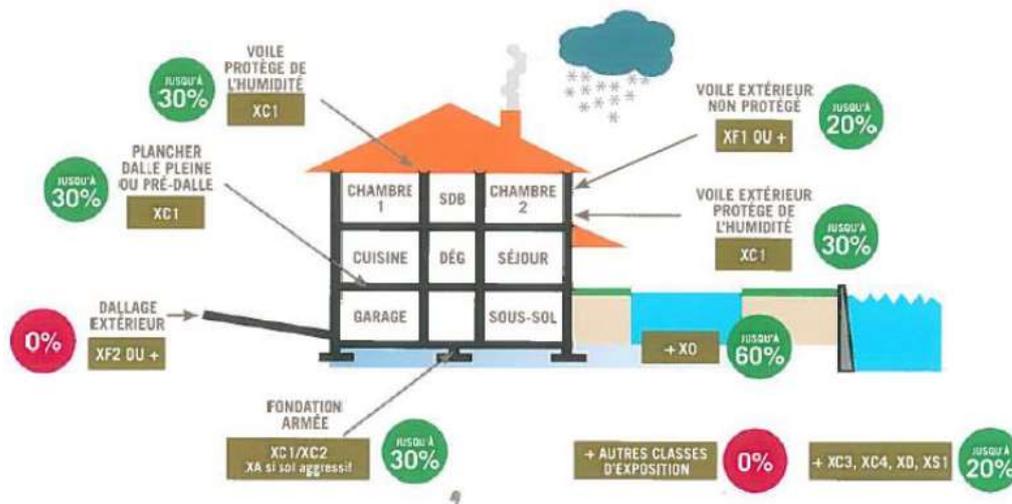


Figure 2. Application du béton à base de granulats recyclés sur différentes parties d'un bâtiment (Recybéton, 2017)

Cette idée est toutefois contestée par quelques acteurs qui expliquent que ce taux de 30% de recyclés n'est que très rarement atteint dans la construction, car les bétonniers n'ont pas d'obligation en ce sens. C'est pourquoi ils préconisent d'imposer un taux de recyclés, seul moyen selon eux, d'insuffler un réel changement. A noter toutefois, qu'une telle obligation ne serait pas sans conséquence sur le coût du béton qui augmenterait en toute vraisemblance. A noter également que le fait que les granulats ne soient pas disponibles partout pourrait remettre en cause cette préconisation.

2. La modification du jeu d'acteurs

1. Montée en compétences et prise en charge du procédé

La question de la montée en compétences est importante car elle représente un impact socio-économique découlant de la mise en œuvre de la carbonatation accélérée. En effet, cela soulève la question de savoir qui mettra en œuvre le procédé. Deux solutions semblent apparaître à première vue : la première serait d'impliquer directement un acteur existant qui développera alors un nouveau savoir-faire. La seconde serait de créer un tout nouveau métier et de voir émerger sur le marché un nouvel acteur.

Dans le premier cas, le niveau de qualification des acteurs existants devrait être amélioré, des formations dispensées pour appréhender la technologie mise en œuvre et les mesures de sécurité à prendre lors de la manipulation. Cela pourrait entraîner un surcoût important, selon les coûts d'apprentissage et de formation, toutefois bien moindre que ceux nécessaires pour développer une unité industrielle de carbonatation. Dans le second cas, de nouveaux emplois locaux pourraient être créés, ce qui aurait un impact positif sur l'emploi territorial. Le programme de recherche et d'expertise REPAR #2 (2018) révèle que plus les coûts d'apprentissage et de formation sont élevés, plus les coûts d'entrée sur le marché sont onéreux et plus il est difficile de développer la filière. A l'inverse, si les coûts d'apprentissage sont faibles, l'intégration d'individus en phase de réintégration sera favorisée.

Aucune des parties interviewées ne croit en l'arrivée d'un nouvel acteur sur le marché. La question de savoir qui parmi les différents acteurs prendra en charge le procédé de carbonatation accélérée soulève quelques doutes et des réponses diverses. En effet, de manière non exclusive, 40% des personnes interrogées considère que le procédé pourrait être pris en charge par les recycleurs, 33% par les cimentiers, 27% par les fournisseurs de granulats. 20 % par d'autres activités industrielles émettrices de CO₂ (chaufferies industrielles, municipales, incinérateurs d'ordures ménagères, de déchets de bois B ou dans les sites de production et traitement de minerais), 13% par les fabricants de béton et 6,7% par les démolisseurs .

2. Attribution du CO₂

L'attribution du CO₂ soulève une interrogation non négligeable. La dualité entre le fournisseur de gaz qui fait baisser ses émissions de CO₂ et celui qui le valorise en immobilisant le CO₂ dans ses effectifs est mise en exergue.

D'un point de vue environnemental, la norme européenne EN 15804 fournit les règles de catégorie de produits de base applicables à tous les produits et services de construction. Elle

favoriserait les producteurs de granulats, car la norme se réfère à la phase de captation du CO₂. L'intérêt serait un bonus à l'utilisation des granulats recyclés à CO₂ négatif. Toutefois, si les cimentiers investissent dans les installations de carbonatation, il semblerait logique qu'ils soient « récompensés » pour leur volonté de baisser leurs émissions de CO₂. C'est d'ailleurs une attente forte de l'industrie cimentière de pouvoir capter ce CO₂. Les cimentiers pourraient alors faire valoir le module D de la norme NF EN15804 qui exprime les « avantages et charges au-delà des frontières du système ». Le bonus pourrait être pour tout l'ensemble de la filière béton.

C'est pourquoi la légitimité de l'application de la norme 15804 dans ce contexte est questionnée. En effet, la répartition des impacts environnementaux des filières est controversée car bien souvent davantage liée à des questions d'image et des intérêts financiers. De ce point de vue, la répartition des gains devrait être différente de la répartition des impacts environnementaux.

Toutes les parties pourraient en bénéficier. D'une part, celui qui carbonate peut acquérir des matériaux béton à un prix compétitif à termes (dans l'hypothèse d'une économie intégrant les contraintes environnementales, soit via des instruments de politiques publiques ou une pression provenant des investisseurs) et aurait des bénéfices via la vente de granulats recyclés à valeur ajoutée. D'autre part, celui qui fournit le CO₂ a un bilan environnemental amélioré par la non-émission du CO₂ capté.

Une répartition des bénéfices environnementaux pourrait donc être décidée en concertation des différentes parties et sur la base des résultats de l'analyse de cycle de vie.

Si tel n'est pas le cas, une approche pragmatique serait de déterminer une allocation qui favoriserait le développement du procédé, sans pour autant lier économie et environnement. La décision publique pourrait, elle, prendre la décision de récompenser celui qui investit ou celui qui capte.

Quoiqu'il en soit, l'objectif est de trouver l'optimum de rentabilité économique et environnemental, en minimisant notamment l'impact transport, et suivant l'origine du CO₂.

Une étude d'impact, de sensibilité est donc conseillée afin de voir ce qui pourrait bénéficier à tous les acteurs de la filière béton du bâtiment.

Une attention particulière devra être accordée aux cimenteries, qui sont des installations soumises aux ETS. Un émetteur n'a pas le droit de transférer ses quotas d'émissions à un tiers. Les options des cimentiers, selon l'ADEME, sont soit de ne pas émettre plus que prévu, soit de stocker, soit de transférer le gaz vers une autre unité ETS. Si cette unité vers laquelle ils envoient n'est pas soumise aux ETS, elle le deviendrait automatiquement. Même en vendant ce CO₂, il pourrait tout de même être considéré comme émis. Pour contrer cela, il faut faire reconnaître la minéralisation comme un moyen de captation et stockage dans l'ETS. Dans la directive ETS, il est écrit « La principale incitation à long terme qu'offre la présente directive en faveur du captage et du stockage du CO₂ (CSC) [...] et des innovations décisives dans le domaine des technologies et des procédés à faibles émissions de carbone est le signal de prix du carbone qu'elle crée et le fait qu'il n'y aura pas de quotas à restituer pour le CO₂ non émis ou stocké de manière permanente. » Les cimentiers pourraient donc faire valoir la minéralisation comme « stockage permanent », ce qui constitue une incitation forte pour développer des sites de carbonatation sur les sites de cimenteries.

3. Répartition de la valeur ajoutée

La répartition est un enjeu économique majeur car tous les acteurs souhaiteraient voir leur part de marché augmenter. Le partage de la valeur ajoutée peut avoir des impacts positifs comme négatifs sur la situation économique des bénéficiaires et doit donc être traité précautionneusement.

La répartition de la valeur ajoutée va dépendre de plusieurs critères : qui prendra en charge la carbonatation accélérée, le maillage du territoire et enfin l'investissement nécessaire pour mettre en œuvre le procédé.

Il est supposé dans la partie §II.2.1. que des acteurs existants seraient en charge de la mise en œuvre de la carbonatation accélérée, mais un scénario incluant un nouvel acteur ne peut être exclus. La valeur ajoutée peut être décrite comme la richesse créée par le nouveau procédé et est par conséquent un paramètre économique. Or, la plus-value économique provient en majeure partie de l'attribution du CO₂, évoquée en §II.2.2. Elle dépendrait donc du consensus établi entre les différentes parties prenantes, l'objectif étant que toute la filière « béton » puisse bénéficier de ce procédé grâce à une répartition favorisant également l'intérêt général.

Une autre variable à considérer est le maillage du territoire et la localisation des lieux potentiels de carbonatation. En effet, que la carbonatation soit déployée par les cimentiers, producteurs de granulats, recycleurs ou autres, l'implantation des lieux de carbonatation a un rôle très important. Afin qu'un démolisseur préfère envoyer ses déchets sur un lieu de carbonatation plutôt qu'une installation de stockage, la distance chantier – lieu de carbonatation doit être faible et rentable. Ainsi, les lieux de carbonatation situés dans des milieux proches des centres urbains risqueraient d'être privilégiés par rapport à ceux dans les zones rurales. Cette localisation optimale pourrait mettre en valeur une famille d'acteurs parmi les autres, mais également créer des disparités au sein d'une même famille d'acteurs.

Enfin, si les coûts d'investissement ne sont pas encore connus, ceux-ci risquent d'être importants, comme pour tout nouveau process. Dans l'hypothèse où l'Etat n'attribuerait pas d'incitations, le coût pourrait être très élevé. Cela pourrait alors créer une inégalité entre les acteurs pouvant se permettre d'investir dans le procédé et ceux dont la trésorerie ne serait pas à même de supporter le coût malgré leur volonté. C'est pourquoi il serait conseillé de mettre en place un système incitatif afin de mettre tous les acteurs motivés pour mettre en œuvre ce procédé sur un pied d'égalité et de ne pas enrayer l'innovation (et ne pas concentrer la valeur ajoutée dans une partie réduite de la chaîne).

3. La mise en place d'incitations

La majorité des acteurs est favorable aux incitations, surtout si elles compensent l'éventuel surcoût généré par la technologie de carbonatation accélérée et qu'elles valorisent la mise en application de celle-ci. Elles sont perçues comme une alternative aux normes, un moyen potentiel de développer le marché et d'améliorer la compétitivité. Notons à ce sujet les mesures de la FREC (feuille de route économie circulaire) qui pourraient inciter la mise en place de cette filière.

D'après les entretiens, l'augmentation de la TGAP divise les acteurs. Deux acteurs pensent qu'elle pourrait être une solution, tandis que deux autres s'inquiètent de son impact sur les marchés locaux. En effet, le prix du granulat n'est pas un prix national, il existe des variations de prix selon la localisation en France. Or, la TGAP est une taxe appliquée nationalement, ce qui pourrait potentiellement perturber les équilibres économiques locaux et le développement du recyclage.

L'intégration d'un taux de granulats recyclés dans les marchés publics liés au bâtiment doit tenir compte des spécificités locales et notamment de la présence de plateformes de recyclage, de leur distance avec les centrales de BPE / les usines de préfabrication. Le rapport du projet RECYBETON qui s'est intéressé à la ressource en matériaux inertes recyclables a montré que certains territoires restaient éloignés des plateformes de recyclage. Il serait donc souhaitable d'imposer une condition de disponibilité du recyclé : si le granulat recyclé se situe au-delà de 25 km du lieu qui souhaite y recourir, une telle mesure de politique publique ne s'appliquerait pas.

Les craintes émises dans Recybéton (2017) par rapport à l'imposition d'une taxe sur la mise en décharge concernent la répartition non homogène des plateformes de recyclage sur le territoire et les coûts supplémentaires de la taxe imposés aux producteurs de déchets, sans possibilité de réorientation des déchets vers des sites de valorisation. Dans ces conditions, il est alors supposé qu'une telle taxe pourrait entraîner une hausse du recours aux décharges sauvages.

Il est donc essentiel d'anticiper différents scénarios et de prévoir les éventuels effets contre-productifs.

III. Les opportunités et obstacles liés à l'introduction de la carbonatation accélérée du béton recyclé

Les opportunités et obstacles identifiées concernant la carbonatation accélérée sont principalement réglementaires, techniques, logistiques, organisationnels, économiques et culturels et proviennent des questions ouvertes, posées spécifiquement sur les opportunités et freins durant les entretiens.

La synthèse de cette partie sera une analyse SWOT qui croisera une analyse de la capacité stratégique des organisations (leurs forces et faiblesses) à celle de l'environnement concurrentiel (les opportunités et les menaces).

Les différents aspects sont définis comme suit :

- Réglementaire : relatif ou qui appartient au règlement, relatif aux règles délimitant l'application du procédé de carbonatation accélérée ;
- Technique : relatif au fonctionnement et à l'application du procédé ;
- Logistique : relatif aux méthodes d'organisation des transports, conditionnements et approvisionnements ;
- Organisationnel : relatif au mode selon lequel un ensemble est structuré, ici particulièrement la filière béton ;
- Economique : relatif à l'économie, aux coûts ou surcoûts induits par le procédé ;
- Culturel : relatif à un mode de culture traditionnel dans une société, lié aux habitudes et pratiques usuelles.

1. Aspect réglementaire

Les réglementations pouvant favoriser l'émergence du procédé de carbonatation accélérée ont été explicitées dans la partie §II.1.

Trois principaux freins réglementaires ont été explicités pendant les entretiens.

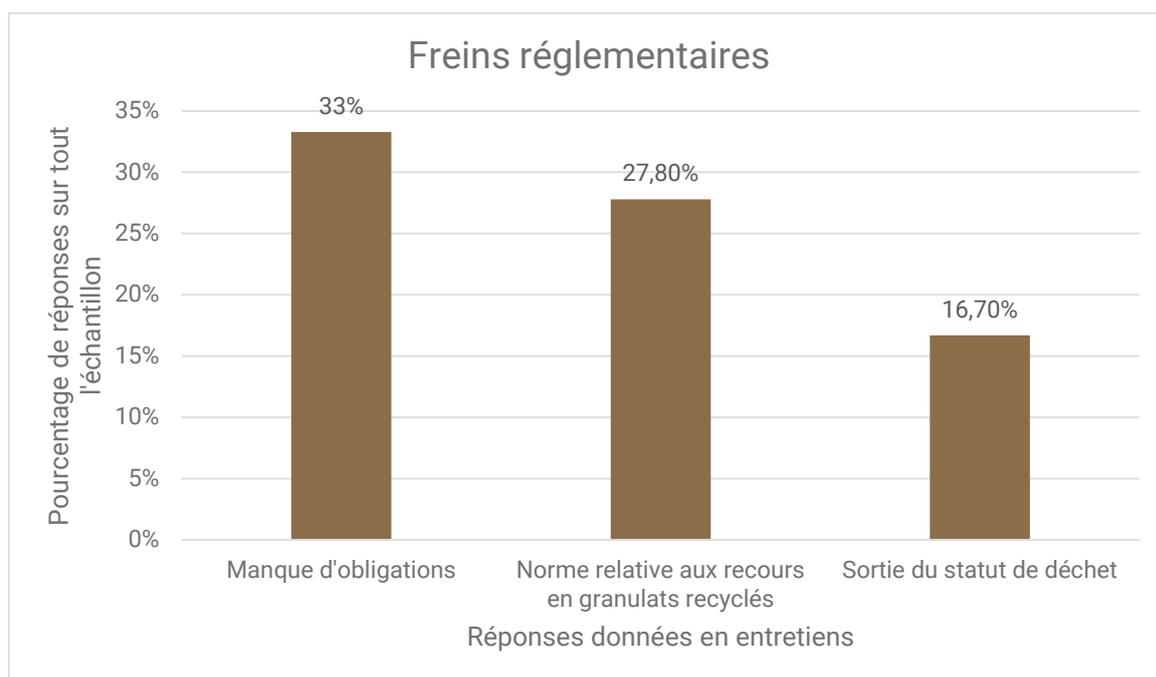


Figure 3. Freins réglementaires

Le plus important est le manque d'obligation, frein soulevé par un tiers des personnes interrogées. Ces personnes soulignent la difficulté de faire du béton recyclé du fait du manque d'obligation et de la nécessité pour les législateurs de parler d'obligations et non plus de recommandations. Pour eux, les CCTP des marchés de construction pour la réalisation des travaux, devraient inclure obligatoirement des taux de recyclés pour entraîner un réel changement. De plus, le surcoût potentiel dû à la nouveauté du procédé doit être compensé par des incitations ou des normes.

Le deuxième frein évoqué par plus d'un quart des interrogés est la norme NF EN 206 dans sa partie relative aux recours en granulats recyclés. "l'évolution vers un changement de norme passe en premier lieu par l'importance de convaincre l'ensemble des acteurs et lobbys de l'intérêt de ce changement pour la filière dans son ensemble. Cependant, comme dit précédemment, le taux de 30% maximum de granulats recyclés n'est que rarement atteint dans les ouvrages actuels, ce qui remet partiellement en question ce frein. Ces 30% pourraient être davantage utilisés dans des bétons maigres (ouvrages peu exigeants, béton de propreté, remplissage, protection), et en plus petite quantité, dans des bétons protégés des intempéries.

Le dernier frein est le blocage de la sortie du statut de déchet. D'après 17% des personnes interrogées, si celle-ci était effective, elle permettrait de simplifier les flux et de faciliter la revente et la réutilisation du béton. Selon un acteur, le seul poids des mots, « produit » à la place de « déchet », pourrait avoir un effet important.

Enfin, un acteur optimiste a ajouté que « Les engagements pour la croissance verte », inspirés du programme « Green Deal » initié aux Pays-Bas et reposant sur les principes du droit souple, devraient permettre de lever les freins que les porteurs de projets innovants qui contribuent à la transition écologique peuvent rencontrer et montrer, ainsi, qu'environnement et économie peuvent aller de pair.

2. Aspect technique

La totalité des acteurs est convaincue par le pouvoir de captation et de stockage de CO₂ dans les granulats. En plus de montrer une image de la filière béton en quête active d'innovation, cette capacité permettrait aux granulats de réduire le CO₂ émis dans l'atmosphère en sortie de cimenteries, chaufferies ou autres installations émettrices de CO₂. Le pourcentage de CO₂ évité reste à être déterminé mais pourrait avoisiner les 10%, considérant le cycle de vie complet du ciment.

L'autre grande opportunité de la carbonatation accélérée est de réduire le problème de porosité très élevée et donc une absorption d'eau très importante des granulats recyclés. Le principal problème des matériaux recyclés est leur porosité. Le Granulat Recyclé absorbe généralement plus d'eau que les granulats naturels, ce qui a un impact sur la qualité du béton et sur sa formulation. L'amélioration des caractéristiques des granulats recyclés et en particulier la réduction de sa porosité, par la carbonatation, augmentera la valeur environnementale de ces granulats.

Les quatre principales craintes sont répertoriées sous le graphique suivant :

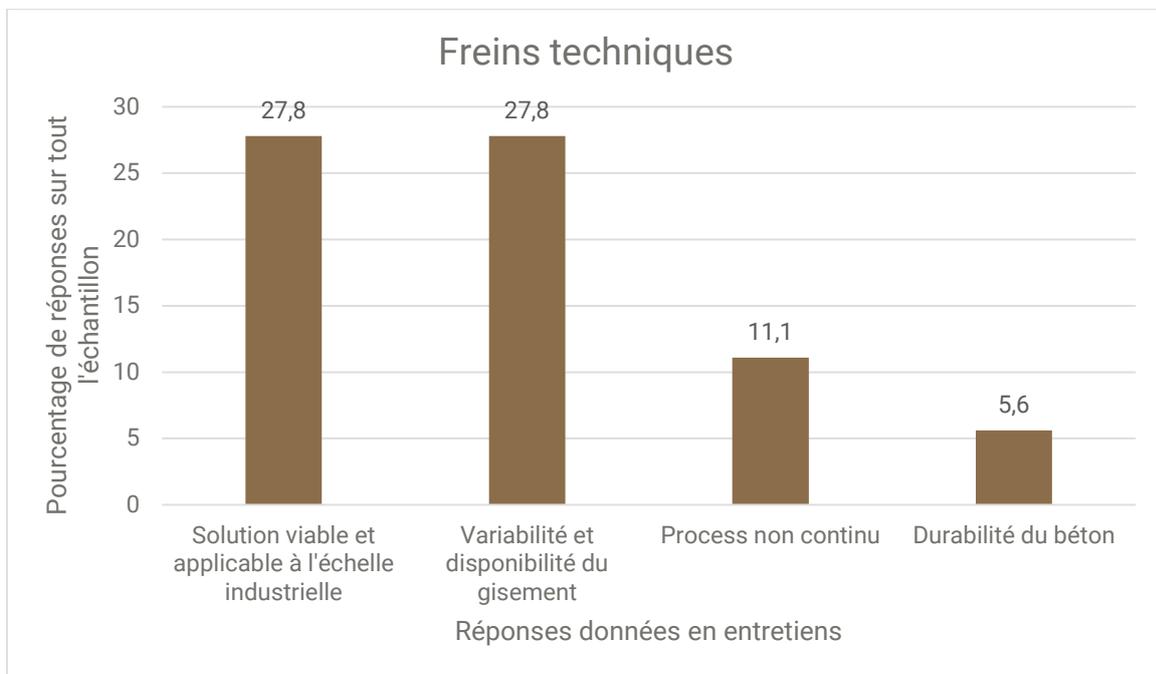


Figure 4. Freins techniques

Toutefois, plus d'un quart des interrogés émettent un doute sur la viabilité de la solution et son application à l'échelle industrielle, et quelques-uns questionnent l'amélioration même des caractéristiques des granulats de béton et préfèrent rester pragmatiques en attendant la validation scientifique. Jean-Michel Torrenti, directeur du projet évalue le niveau de maturation de la carbonatation accélérée est évalué entre 3 (Preuve expérimentale du concept) et 4 (Validation des fonctions clés du concept en laboratoire). Le procédé est simple, les questionnements reposent sur les conditions de process (teneur en eau, durée de procédé, débit traité). L'objectif étant de réaliser l'opération en moins de 24h, le vrai verrou, selon lui, est l'optimisation du procédé.

La variabilité et la disponibilité du gisement en fréquence et en exigences géométriques, mécaniques, chimiques est un autre frein important, car évoqué par plus de 27% des interrogés. Le scénario idéal pour carbonater est d’avoir toujours la même nature de béton, homogène et clairement identifiée en amont. Toutefois, c’est l’un des problèmes du recyclage, ne jamais avoir la même composition du fait des mélanges de déchets implique une irrégularité dans les matières premières.

l’hypothèse de travailler en batch et de ne pas avoir un process continu est un élément qui inquiète quelques acteurs même si à ce stade de l’étude rien n’est encore figé, car cela complique la mise en œuvre de la carbonatation et réduit sa rentabilité (11,1%). Une personne interrogée a aussi questionné la captation du CO₂, l’estimant minime ou négligeable par rapport au total émis par l’industrie du bâtiment.

Enfin, un acteur a manifesté un doute quant à la durabilité du procédé de carbonatation accélérée. Effectivement, les bétons qui sont en train d’être conçus pour le futur seront pensés pour être plus durables. Il y aurait donc potentiellement moins de béton à déconstruire, faisant de la carbonatation accélérée une opportunité industrielle limitée dans le temps. Ceci constitue un paradigme de recyclabilité et de durabilité des bétons.

3. Aspect économique

Les freins économiques évoqués sont les suivants :

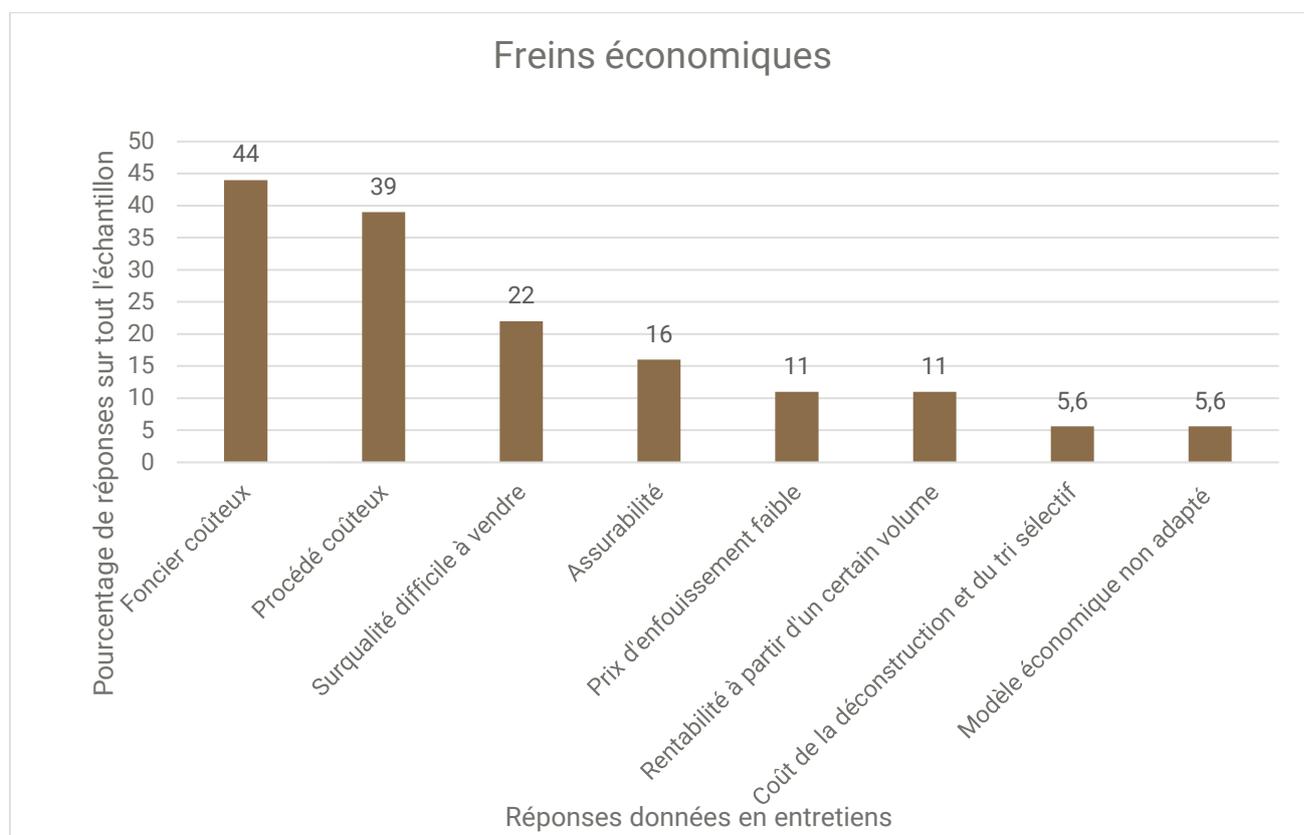


Figure 5. Freins économiques

45% des personnes interrogées environ sont préoccupées par le coût lié au foncier, qui constitue un frein commun au recyclage et à la carbonatation. L'ajout de cases privilégiées dans les centrales à béton a un coût, estimé à 15 000 euros (Recybéton, 2017). Un des acteurs cite une anecdote sur un chantier où le béton de déconstruction pouvait être utilisé sur un autre chantier, quelques kilomètres plus loin, démarrant 7 mois plus tard. Parce qu'il n'y avait pas de place pour le stocker sur le site et parce que le stocker à l'extérieur était trop coûteux, (coût similaire à celui de le transporter), le gisement fut perdu. Cette histoire rappelle l'importance du poids économique dans la prise de décision de valorisation de déchets.

Près de 40% des personnes interrogées craignent que le procédé soit trop coûteux pour être déployé à grande échelle. Pour être compétitif, ils estiment que le béton carbonaté devrait à minima avoir une rentabilité non nulle, ou bien le cas échéant suivre une ligne iso-coût. Les scénarios les plus probables conformes à cette hypothèse seraient alors que :

1. Le prix du béton (comme résultante notamment des investissements nécessaires en amont : procédé industriel, logistique...) augmente et soit supporté par le client final,
2. La mise en œuvre de la carbonatation évite de payer une taxe CO₂ plus élevée, ce qui réduirait le prix du béton,
3. L'entreprise accepte dans une certaine mesure d'investir pour la carbonatation, afin d'améliorer son image.

De plus, le problème émergeant avec la dimension locale est la segmentation de l'offre des granulats car la carbonatation ne sera pas rentable partout (le transport des matières denses coûtant cher).

Un peu plus de 20% des acteurs sont inquiets quant aux conséquences de l'amélioration de la qualité des GR sur les coûts. Il sera donc indispensable de mettre en avant la valeur ajoutée du granulats carbonaté pour en produire et vendre davantage. Pour un acteur interrogé, la carbonatation représente l'ajout d'un coût à des granulats recyclés déjà trop chers. Le transport des granulats représente un coût non négligeable dans les chantiers de déconstruction du fait de la consommation en carburant, et dépend des distances à parcourir, le prix des matériaux de construction doublant tous les 30 km (UNICEM, 2018). Lassandro (2003) a d'ailleurs jaugé qu'en Italie, les coûts de transport représentaient jusqu'à 40% des coûts de démolition. Pour la plupart des acteurs, la réutilisation et le recyclage du béton apparaissent moins avantageux sur le plan économique que sur le plan générationnel (les conséquences pour le futur). Il serait donc intéressant de démontrer l'équilibre économique de la carbonatation accélérée en calculant le retour sur investissement (ROI) afin de prouver la viabilité économique de l'innovation sur le long terme.

Une partie des acteurs (16%) émettent des doutes quant à l'assurabilité du procédé. La MOE conseille généralement d'employer des techniques éprouvées, pour apporter une vraie assurance, au risque d'avoir une surprime. Il n'est donc pas exclu que les assureurs soient réticents face à ce projet novateur, s'il n'y a pas d'avancement de la norme dans ce sens.

Plus de 10% des interrogés estiment qu'une rentabilité pourrait être atteinte à partir d'un certain volume et que les prix d'enfouissement ne sont pas assez élevés, ce qui encourage la mise en décharge et défavorise la valorisation, et donc a fortiori la carbonatation. Enfin, un des acteurs met en exergue le coût de la déconstruction et du tri sélectif déjà élevé et un modèle économique non adapté au recyclage du béton.

Au total, près de la moitié des acteurs estiment que la carbonatation va amener un surcoût évident compte tenu des technologies mises en jeu, du matériel et de la sécurité à déployer, tandis que 21% pensent qu'il est encore trop prématuré pour avoir une vision précise des coûts. L'intensification potentielle de la demande et des incitations pour valoriser la carbonatation sont des facteurs sur lesquels quelques acteurs insistent pour nuancer le potentiel surcoût.

L'évolution du prix de la tonne carbone pourrait avoir une incidence comme l'explique l'un des acteurs. Si le prix du CO₂ augmente considérablement dans les années à venir, et que piéger permet de réduire le nombre de tonnes de CO₂ soumises à quota, le surcoût serait alors minimisé. Ceci pourrait permettre de réduire l'impact du renchérissement du prix de la tonne de CO₂, payée par les cimentiers, qui ne peuvent faire autrement que répercuter ce coût sur le prix du ciment, entraînant de ce fait une hausse du coût de la construction. Il est évident que s'il est possible pour certains acteurs d'échapper à la taxation CO₂, en important du ciment ou du clinker, à partir de pays n'ayant pas mis en place ce système de taxation, ce fait conduira à une concurrence déloyale qui ruinera les efforts déployés pour développer la séquestration du carbone et carbonatant les granulats.

4. Aspect logistique

Les personnes interrogées perçoivent les freins logistiques suivants :

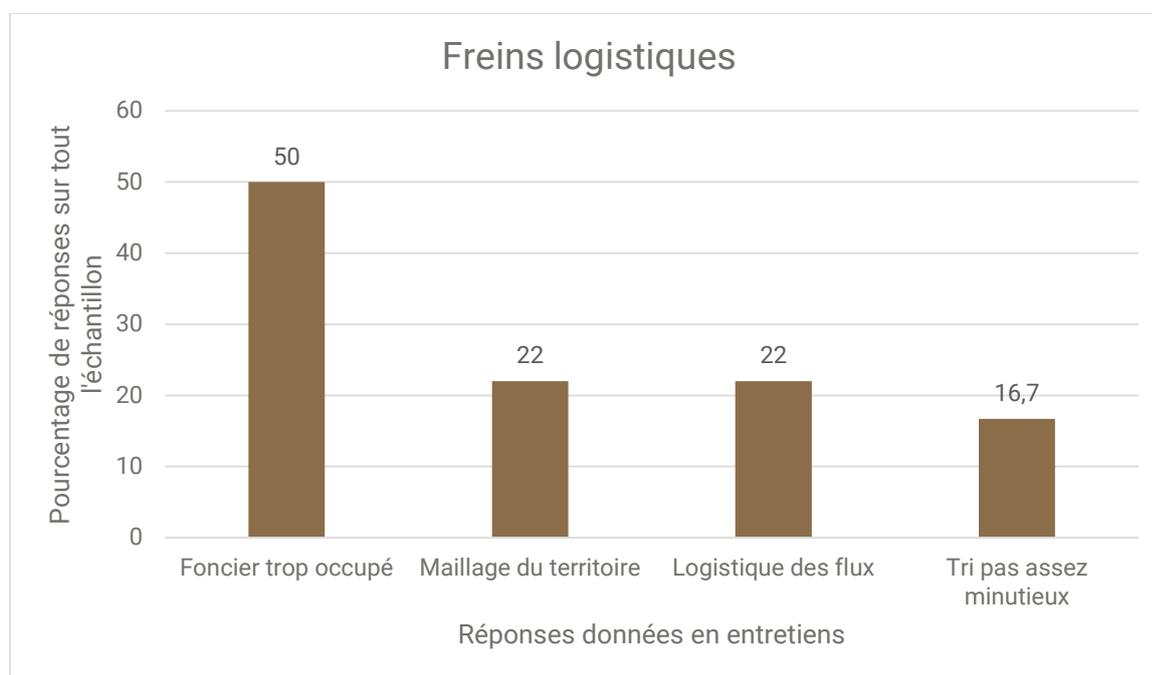


Figure 6. Freins logistiques

La moitié des personnes interrogées considèrent la pénurie de foncier libre comme un frein. Elles soulèvent la problématique du transport et du stockage intermédiaire des granulats entre le chantier de déconstruction et le lieu de carbonatation, puis entre ce lieu et les chantiers où les granulats carbonatés seront utilisés. Le lieu de carbonatation n'est pas encore défini,

comme expliqué dans la partie §II.2.i. Le nombre défini de cases dans les centrales à béton est un facteur limitant. Un acteur témoigne de sa crainte du fait que les granulats carbonatés n'apportent pas une valeur ajoutée assez importante pour inciter les bétonniers à ajouter une case dédiée, ce qui par ailleurs n'est pas toujours réalisable. Une des solutions proposées est de faire préparer des mélanges en carrière, ce qui favoriserait la prise en charge de la carbonatation accélérée par les producteurs de granulats. De plus, l'installation même de carbonatation accélérée occupera un espace important, dans un paysage où le foncier est de plus en plus limité.

Plus de 20% des répondants s'interrogent sur le maillage du territoire et la logistique des flux. Les lieux de production des granulats carbonatés seront a priori péri-urbains, tandis que les zones de traitement sont plutôt non urbaines. Cela souligne la problématique d'organisation des flux et de potentialité de la ressource. La problématique de gestion et de valorisation des déchets est principalement locale. La disponibilité des gisements de granulats recyclés, la présence à proximité de granulats naturels, l'accès aux plateformes de recyclage et la présence d'un site permettant la carbonatation accélérée diffèrent d'une région à l'autre et entraîneront potentiellement une répartition de la valeur ajoutée inégale sur le territoire. Cela constitue une équation technico-économique à optimiser.

La quasi-totalité des acteurs se rejoignent pour dire que le tri peut encore être optimisé bien qu'il y ait eu de grandes améliorations. Trois acteurs l'ont spécifiquement identifié comme frein, argumentant qu'un tri plus minutieux permettrait d'économiser de l'argent et de réduire les transports. En effet, le tri des déchets en amont est une étape cruciale permettant un fonctionnement efficace de la filière de valorisation en aval. Il nécessite une main d'œuvre qualifiée et une importante logistique, mais les coûts peuvent être amortis par la valorisation matière, en remblaiement de carrière (3-5€/t), ou en ISDI (6-10€/t) à la place de la mise en décharge en ISDND qui coûte beaucoup plus cher (30-54€/t, TGAP incluse) (ADEME, 2014)⁸.

Le tri dépend aussi de la taille de l'entreprise et des moyens de celle-ci. Un partenariat a été signé entre Suez et la CAPEB pour mieux former et sensibiliser les entreprises artisanales du bâtiment au tri et à la valorisation des déchets issus des matériaux de construction. Le but est, au travers d'actions de conseil et d'accompagnement, de favoriser les échanges entre syndicats départementaux et représentants de Suez et créer des synergies locales (CERIB, 2018).

5. Aspect organisationnel

Les principaux freins organisationnels sont répertoriés sous le graphique suivant :

⁸ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/referentiel-couts-spgd-2014-032017-rapport.pdf>

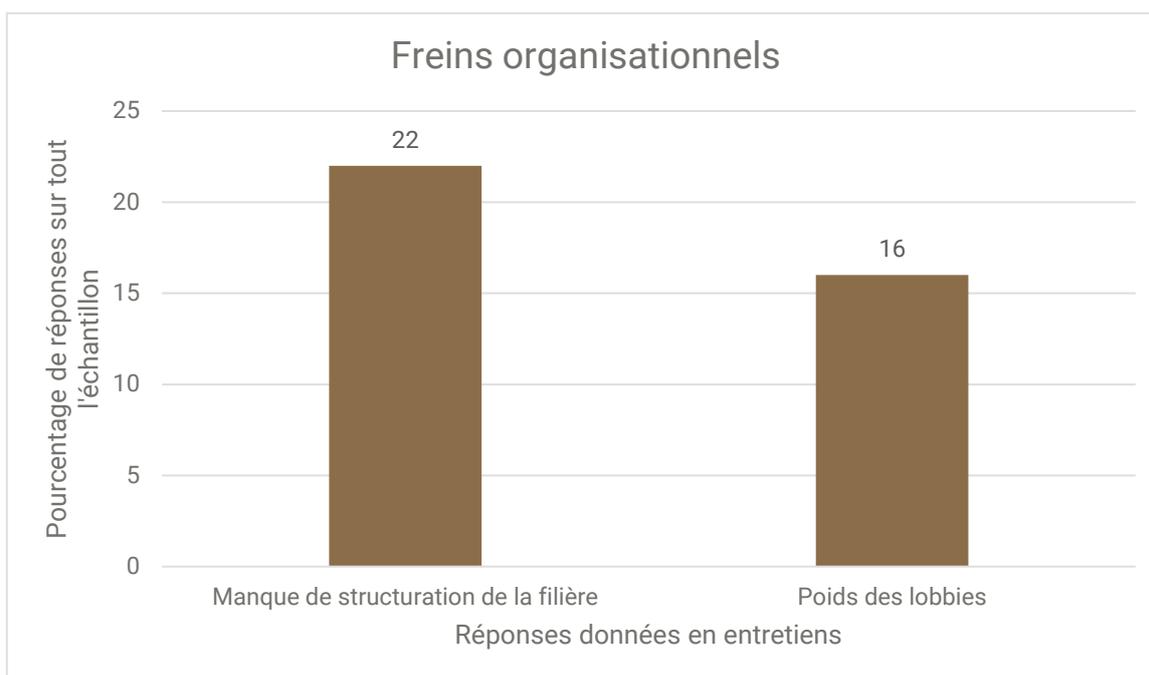


Figure 7. Freins organisationnels

Le manque de structuration de la filière de valorisation de béton est donc une grande source de craintes pour les interrogés (22%). En effet, les filières de recyclage et de tri du béton ne sont pas structurées. Cependant, les bétons issus du BTP sont de mieux en mieux recyclés (54% en recyclage et valorisation matière, et 14 % soit en remblaiement de carrière, soit en réutilisation sur un autre chantier⁹) Pour eux, une meilleure structuration de la filière passerait par un traitement systématique et homogène de tous les chantiers, à travers une réglementation ou une loi.

Toutefois, ce frein peut se transformer en une grande opportunité. L'introduction de la carbonatation accélérée sur le plan organisationnel pourrait être l'impulsion pour améliorer la structuration de la filière de valorisation des déchets de béton, ainsi que la cohésion entre les différents acteurs de la filière béton, des nouveaux liens pouvant être créés lors de l'acheminement, du stockage et de la réalisation de la carbonatation.

Quelques acteurs (16%) ont également souligné que le poids des « lobbies » constituait un frein. Selon eux, en plus d'être incontournables, ces « lobbies » ne sont prêts à s'engager et à activer un changement qu'à condition d'y trouver un intérêt propre certain.

Une des forces liée à l'usage des granulats carbonatés est constituée par le fait qu'ils sont utilisés comme des granulats recyclés classiques, les technologies employées étant connues

⁹ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-11/datalab-44-recyclage-dechets-btp-2014-octobre2018.pdf>

par la plupart des acteurs. En revanche, une formation serait à déployer pour la réalisation des méthodes de carbonatation.

Enfin, il a été décrit précédemment que les travaux publics sont les principaux consommateurs de granulats de béton recyclé. Or, d'après l'Île de France (2015), l'activité d'entretien des routes et des voiries connaît un ralentissement considérable lié à la réduction des budgets attribués. Les TP pourraient donc utiliser moins de granulats recyclés, laissant ce gisement aux infrastructures et bâtiments. Face à un gisement supplémentaire, une des solutions pourrait alors être la carbonatation accélérée.

6. Aspect culturel

Enfin, les principaux freins culturels sont tous liés aux freins des granulats recyclés. Les voici classés :

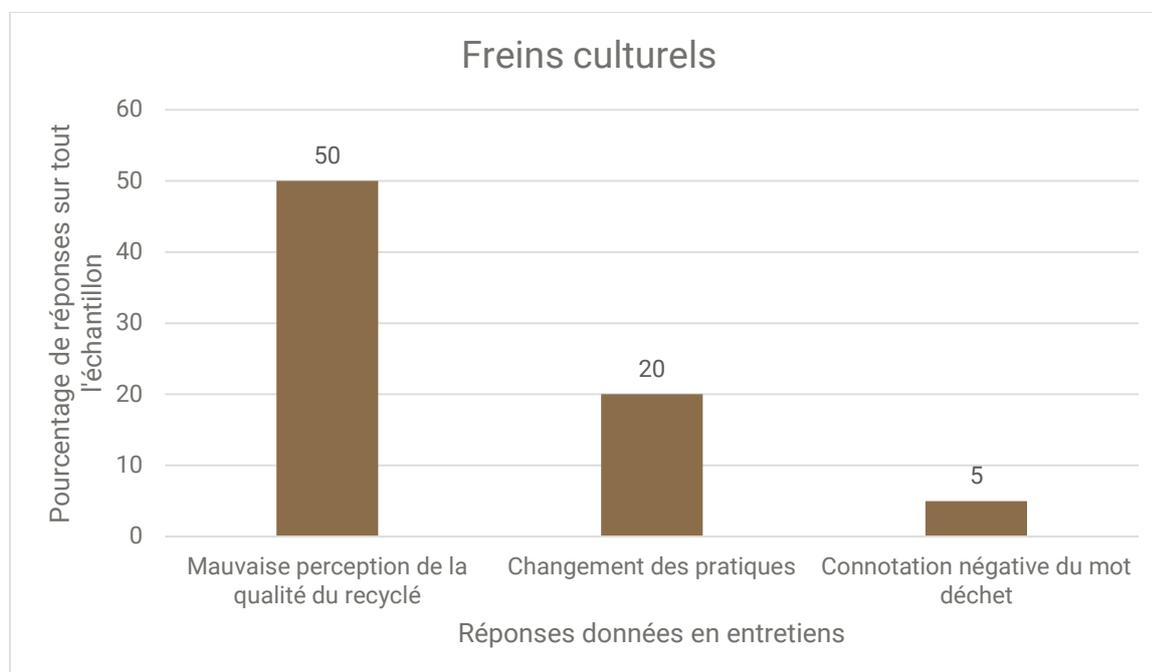


Figure 8. Freins culturels

Le frein culturel le plus évoqué est la mauvaise perception du recyclé (50% des acteurs). Effectivement, le recyclé souffre de la perception d'être un matériau « d'occasion », avec une connotation négative, qui doit être moins cher car de moins bonne qualité. S'il est vrai que les granulats de béton recyclés ne sont pas adaptés pour certains bétons de structures, ils sont tout à fait à même d'être utilisés pour du béton courant, qui représente la grande majorité de la demande en béton actuelle. Un acteur craint que la maîtrise d'ouvrage ne se montre frileuse à utiliser des granulats carbonatés, que le producteur de granulats ne les voit que comme un concurrent et que le bétonnier ait besoin de plus de cases spécifiques et pense prendre un risque en utilisant ce matériau supposé moins sûr. Une démonstration par l'excellence pourrait modérer la méfiance et entraîner un changement de mentalité.

De plus, en France, il n'y a pas encore de pénurie en ressources naturelles, donc les acteurs ne sont pas contraints d'utiliser du recyclé et gardent leurs habitudes. Un acteur se veut

pragmatique et déclare que « tant qu'on ne sera pas au pied du mur, il n'y aura pas de réels changements ».

. Le journal Recyclage et Valorisation (2018) désigne même la démolition d'un bâtiment comme « un lot de travaux qui est mal défini et traité le plus simplement possible, par routine culturelle, comme si ce scénario s'avérait systématiquement le moins cher ».

Enfin, depuis des années, les clients finaux ont été sensibilisés au danger de la carbonatation sur les armatures de béton. En effet, la carbonatation abaisse le pH du béton et peut provoquer une corrosion irréversible des armatures. Ces clients pourraient donc être méfiants aux premiers abords d'où la nécessité de sensibiliser les acteurs à la distinction entre carbonatation des ouvrages et carbonatation des granulats

7. Matrice SWOT de synthèse

La matrice SWOT suivante résume les forces et faiblesses inhérentes au procédé de carbonatation accélérée et les opportunités et menaces que pourrait exercer l'environnement extérieur sur le procédé.



Figure 9. Matrice SWOT relative à l'introduction de la carbonatation accélérée

Conclusion

Le projet FastCarb s'inscrit dans la continuité du projet national Recybéton dont l'objectif était d'augmenter l'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication de nouveaux bétons. Il avait alors été remarqué que le jeu d'acteurs et le poids des habitudes pouvaient constituer des freins aux évolutions techniques. C'est la raison pour laquelle ce rapport du projet FastCarb s'intéresse à l'analyse du jeu d'acteurs, aux potentielles transformations de la chaîne de valeur, aux opportunités et obstacles que pourrait induire la mise en place du procédé de carbonatation accélérée.

En favorisant le recyclage, la filière du béton témoigne de son intérêt pour développer l'économie circulaire dans le domaine de la construction béton. C'est en effet un des enjeux prioritaire de cette filière.. L'autre enjeu du secteur du bâtiment, et plus particulièrement du béton, est de réduire les émissions de gaz à effet de serre. FastCarb apporterait une solution de captage et de stockage du CO₂ au sein des granulats recyclés de béton . Si la carbonatation accélérée des granulats recyclés est encore un sujet de recherche émergeant, les premiers résultats indiquent que la carbonatation pourrait améliorer les propriétés des granulats. Ceci pourrait apporter une véritable valeur ajoutée aux granulats recyclés de et ainsi faciliter leur intégration dans la fabrication de nouveaux bétons et réduire l'utilisation de ressources épuisables.

Il ressort de l'analyse et des entretiens que les équilibres en place et les différentes interactions ne seraient pas fortement impactées mais dépendraient totalement de la gestion du procédé. Or, la prise en charge du procédé et l'attribution du CO₂ restent des interrogations à l'heure actuelle. Les entretiens montrent une grande disparité de réponses quant à quel(s) acteur(s) pourrai(en)t effectuer la carbonatation sur son site et devrai(en)t bénéficier des émissions de CO₂ non-émises. A ce stade, il apparaît que la carbonatation accélérée ne pourrait se développer qu'à la condition que les parties prenantes y trouvent un intérêt commun, cette innovation pourrait alors profiter à toute la filière.

Si les avantages de la carbonatation accélérée sont principalement environnementaux dus à son pouvoir de captation et de stockage du CO₂ et à l'amélioration de la porosité des granulats recyclés, elle présente aussi l'avantage d'élever la France au rang d'avant-gardiste du sujet et de redorer l'image du secteur de bâtiment, connu pour ses fortes émissions de gaz à effet de serre et sa grande consommation d'énergie. De plus, d'un point de vue réglementaire, l'objectif de 70% de valorisation des déchets du BTP et le label E+C- pourraient souligner la nécessité d'une solution comme la carbonatation accélérée.

Toutefois, les personnes interviewées ont pu témoigner de leurs craintes sur des aspects réglementaires, techniques, économiques, logistiques, organisationnels et culturels. Effectivement, les acteurs conseilleraient de mettre plus d'obligations en place et de réviser le taux actuel de 30% de granulats recyclés dans le béton. La variabilité de provenance et de qualité et l'application à l'échelle industrielle sont les principales préoccupations techniques. Sur le plan économique, des inquiétudes ont été soulevées sur le surcoût général du projet et plus particulièrement le coût du foncier. Le foncier a aussi été présenté en tant que frein logistique du fait de l'augmentation de la densité urbaine. Le manque de structuration de la filière est perçu comme la principale menace organisationnelle pour l'introduction du procédé. Enfin, les freins culturels tels que le changement de mentalités et la mauvaise perception du recyclé ont été évoqués.

Pour atteindre ces objectifs, le secteur du bâtiment doit modifier ses pratiques de démolition et de déconstruction, ses méthodes de travail et de gestion de chantier. Le bâtiment montrerait alors comment certaines faiblesses a priori peuvent devenir des forces a posteriori. C'est pourquoi il est important que tous les freins cités dans ce document n'endiguent pas l'expérience, car l'apprentissage par la pratique est une méthodologie répandue dans le domaine du recyclage et de l'économie circulaire.

La première limite de l'étude est qu'elle s'est focalisée principalement sur le territoire de l'Île-de-France. Or, la disponibilité des gisements de granulats recyclés, la présence à proximité de granulats naturels, l'accès aux plateformes de recyclage, la présence d'un site permettant la carbonatation accélérée diffèrent d'une Région à l'autre. Le cas de l'Île-de-France est spécifique mais il est intéressant puisqu'il offre a priori des conditions propices à l'entrée du bâtiment dans le monde de l'économie circulaire (un gisement important de déchets du bâtiment et un très bon maillage des plateformes de recyclage). A l'inverse, le gisement lié aux granulats naturels tend à se réduire et donc à s'éloigner. L'échelle inter-régionale voire nationale n'a cependant pas été occultée puisque les acteurs interrogés interviennent sur des marchés nationaux voire internationaux. Il pourrait être toutefois intéressant de faire une étude économique de rayon national par la suite.

Si les principaux acteurs de la filière « béton » du bâtiment ont été interviewés et décrits en détail, il serait aussi conseillé d'examiner le rôle des parties annexes de la filière, ne participant pas directement à la chaîne de production, comme les assureurs et les travaux publics. En effet, ces deux entités pourraient avoir un impact fort sur la chaîne de valeur du béton, le premier en établissant des surcharges pour tout ouvrage fait en granulats de béton recarbonatés, le second, en continuant à utiliser une quantité importante des granulats de béton pour du remblai routier au détriment du recyclage du béton dans la fabrication de nouveaux bétons.

En outre, cette étude a été réalisée très en amont des études techniques, de l'approche expérimentale et sa modélisation et de l'application du procédé à l'échelle industrielle. Elle permet par conséquent d'avoir une première vision globale de la carbonatation accélérée par les acteurs de la filière « béton », mais n'intègre pas, à titre d'exemples, les réels coûts de process et l'évaluation environnementale à partir de l'analyse du cycle de vie, encore en recherche.

Enfin, l'état du marché du carbone sera étudié dans une prochaine étude prospective, en prenant en compte les évolutions possibles du coût de la tonne de CO₂. En effet, les tarifications du CO₂ sont actuellement plutôt méconnues et si l'évolution du coût de la tonne de CO₂ se poursuit au rythme des derniers mois, la question sera de savoir quelles conséquences cela pourrait avoir pour les acteurs et leurs stratégies d'investissement.

Annexe : Questionnaire

Partie 1. Cartographie actuelle du jeu d'acteurs

- 1) Quelle a été votre motivation pour rejoindre le projet ?
- 2) Quels sont les enjeux actuels de la filière béton ? La carbonatation vous apparaît-elle comme une solution ?
- 3) En matière de captage du carbone, quelles solutions ont déjà été testées ? Quelles solutions techniques avez-vous testé ? Quelles solutions seraient idéales pour vous ?
- 4) Quelle est la situation dans d'autres pays que la France ? Quels sont les pays les plus avancés dans ce domaine et pourquoi ? R&D plus avancée ? Société milite en faveur d'un béton « plus vert » ? Incitations gouvernementales ? Demande publique ou privée pour ce type de produit ?
- 5) En France, côté demande, le marché existe-t-il ? Cela pourrait-il rendre le granulats recyclé encore plus intéressant ?
- 6) Quels sont les acteurs actifs en économie circulaire ?

Partie 2. Transformations potentielles de la chaîne de valeur

- 7) Qui pourraient être les grands gagnants et les grands perdants ?
- 8) Les interactions entre acteurs seront-elles changées ?
- 9) A qui sera attribué le CO2 ?
- 10) Qui pourrait prendre en charge le procédé ?
- 11) Comment se fera la montée en compétences ?
- 12) Comment augmenter la demande en GR/GBC ?
- 13) Comment la MOA pourrait mettre la carbonatation accélérée en avant ?
- 14) Si le procédé permet le captage de CO2 mais pas l'amélioration de la qualité du béton, cela vous paraît-il suffisant ?

Partie 3. Opportunités et obstacles liés à la carbonatation accélérée

- 15) Quels pourraient être les points bloquants pour la carbonatation accélérée ? Comment pourrait-on les surpasser ?
- 16) Selon vous, la carbonatation accélérée représenterait-t-elle un surcoût ?
- 17) Quels sont généralement les freins au réemploi et au recyclage ?

- 18) Intégrer le réemploi et le recyclage représentent-ils un surcoût pour vous ?
- 19) Qu'est-ce qui vous pousse à intégrer du réemploi ou du recyclage malgré un potentiel surcoût ?
- 20) Le tri est-il suffisamment optimisé sur chantier ?

Questions spécifiques à la MOA

- 21) Comment la MOA pourrait-elle mettre la carbonatation en avant ?
- 22) Dans vos appels d'offres, mettez-vous déjà en avant des approches environnementales du type : demande pour des produits recyclés, des produits issus du réemploi ?
- 23) Et plus largement : comment intégrez et valorisez-vous l'économie circulaire dans vos marchés ?
- 24) Dans vos projets de démolition / déconstruction, comment intégrez-vous le réemploi / le recyclage ? Quelles sont vos pratiques environnementales (réemploi / recyclage) actuellement ?
- 25) La boucle courte (tout se fait sur un seul et même site) vous paraît-elle envisageable ?
- 26) Est-il envisageable que les démolisseurs prennent en charge la carbonatation en plus du broyage et concassage ? Ou que la carbonatation se fasse sur les plateformes de recyclage ?

Question spécifique aux TP

- 27) Comment va-t-on évaluer le réseau routier ? Restera-t-il constant ou va-t-il croître / décroître dans les années à venir ?
-

Références

ADEME (2016) *Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction*. Avril 2016. Disponible sur : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/identification-freins-reemploi-btp-201604-rapport.pdf>. Consulté le 04/07/2018.

AFNOR (2014) *NF EN 15804+A1 – Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction*. Avril 2014.

Al-Sari, M.I., Al-Khatib, I.A. Avraamides, M. (2012) A study on the attitudes and behavioural influence of construction waste management in occupied Palestinian territory. *Waste Management & Research*, n°30, pp. 122-136.

Barteau, A., Rivière, M., Taconet, N., Vergnet, J. (2017). *Filière béton et économie circulaire : les enjeux : Jeu d'acteurs et légitimité d'une politique publique de soutien*. <hal-01821710>.

Bougrain, F., Laurenceau, S. (2017). *Analyse économique du réemploi des matériaux : méthodologie et premiers retours*, pp. 179, projets REPAR #2 et ReQualif.

BTP Consultants (2017). Vers 70% des déchets du BTP valorisés en 2020. *Les Cahiers Techniques*. Avril 2017. pp. 36-37.

Canton de Vaud (2007). *Recyclage des déchets minéraux de chantier dans le canton de Vaud – Evaluation du recyclage des déchets minéraux de chantier dans le canton de Vaud ; potentiel de substitution des graviers naturels et perspectives d'avenir*, Département de la sécurité et de l'environnement, SESA, Février 2007.

CERIB (2018) *Bulletin de veille économie circulaire*. BVEC N°2. Mai 2018.

Commission Européenne (2015) *Proposition de directive du parlement européen et du conseil modifiant la directive 2003/87/CE afin de renforcer le rapport coût-efficacité des réductions d'émissions et de favoriser les investissements à faible intensité de carbone*. Bruxelles, le 15/07/2015. Disponible au : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:33f82bac-2bc2-11e5-9f85-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF

Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets.

FEDEREC (2017). Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie. ADEME. Avril 2017. Disponible au : http://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2017/05/FEDEREC_ACV-du-Recyclage-en-France-VF.pdf

FIB, SFIC, SNBPE, UNPG (2013) *Recyclage et valorisation des bétons*. Table ronde « Economie Circulaire » de la Conférence Environnementale de septembre 2013, la filière béton. Disponible au : <https://www.infociments.fr/sites/default/files/article/fichier/recyclage-Filiere-recyclage-valorisation-betons-juillet2015.pdf>. Consulté le 12/06/2018.

IFSTTAR (2017). *Stockage de CO2 par carbonatation du béton recyclé. Etude pilote en laboratoire et pré-déploiement industriel*. Disponible au : http://www.ifsttar.fr/fileadmin/redaction/Actualites/2017_actus/StockageCO2Beton_DRI_Vexterne.pdf. Consulté le 30 juillet 2018.

Jambou, M. (2015). *Valorisation des déchets inertes du BTP, suivant le principe d'écologie industrielle et territoriale*. Université de Sherbrooke.

Jang, J.G., Kim, G.M., Kim, H.J., Lee, H.K. (2016) Review on recent advances in CO2 utilization and sequestration technologies in cement-based materials. *Construction and Building Materials* 127. pp. 762–773

Lassandro, P. (2003) *Deconstruction case study in Southern Italy: economic and environmental assessment*, in A. R. Chini (Ed.), op. cit., paper 10.

Mongear, L. et Dross, A. (2016) *La ressource en matériaux inertes recyclables dans le béton en France – Estimation des pratiques actuelles et des évolutions potentielles à partir des études publiées par les cellules Economiques Régionales de la Construction*, Rapport de recherche, Projet national RECYBETON.

MTES (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire) (2016). Engagement pour la croissance verte relatif à la valorisation et au recyclage des déchets inertes du BTP. Disponible au : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/ECV%20-%20UNICEM.pdf>. Consulté le 03/07/2018.

MTES (2018). *Déchets du bâtiment et des travaux publics*. Disponible au : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/dechets-du-batiment-et-des-travaux-publics>. Consulté le 05/07/2018.

RECYBETON (2011). *Etude de faisabilité*. Mai 2011. Disponible au : https://www.pnrecybeton.fr/wp-content/uploads/2013/11/PNRECYBETON-Faisabilite_mai2011.pdf. Consulté le 12/06/2018.

Recyclage et Valorisation (2018) *Dossier recyclage du béton 1/5 – Les 3Suissees et la Maillerie, Cailloux choux choux*. Mars 2018, N°60, pp. 32-37.

SFIC (2015) L'industrie cimentière française et la réduction des émissions de CO2. Disponible sur : <http://gfi.asso.fr/wp-content/uploads/2015/12/INDUSTRIE-CIMENTIERE-REDUCTION-EMISSIONS-CO2.pdf>. Consulté le 17/07/2018.

SNBPE (s.d.) *La production*. Disponible au : http://www.snbpe.org/index.php/le_bpe/la_production. Consulté le 10 juillet 2018.

SOeS (2018). *DATALAB – Entreprises du BTP : 227,5 millions de tonnes de déchets en 2014*. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat. oct. 2018.

UNICEM (2017). *L'industrie française du béton prêt à l'emploi édition 2017/2018 (Données 2016)*. Disponible au : <http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/depliant-bpe-chiffres-2016.pdf>. Consulté le 21/06/2018

UNICEM (2018). Les données chiffrées. Disponible au : <http://www.unicem.fr/accueil/la-federation/donnees-chiffrees/>. Consulté le 13/06/2018.

UNPG (2012). *L'industrie française des granulats en 2011*. Disponible sur : <http://www.unpg.fr/wp-content/uploads/depliant-chiffres-2011.pdf>. Consulté le 20/06/2018.

UNPG (2012). *Situation, enjeux et perspectives du transport et de la distribution des granulats*. Disponible sur : <http://www.unpg.fr/wp-content/uploads/plaquette-situation-enjeux-et-perspectives.pdf>. Consulté le 18/06/2018.

Communications personnelles : interviews d'avril à juillet 2018:

Bouygues Immobilier (Guillaume JAMET)
Habitat 76 (Olivier LEGONIN)
Ile de France (Laurent CATRICE)
EPARMARNE (Sébastien NERVA)
DHUP Mickaël THIERY)
ADEME (Aïcha EL KHAMLICHI)
CMEG (Hector CUADRADO)
Eiffage Infrastructures (Christian Clergue)
COLAS (Philippe Pellevoisin)
Lafarge Holcim (Didier COLLONGE, Xavier GUILLOT, Florent DUBOIS)"
EQIOM (Christophe CHARRON)
VICAT (Laury BARNES-DAVIN)
Lafarge (François DE LARRARD)
Eurovia Granulats (F.R MERCIER)
CERIB (ROUGEAU & DECUSSE)
SFIC (Raoul de PARISOT)
UNPG-ATILH-UNICEM (Sophie DECREUSE & Mathieu HIBLOT)
Clamens (Amaury CUDEVILLE)
Yprema (Audrey BERTRAND)
Groupe Esterel (Gérard FERRO)
Aktid (Marc DAURA)