

Projet de recherche et développement



Stockage de CO₂ par carbonatation du béton recyclé

RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

Stratégies de décarbonation : les voies empruntées par les acteurs de la filière béton

Auteurs / Organisme :

Frédéric BOUGRAIN, Mathilde DOUTRELEAU (CSTB)

Thème de rattachement :

GT2-3 – Evaluations économiques et environnementales

FCARB/R/014B

LC/22/FCARB/066

Avril 2023

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

Sommaire

Remerciements	4
1 Introduction	5
2 Les stratégies de décarbonatation des cimentiers	5
2.1 Ciments Calcia	6
2.2 EQIOM.....	8
2.3 Lafarge France.....	9
2.4 VICAT	12
2.5 Conclusion	13
3 Le positionnement des entreprises de construction	15
3.1 La stratégie bas carbone de VINCI Construction.....	15
3.2 La stratégie bas carbone du groupe EIFFAGE	16
3.3 Les stratégies bas carbone d'autres constructeurs.....	19
3.4 Conclusion	19
4 La demande des maîtres d'ouvrage pour des granulats recyclés et carbonatés : résultats d'une enquête en ligne	20
4.1 Les répondants	20
4.2 Les engagements.....	21
4.3 Les actions mises en place	21
4.4 Le recours au béton et aux granulats de béton recyclés.....	22
4.5 Les freins	23
4.6 Le recours potentiel aux GBRC.....	23
4.7 Les principales motivations pour l'intégration de GBR dans la fabrication des bétons 24	
4.8 Conclusion	24
5 Conclusion	26
6 Bibliographie	28

Figure 1 : Evolution des émissions de CO ₂ du secteur cimentier (en kgCO ₂ /T ; de ciment) ..	6
Figure 2 : Empreinte CO ₂ du groupe HOLCIM.....	10
Figure 3 : Trajectoire de réduction des émissions de carbone annoncée par Holcim.....	11
Figure 4 : Répartition des émissions de CO ₂ du groupe Vicat en 2020.....	13
Figure 5 : Les Scopes 1, 2 et 3 de VINCI Construction	15
Figure 6 : Impacts carbone directs et indirects de VINCI Construction (avant consolidation EUROVIA).....	16
Figure 7 : Objectifs de réduction des émissions de CO ₂ sur les Scopes 1 et 2	17
Figure 8 : Emissions et répartition du Scope 3 amont d'EIFFAGE	18
Figure 9 : Emissions du Scope 3 aval des travaux	18
Figure 10 : Profils des répondants.....	20
Figure 11 : Actions mises en place par les entreprises en faveur de la neutralité carbone ...	21
Figure 12 : Fréquence de prescription du béton comme matériau principal dans le cahier des charges	22

Figure 13 : Connaissances relatives à l'intégration de GBR dans la fabrication de béton bâtiment	22
Figure 14 : Intégration de clauses favorisant l'utilisation de GBR dans le cahier des charges	22
Figure 15 : Freins à l'intégration de GBR dans la formulation des bétons	23
Figure 16 : Part des maîtres d'ouvrage qui intégreraient des GBRC dans leurs cahiers des charges s'ils avaient de meilleures propriétés que les GBR.....	24
Tableau 1 : Actions menées pour réduire les émissions de CO ₂ des Scopes 1 et 2	15

Remerciements

Ce rapport s'est appuyé pour l'essentiel sur des documents existants. Mais il a aussi bénéficié des apports d'experts interrogés pour l'occasion. Parmi ces derniers, nous remercions :

- Monsieur Mouloud BEHLOUL, Directeur Innovation et Construction Durable, Lafarge France
- Monsieur Christophe Bignolas, Directeur Général EQIOM Bétons, groupe CRH
- Monsieur Eric BOURDON, Directeur Général Adjoint, groupe VICAT
- Monsieur Christian CLERGUE, Eiffage Génie Civil, Directeur du département Innovation Représentation Matériaux
- Monsieur Serge FAVRE, Expert Béton, direction technique, Léon GROSSE
- Monsieur Xavier GUILLOT, Directeur Normalisation, Lafarge France
- Monsieur Arsène KARM, Directeur technique, Ciments Calcia
- Monsieur Laurent LEGAY, Directeur Marchés et Offre, groupe VICAT
- Monsieur Bruno PAUL-DAUPHIN, Directeur des solutions Bétons Bas Carbone – EXEGY, Directeur Général E-Béton, VINCI Construction
- Monsieur Didier PETETIN, Directeur Général Délégué du groupe VICAT
- Monsieur Bruno PILLON, Président des activités France du groupe HeidelbergCement
- Madame Mélanie SHINK, Manager Stratégie et Développement, Ciments Calcia.

1 Introduction

Le marché du carbone a été créé en 2005 par l'Union Européenne dans l'optique de baisser les émissions de CO₂ de l'industrie. Il fait se rencontrer ceux qui ont dépassé leur quota annuel d'émission et doivent acheter des quotas supplémentaires et ceux qui ne les ont pas atteints et sont vendeurs. Ce mécanisme s'applique à plus de 11 000 installations industrielles européennes qui émettent environ 45 % du CO₂.

A travers ce mécanisme, les industriels les plus polluants doivent intégrer ce prix du carbone à leur coût de production et lancer progressivement des investissements destinés à réduire leur pollution.

Avec un prix longtemps resté autour du seuil des 5 euros, ce marché n'a pas joué son rôle pendant plus de dix ans. Depuis 2018, le prix de la tonne de CO₂ a fortement augmenté. Fin 2022, il s'établissait autour de 90 euros alors qu'en mars 2018 au début du projet FastCarb, il était à 12 euros. Le signal-prix envoyé au marché est désormais crédible. Depuis quelques années, certains industriels n'hésitent d'ailleurs plus à s'appuyer sur un prix de 100 €/tCO₂ pour leurs projets de R&D. Par ailleurs, avec une valeur tutélaire du carbone évaluée à environ 250 euros par tonne de CO₂ en 2030 et jusqu'à 775€ en 2050, une forte croissance des prix n'est pas irréaliste (Quinet, 2019).

Cette hausse devrait se poursuivre au regard de la volonté européenne de promouvoir ce marché afin d'amener les acteurs à s'engager pour une économie décarbonée.

Parallèlement, de nombreuses entreprises se sont déjà engagées vers des actions destinées à afficher une neutralité carbone d'ici 2050. C'est notamment le cas des acteurs de la filière béton.

La décarbonation de cette filière reposera sur l'action concomitante des acteurs de la chaîne de valeur. Favier et al. (2018) ont ainsi montré qu'une baisse de 30 à 35% des émissions de CO₂ par rapport aux valeurs de 2015 était possible à l'horizon 2050 (sans introduire de solutions destinées à capturer ou stocker le carbone) si tous les acteurs coopéraient et agissaient dans le même sens. Les entreprises de construction et les maîtres d'ouvrage ont notamment un grand rôle à jouer dans l'adoption de matériaux moins carbonés qui risquent cependant de conduire à une modification des pratiques sur chantier (logistique et mise en œuvre) et une hausse des coûts de construction.

L'objectif de ce rapport est de mettre en exergue les actions menées par les principaux acteurs de la filière béton (les cimentiers et les entreprises de construction) et de présenter comment les maîtres d'ouvrage se positionnent dans cet environnement en mutation. Il s'agira notamment d'apprécier l'impact des évolutions du prix du carbone sur les stratégies d'investissement de ces acteurs du bâtiment, de repérer les actions lancées pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et d'apprécier la complémentarité ou l'incompatibilité entre ces approches.

2 Les stratégies de décarbonation des cimentiers

Les cimentiers se sont tous engagés vers une économie décarbonée. Ils visent notamment à réduire leurs émissions de 24 % d'ici 2030 et de 80 % d'ici 2050, par rapport à 2015 (cf. graphique). Des progrès ont déjà été réalisés depuis 1990 puisque l'intensité carbone des ciments est passée de 860 kg de CO₂ tonne de ciment à environ 600 (IFPEB et Carbone 4, 2021). Néanmoins, par rapport à certains concurrents étrangers, l'industrie cimentière française est moins efficace sur le plan énergétique en raison de l'insuffisance pendant plusieurs années des investissements destinés à moderniser les cimenteries (The Shift Project, 2022).

Pour atteindre les objectifs de la feuille de route de la filière ciment (Conseil national de l'industrie, 2021), les industriels disposent de plusieurs leviers d'actions :

- Améliorer l'efficacité énergétique du process cimentier ;

- Substituer progressivement les combustibles fossiles par des combustibles alternatifs de type biomasse ;
- Baisser la teneur en clinker des ciments ;
- Développer des ciments alternatifs
- Développer des technologies de captage et de stockage du carbone.

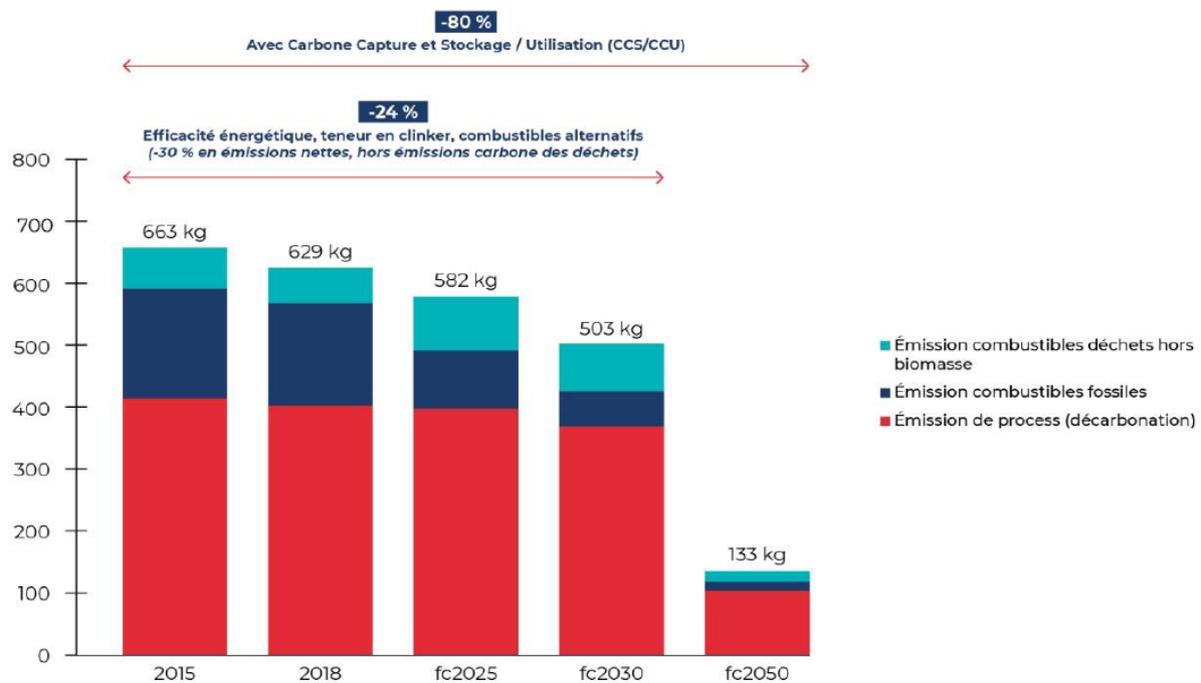


Figure 1 : Evolution des émissions de CO₂ du secteur cimentier (en kgCO₂/T ; de ciment)
Source : Conseil National de l'Industrie, 2021

Les enjeux sont multiples pour des groupes cimentiers soumis à plusieurs pressions :

- Nécessité de respecter leurs engagements environnementaux (notamment RSE) ;
- Anticipation de la phase 4 de l'EU-ETS qui prévoit des quotas gratuits réajustés pour la période 2021-2030. Cette nouvelle phase est surtout concomitante d'une envolée du prix du carbone ;
- Mise en œuvre de la nouvelle réglementation concernant le secteur du bâtiment, la RE2020.

Devant ces évolutions de l'environnement concurrentiel et réglementaire, les groupes cimentiers ont multiplié les initiatives : partenariats technologiques, investissements conséquents dans des cimenteries, innovations destinées à faire émerger des ciments bas carbone.

Pour mieux appréhender la vision des cimentiers et comprendre les stratégies mises en œuvre, des entretiens ont été menés auprès des dirigeants des principaux groupes de l'industrie cimentière évoluant en France : Ciments Calcia, Eciom, Lafarge France et Vicat. Ces entretiens ont été complétés par la lecture de communiqués de presse émis par ces grands groupes, de rapports d'activités et d'articles complémentaires indépendants.

L'objectif de ces entretiens est aussi de placer la carbonatation accélérée dans l'ensemble des leviers actionnés par les professionnels de la filière ciment.

2.1 Ciments Calcia

Avec ses neuf sites de production, Ciments Calcia, filiale du groupe HeidelbergCement, occupe une place de major de l'industrie cimentière sur le marché français. .

Comme ses concurrents, le groupe tente d'actionner l'ensemble des leviers qui doivent conduire à une baisse drastique de ses émissions de CO₂.

L'amélioration de l'efficacité énergétique du procédé cimentier via le recours à des combustibles alternatifs constitue un objectif majeur à court terme. Sur le marché français, l'efficacité énergétique des cimenteries du groupe était parmi les plus mauvaises. Ceci faisait baisser la moyenne de l'industrie française. En 2020, un programme d'investissement de 400 millions d'euros touchant quatre sites de production a été lancé pour corriger cette situation. Le site principal d'Airvault ouvert en 1919 bénéficie de 285 millions d'euros d'investissement. Les montants restants sont répartis sur trois sites : Couvrot (50 M€), Bussac (40 M€) et Beaucaire (30 M€). A travers ces investissements, Ciments Calcia vise à moderniser l'outil de production et améliorer l'efficacité énergétique des procédés de production des sites concernés.

Cette modernisation des sites s'accompagne d'investissements destinés à favoriser le recours aux **combustibles alternatifs**. L'ambition est notamment d'augmenter l'usage de la biomasse et des déchets industriels et de collecte pour couvrir les besoins énergétiques des fours. Au niveau du groupe, un projet de recherche teste dans une filiale britannique la possibilité de substituer une combustion fossile par de l'hydrogène et la technologie plasma.

Ciments Calcia cherche aussi à optimiser les ajouts afin de **réduire la teneur en clinker**. Le recours aux agiles calcinées qui abaisseraient jusqu'à 50 % le bilan carbone d'un ciment classique formé à 100 % de clinker constitue une piste expérimentée.

Dans une perspective de plus long terme, le groupe a lancé plusieurs actions pilotes de **capture et de stockage du CO₂**. L'accord signé entre EQUINOR, principale compagnie pétrolière norvégienne et le site de production de Brevik, vise à capter les émissions de CO₂ de cette usine et à les transporter vers des champs pétrolifères ou de gaz situés en Mer du nord dont l'exploitation est achevée. Au-delà de la technique de captage et de stockage, la recherche porte sur la chaîne de transport du CO₂. Si le projet abouti, il permettra de capter dans un premier temps 400 000 des 800 000 tonnes de CO₂ émises par l'usine. Ce partenariat permet de trouver des solutions bénéfiques à deux acteurs fortement émetteurs de CO₂. Il n'est pas reproductible en France en raison de la localisation des cimenteries françaises du groupe.

Le projet LEILAC (Low Emissions Intensity Lime and Cement) mené en Belgique teste un procédé de séparation directe qui capte le CO₂ immédiatement lorsque celui-ci est libéré par la combustion de la matière première. L'objectif est ensuite de réutiliser ce CO₂ capté dans d'autres processus de production ou de le stocker/séquestrer.

Ces solutions constituent comme la carbonatation accélérée des granulats de béton recyclé, une piste à explorer. Si cette dernière solution émerge, il semble préférable de carbonater sur un site dédié à cet aspect plutôt que de recourir à un système mobile.

Au-delà de la transformation de ses cimenteries, Ciments Calcia estime que le renforcement de l'économie circulaire constitue un levier majeur de décarbonation de ses produits. Aujourd'hui, les bétons de déconstruction sont utilisés dans les travaux routiers. Mais demain, ils devraient être totalement réincorporés dans de nouvelles formulations de bétons grâce à une technologie avancée de séparation sélective des constituants du béton et à la valorisation par carbonatation accélérée des fines recyclées dans le procédé cimentier. C'est le sens du projet démonstrateur CIRCO₂BETON® qui a reçu le soutien de l'État dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir ainsi que celui de la Région Île-de-France.

Ce projet démonstrateur a pris racine suivant les engagements du Contrat Stratégique de Filière Industries pour la Construction (CSF-IPC) et du projet structurant Bâtiment et Territoires « Zéro-Déchet », lui-même piloté par Ciments Calcia. Dans ce cadre, un partenariat a été initié avec l'Établissement public d'aménagement de Marne-la-Vallée (EpaMarne) pour concevoir et réaliser un bâtiment démonstrateur « zéro déchet » faisant l'objet d'une directive aménageur augmentée. L'objectif est d'intégrer une logique circulaire sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment (construction, vie en œuvre et scénario de fin de vie). L'opération envisagée sur la commune de Bussy-Saint-Georges (77), concerne environ 90 logements collectifs. Elle devra

intégrer dans le lot gros-œuvre des bétons incorporant des granulats recyclés sans toutefois s'y limiter. D'autres filières viendront s'y greffer et le réemploi sera favorisé. A ce jour, la commercialisation du foncier n'a pas encore été lancée. Par conséquent, l'opérateur qui sera chargé de cette réalisation reste encore à identifier.

La transition vers des bétons neutres en carbone ne sera couronnée de succès que si les pratiques et la culture des acteurs de la filière évoluent. Chez un industriel comme Ciments Calcia, ceci concerne autant les techniciens que les dirigeants. Le rôle de la formation dans ce domaine est essentiel. Par ailleurs, les indicateurs de mesure doivent aussi évoluer pour correspondre aux priorités actuelles. Par exemple, le taux de biomasse du four d'une cimenterie est un élément désormais important.

Toutes ces actions doivent permettre à Ciments Calcia (groupe HeidelbergCement) d'atteindre ses objectifs qui répondent aux critères de l'iSBT (initiative Science Based Targets). En mai 2022, le groupe HeidelbergCement a resserré ses objectifs et vise désormais une réduction de ses émissions nettes spécifiques de CO₂ de près de 50% par tonne de matériau cimentaire d'ici 2030 par rapport à 1990, pour atteindre 400 kg CO₂/t CEM.

2.2 EQIOM

EQIOM est né à la suite de la fusion des groupes HOLCIM et LAFARGE en 2014. Afin de satisfaire les demandes des autorités de la concurrence européenne, les actifs HOLCIM France ont été cédés en 2015 au groupe CRH spécialisé dans les matériaux de construction (ciment, béton, granulats) destinés au BTP, devenant ainsi une nouvelle entité, EQIOM. EQIOM s'appuie sur 1500 salariés et possède trois cimenteries, 5 stations de broyage, 121 centrales à béton, 52 sites de granulats et deux plateformes de traitement et de valorisation des déchets.

Pour atteindre ses objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050, EQIOM a lancé plusieurs projets pilotes. En raison de la proximité de la cimenterie de Lumbres (Pas de Calais) au terminal de Dunkerque, la modernisation du four de cimenterie, associé au **captage et stockage du carbone** représente l'un des projet phare pour EQIOM dans sa stratégie bas carbone.

Ce projet, dénommé K6, a pour objectif l'industrialisation complète d'une captation carbone à grande échelle. À la suite d'un appel à candidature Européen en 2021, EQIOM a été l'un des sept lauréats sur 300 candidatures du Fonds européen consacré à l'innovation, ce projet bénéficie de surcroît d'un appui national et européen important. Par exemple, une subvention européenne pour cette technologie de captation a été attribuée. Pour en faire l'une des premières cimenteries européennes neutre en carbone, un four dit « à oxy combustion » sera développé pour permettre à la concentration en CO₂ d'être suffisamment élevée afin d'être captée. Air Liquide, partenaire de ce projet de recherche & d'implantation industrielle, aura la charge de mettre en place sa technologie de captation et liquéfaction du CO₂ émis à la cheminée. Une fois purifié et liquéfié, le CO₂ capté à Lumbres sera acheminé par voie ferrée ou pipe vers le port de Dunkerque qui constitue la première plateforme multimodale française d'exportation de CO₂. De là, il serait transporté par bateaux vers des sites de stockage permanent situés en Mer du Nord (puits pétroliers qui ne sont plus exploités ou bassins aquifères salins). Ce programme à long terme (le site serait opérationnel à partir de 2028) vise à capter environ 8 millions de tonnes de CO₂ sur les dix premières années d'exploitation.

L'investissement d'EQIOM dans ce programme K6 est conséquent et témoigne de sa volonté d'innover dans des systèmes de captation & stockage de carbone (CCS). En parallèle, EQIOM poursuit sa recherche et développement dans le domaine du CCU, c'est-à-dire la captation et utilisation du carbone via la minéralisation de celui-ci. Ces projets souvent moins capitalistiques que le CCS offrent une efficacité de captation moindre et un bilan carbone – et financier - pénalisé par la nécessité de transporter des volumes importants matériaux (e.g. minéralisation du béton de déconstruction).

Le recours à **des combustibles alternatifs** représente une seconde piste que le groupe explore via son offre SAPPHIRE qui conduit à faire du sourcing de combustibles de

substitution. Chacune des trois cimenteries valorise les déchets prétraités sur des plateformes dédiées. A ce jour, selon les sites cimentiers, entre 30% et 50% des combustibles utilisés en cimenterie sont dits d'origine fossile (Petcoke ou charbon), le reste représentant une source d'énergie thermique alternatives (CSR, huiles, liquides énergétiques, solvants, etc.). La filière biomasse représente aujourd'hui entre 10 et 20% du total selon les sites, et son expansion est limitée en raison de son coût et de la forte demande du marché du fait de sa neutralité carbone. La France reste en recul par rapport à certains de ses homologues européens en termes d'utilisation de combustibles de substitution. Ainsi, la moyenne française se situe autour de 40%, alors que l'Allemagne par exemple atteint 70% du fait d'un parc industriel plus récent et d'une réglementation plus incitative. A noter également qu'une usine moderne et vertueuse utilisant peu de combustibles fossiles peut avoir une image négative auprès des parties prenantes du fait de sa forte utilisation de combustibles de substitution, considérés comme des « déchets »

La baisse du taux de clinker constitue un autre axe de développement de la stratégie bas-carbone d'EQIOM. A ce jour, le taux de clinker des trois cimenteries du groupe est l'un des plus faible parmi les cimentiers grâce à ses gammes aux calcaire, laitier et cendres volantes. Cette situation sera amenée à évoluer car l'industrie sidérurgique évolue aussi. Par exemple, la technologie DRI (Réduction directe du fer) annoncée par ARCELOR sur ses sites réduira la part de laitier produit. D'autres SCM (Secondary Cementitious Materials) venant en substitution du clinker ou laitier sont ainsi en développement, tels que les argiles calcinées ou autres matériaux à potentiel de liants hydrauliques.

Un autre axe de développement est lié à la vente de matériaux qui constitue le cœur de métier de la maison mère (CRH). C'est à ce titre et pour anticiper les évolutions réglementaires qui imposeront un certain volume de matériaux recyclés dans les projets de construction, qu'EQIOM a ouvert à Gennevilliers sa seconde **plateforme de recyclage et de valorisation de déchets de béton** issus de chantiers de démolition (5 000 m²). A ce jour en France, 80% des matières recyclées sont orientées vers les travaux publics. Si les granulats de béton ne trouvent pas davantage de débouchés dans le bâtiment, les raisons sont multiples : Prix souvent plus onéreux que le granulats naturel, manque de structuration de la filière (ce qui augmente le coût du recyclé), moindre qualité performancielle du granulats recyclé ayant pour conséquence une augmentation des dosages en ciment et une dégradation de l'empreinte carbone du béton. Enfin, le débouché routier est privilégié car il reste moins contraignant sur l'aspect qualitatif du granulats. Pour le bâtiment et plus largement les ouvrages structurels, les contraintes de qualité sont supérieures ce qui nécessite un tri plus sélectif, et un traitement du béton de déconstruction plus poussé en amont du concassage du granulats recyclé. Le criblage effectué sur la plateforme donne en moyenne 20% de gravillons, 40% de sable et 40% de plus gros granulats. En attendant l'officialisation des nouvelles normes, le sable est destiné aux remblais routiers et aux sous-couches routières.

Le groupe EQIOM cherche aussi à **minimiser l'impact des transports** dans son bilan environnemental. Si le poids du transport dans les émissions de CO₂ du ciment est faible, il est en revanche plus important pour le granulats. Afin de réduire son impact environnemental, EQIOM cherche à favoriser le double fret (plus de 70% des cas), à recourir davantage au ferroviaire et au fluvial, à s'appuyer sur des véhicules moins émetteurs de CO₂ et particules fines. Même si l'impact environnemental de ces actions reste plus faible que celles liées au processus de fabrication du ciment, elles complètent les engagements d'EQIOM destinés à réduire son empreinte carbone.

2.3 Lafarge France

Lafarge France est la filiale du groupe HOLCIM qui compte 4 200 salariés (le groupe Holcim emploie 70 000 personnes et est présent dans 70 pays à travers 266 cimenteries et usines de broyage). Au niveau mondial, 75% des émissions de CO₂ du groupe sont liées au processus de production (Scope 1) : 47% sont liés au procédé de production (décarbonation des matières

premières), 25% aux combustibles utilisés lors du processus de production du ciment, 2,5% à l'énergie liée à ce processus et 0,5% à la production de granulats et de béton. Les émissions indirectes liées à l'achat d'électricité consommée dans les équipements détenus ou contrôlés par le groupe (électricité utile au fonctionnement des bureaux par exemple) représentent 5%. Quant aux autres émissions indirectes du scope 3 (par exemple, les émissions liées aux matériaux achetés, au transport), elles représentent 20% du total.

Pour le scope 2, l'objectif est de le diviser par 4 à l'horizon 2030 et d'arriver à la neutralité en 2050 en utilisant uniquement des énergies renouvelables.

L'objectif est de réduire le scope 3 qui couvre essentiellement les aspects logistiques, de 25% les émissions d'ici 2030. Pour arriver à la neutralité carbone d'ici 2050, il faudra s'appuyer sur une logistique renouvelable.

Comme le scope 1 représente la plupart des émissions, c'est aussi celui qui concentre la plupart des actions. En 2030, l'objectif est d'atteindre 475 kg de CO₂/tonne de liants et d'arriver à la neutralité en 2050.

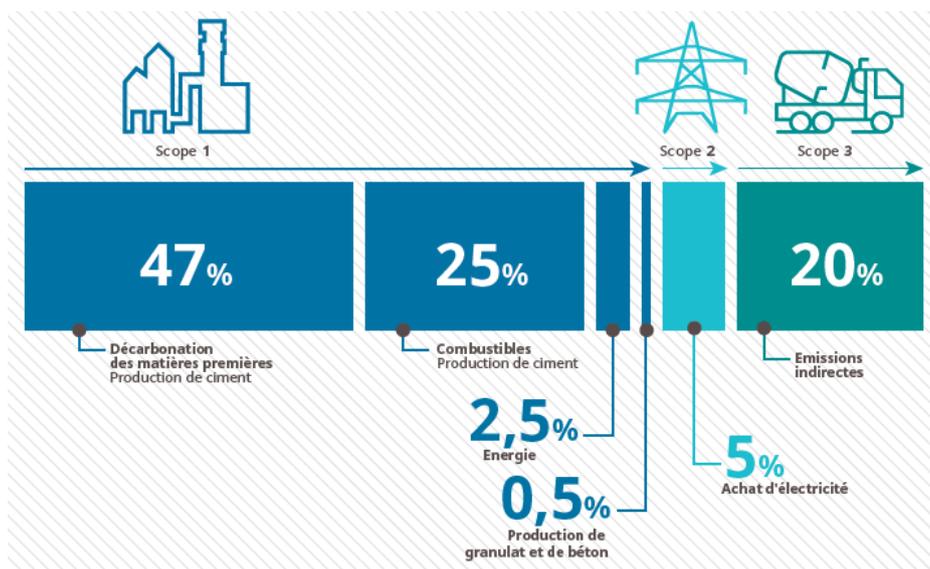


Figure 2 : Empreinte CO₂ du groupe HOLCIM (Source : Lafarge France, 2021)

Pour améliorer l'efficacité du processus, Lafarge a investi dans des fours plus efficaces. Par exemple, à l'usine de Martes-Tolosane (Haute-Garonne), 120 millions d'euros ont été consacrés au remplacement des fours construits en 1956 et 1966 par une tour de préchauffage qui permet au mélange calcaire argile d'être porté à 500°C avant même d'être introduit dans le four. La baisse des émissions de CO₂ escomptée est de 20% par tonne de ciment.

Ces investissements conséquents ont aussi conduit à augmenter **la part des combustibles de substitution** (de 30 à 80%). Ceci est notamment passé par la création d'atelier de stockage et de traitement des déchets. En 2021, les combustibles de substitution (déchets) représentaient 50% des combustibles des cimenteries (40% en France). Fin 2022, ils devraient représenter 59%, 80% en 2030 et 100% en 2040. Recourir exclusivement à la biomasse est impossible en raison de l'offre insuffisante. Les déchets en revanche sont disponibles. La difficulté porte sur le processus de cuisson. Les technologies développées pour brûler les déchets restent complexes. En outre, la chaîne logistique joue un rôle. Il faut des ateliers de réception et de préparation des déchets.

Baisser le taux de clinker en recourant aux cendres volantes ou aux laitiers sera de moins en moins envisageable. EDF arrête progressivement ses centrales thermiques (fin des cendres volantes) et les aciéries ferment ou adoptent aussi des technologies plus modernes (par exemple recours au biogaz à la place du charbon). Ceci engendre une baisse inéluctable de la ressource. **Les argiles calcinées** constituent la seule alternative envisageable à court terme. Ces argiles nécessitent une température de cuisson moindre (800°C contre 1400°C pour le clinker) et leur décarbonation est plus faible que celle du clinker. Ces solutions qui ont

déjà été testées dans l'usine de La Malle (Bouches-du-Rhône) doivent permettre de réduire les émissions de CO_2 de l'argile calcinée à hauteur de 150 kg / T d'argile. Cette évolution a été aussi rendue possible grâce aux nouvelles normes ciment qui ont notamment introduit les CEM II/C-M. Ces normes étendent les possibilités d'utilisation de l'argile calcinée dans les ciments.

L'activation de l'ensemble de ces leviers devrait permettre d'atteindre le niveau de 475 kg de CO_2 d'ici 2030.

Cet objectif de réduction des émissions nettes de CO_2 ont été validés en 2020 par l'Initiative Science Based Targets (SBTi).

Pour aller au-delà et tendre vers la neutralité carbone, Lafarge France compte sur des technologies qui permettent de **séquestrer et d'utiliser le CO_2** .

La séquestration est soit terrestre soit off-shore. La première approche est moins coûteuse à mettre en œuvre dans la mesure où il n'est pas nécessaire de liquéfier le CO_2 (le processus de liquéfaction est coûteux). Un projet de séquestration du CO_2 sur le site de Lacq-Rousse (où Total / Elf Aquitaine exploitait autrefois du gaz) est envisagé à moyen terme. La relative proximité avec l'usine de Martes-Tolosane rend cette solution envisageable.

L'utilisation du CO_2 en le piégeant pour développer des combustibles alternatifs et de nouveaux matériaux plastiques, constitue une autre alternative.

La réaction de CO_2 avec de l'hydrogène permet d'obtenir du méthanol. Un raffinage plus poussé conduit à obtenir du plastique. Le point clé, c'est le coût de l'hydrogène qui est « gourmand » en électricité. Bien que cette approche ouvre des perspectives intéressantes, rien n'est lancé à ce jour dans ce domaine qui manque encore trop de visibilité.

La solution développée dans FastCarb qui constitue une autre forme d'utilisation du CO_2 , n'est à ce jour pas encore suffisamment intéressante. C'est un fait : le coût d'investissement et le coût opérationnel ne permettent pas de réussir à produire un granulats recyclés carbonatés compétitifs. Mais l'équation économique pourrait changer avec l'évolution du prix du carbone et la mise en place de crédits compensation carbone. Même si le gain carbone lié à la carbonatation est minime (entre 10 et 30 kg de CO_2), dans le cadre de la RE2020, ce gain peut permettre à certains projets de passer sous les seuils affichés et des technologies constructives à base de béton seront ainsi conservées.

Comme l'indique la figure 2, la neutralité carbone du groupe Holcim comme de l'industrie cimentière, repose beaucoup sur le développement des technologies de séquestration et d'utilisation du CO_2 .

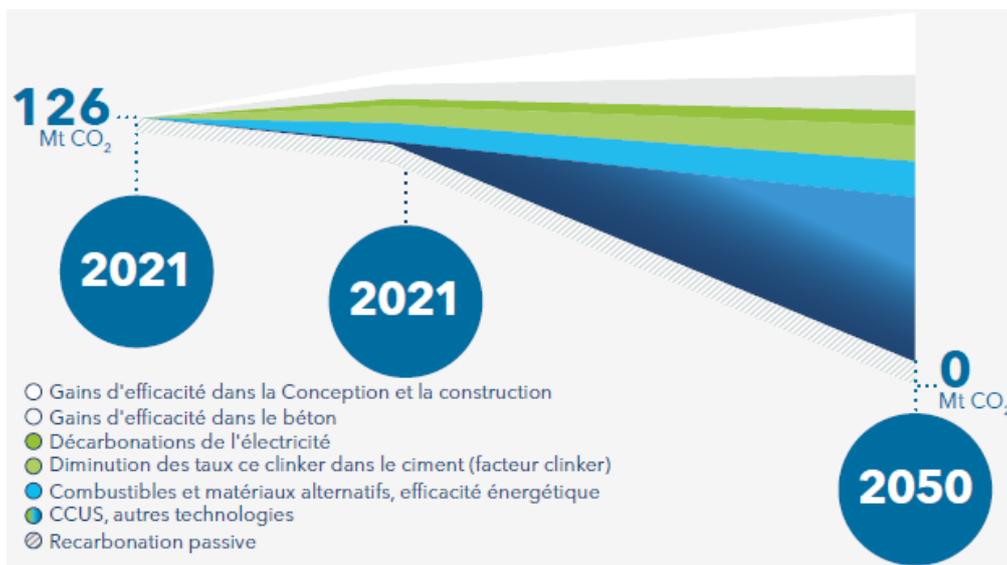


Figure 3 : Trajectoire de réduction des émissions de carbone annoncée par Holcim

Source : Lafarge France, 2022

2.4 VICAT

VICAT est un groupe français dont le capital est majoritairement familial, présent dans douze pays et employant 9 500 salariés. En France, où le groupe réalise un tiers de son chiffre d'affaires, il compte 3 071 salariés répartis sur cinq cimenteries, deux centres de broyage, 151 centrales à béton et 45 carrières de granulats. Il est intégré de façon verticale, notamment sur le recyclage des matériaux à travers son activité granulats et la filière « Circulère » pour les terres polluées. Les émissions de CO₂ au niveau du groupe s'élèvent à 624 kg de CO₂ net/tonne de ciment eq (544 kg dans la zone Europe).

Comme tous les groupes cimentiers, VICAT entend actionner tous les leviers permettant de conduire à la décarbonatation de la filière ciment.

A court terme, la substitution des combustibles fossiles par des **combustibles alternatifs** de type biomasse est une priorité.

Le recours à des combustibles alternatifs et l'élimination des énergies fossiles carbonées et importées sont une des missions centrales du Groupe confiées dans certains pays à des filiales dédiées telle que « Circulère », créée à cet usage pour le marché Français. Le taux d'utilisation des combustibles de substitution s'élève à 26,2% au niveau mondial (62,9% en Europe) et l'objectif est d'atteindre les 100% en Europe dès 2025.

Des partenariats avec des groupes français leaders dans la gestion des déchets, comme PAPREC ou SERFIM, ont conduit au développement de filiales qui récupèrent des déchets non recyclables et les commercialisent comme combustible en remplacement des énergies fossiles. En région AURA, pour le site de Bioval, la capacité de production prévisionnelle est de 50 000 tonnes par an. Ceci doit permettre à l'usine concernée de Montalieu-Vercieu (Isère) qui produit 7% du ciment français de fonctionner avec 95% de combustibles alternatifs aux énergies fossiles (contre 70% actuellement).

La baisse de la teneur en clinker des ciments est un autre axe majeur d'actions. Ceci a conduit au :

- Développement d'un liant bas carbone qui permet d'obtenir des bétons très bas carbone, (réduction de près de 90% de l'empreinte carbone par m³ de béton). Pour arriver à ce résultat, du biochar est incorporé dans le ciment. Ceci permet de séquestrer du carbone (2,9 tonnes de CO₂ équivalent séquestrés par tonne de biochar produit par l'entreprise partenaire Carbonex) ;
- Développement de ciments à base d'argiles activées : cette solution est soutenue dans une usine implantée à Xeuilley en Meurthe-et-Moselle. Elle doit conduire à baisser les émissions de carbone du site de 16% ;
- Développement de solutions biosourcées avec des blocs de chanvre constitués de **granulats de chènevotte** liés avec un **ciment naturel** : **ce bloc émet moins de 1kg de CO₂eq par m².**

Pour abaisser, l'ensemble de ses sources de CO₂, le groupe agit aussi sur le **transport**. Il a ainsi développé un camion-toupie hybride et fonctionnant au GNV qui rejette 96 % de CO₂ en moins que des véhicules classiques et divise par deux les nuisances sonores. Une dizaine de toupies sont opérationnelles et une commande pour des camions à hydrogène a été passée.

Ces émissions liées au transport de marchandises et celles relatives à l'achat de matières et matériaux, sont classées dans le Scope 3 (cf. figure ci-après). La spécificité des cimentiers est d'avoir des émissions de CO₂ majoritairement liées au scope 1. Ceci recouvre les émissions dégagées lors de la cuisson des matières crues dans le four et du processus de décarbonatation notamment du calcaire pendant la phase de cuisson. Les émissions du scope 2 restent marginales et concernent la consommation d'électricité achetée pour le broyage mécanique en amont et en aval de la cuisson.

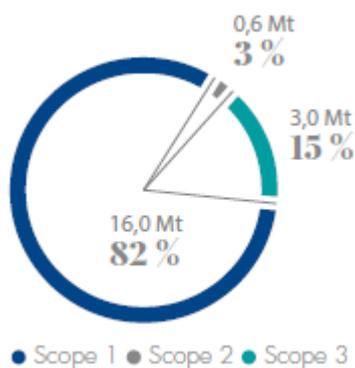


Figure 4 : Répartition des émissions de CO₂ du groupe Vicat en 2020 (Source : VICAT, 2022)

Pour réduire de façon plus drastique les émissions du scope 1 et dans une perspective de plus long terme, le groupe a aussi lancé des actions de recherche portant sur le développement de technologies de **captage et de stockage ou d'usage du carbone**.

Pour **valoriser le carbone émis à la production**, un électrolyseur d'une puissance de 330 MW sera développé dans une des principales cimenteries françaises du Groupe, celle de Montalieu-Vercieu dans l'Isère pour produire de l'hydrogène décarboné. 40% du CO₂ de la cimenterie sera capté à la sortie du four et combiné à l'hydrogène bas carbone produit sur site avec son partenaire Hynamics (filiale d'EDF). Cette combinaison aboutira à la production de plus de 200 000 tonnes de méthanol décarboné par an (environ un quart de la consommation totale de la France à ce jour). Même si le prix de ce méthanol est plus élevé qu'un produit classique, il devrait trouver un marché, sans difficulté. (la consommation mondiale a doublé au cours des dix dernières années).

Dans la même usine de Montalieu-Vercieu, le groupe teste un procédé qui valorise les poussières chlorées liées aux combustibles alternatifs. Ces poussières sont carbonatées avec du CO₂ capté sur les cheminées de l'usine. Elles sont alors transformées en granulats légers.

Conscient que la neutralité doit aussi porter sur **la chaîne de valeur** et pas seulement sur le produit, le groupe a lancé plusieurs actions destinées à économiser la matière première.

Si le projet Recybéton visait à recycler les granulats de déconstruction dans le béton en substitution des granulats naturels, avec la plateforme TERENVIE, il s'agit pour le groupe de reprendre des terres polluées et de les utiliser en substitution partielle aux matériaux de carrière tout en éliminant les polluants dans le processus cimentier. Le projet pilote FastCarb, sur le site de Créchy (03), a également permis d'expérimenter la capture et l'usage de CO₂ par minéralisation de matériaux recyclés.

Cette économie passe aussi par le développement **d'approches innovantes en phase construction**. Même si cela ne concerne pas le cœur de métier du groupe, VICAT est très actif dans ce domaine dans la mesure où cela diminue aussi les quantités de ciment utilisées et diminue d'autant le bilan carbone du projet :

- Smart Up : Pour la réparation d'un pont, le recours à du béton fibré à ultra haute performance a permis d'économiser de la matière. En outre, la solution adoptée a diminué par deux le temps d'interruption du flux de véhicules, ainsi que le poids de l'ouvrage
- Le recours à des techniques d'impression en 3D conduit à optimiser l'usage de la ressource. La bonne quantité de béton est ainsi positionnée au bon endroit. Une division par deux des volumes de béton est ainsi possible. Vicat dispose d'un centre de production 3D à Chambéry (marque Lythosis).

2.5 Conclusion

Tous les cimentiers ont adopté des stratégies destinées à réduire l'empreinte carbone liée à leur activité de production afin de ne pas se placer en porte-à-faux face aux exigences de la RE2020. Ceci passe en premier lieu par une amélioration de l'efficacité énergétique du

procédé cimentier via le recours à des combustibles alternatifs dans le mix-énergétique (usage de la biomasse et des déchets industriels et de collecte pour couvrir les besoins énergétiques des fours). Tous les groupes annoncent vouloir recourir rapidement aux argiles calcinées afin d'abaisser jusqu'à 50% le bilan carbone d'un ciment classique formé à 100 % de clinker. En revanche, les actions de capture et de stockage du CO₂ en raison de leur coût, s'inscrivent dans une perspective de plus long terme.

En outre, les cimentiers ne sont pas égaux face aux solutions technologiques disponibles. L'environnement local joue un rôle clé dans le choix des technologies à privilégier. Par exemple, VICAT a très peu recours au laitier des aciéries car elles ne sont pas localisées à proximité des cimenteries du groupe. Seule une aciérie au Kazakhstan est proche d'une cimenterie du groupe. De même, la séquestration de CO₂ est envisageable pour Lafarge sur la cimenterie de Martes-Tolosane, grâce à la relative proximité du site de Lacq.

Chez EQIOM, c'est la proximité entre la cimenterie de Lumbres (Pas-de-Calais) et Dunkerque qui permet d'envisager de transporter du CO₂ capté puis liquéfié vers des sites de stockage permanent en Mer du Nord (puits pétroliers qui ne sont plus exploités).

Malgré ces perspectives et comme le précise le rapport du Shift Project (2022), l'activation de tous ces leviers d'innovation pour réduire l'impact unitaire de la production d'une tonne de matériau reste encore en-deçà des objectifs de décarbonation imposés par la RE2020. Seules des actions en phase de conception et de mise en œuvre permettront d'atteindre les objectifs fixés. Néanmoins, la mobilisation de ces leviers repose sur une coopération entre les acteurs de l'ensemble de la chaîne de valeur : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises du bâtiment et fabricants de matériaux.

Ce point est confirmé par Favier et al. (2018) qui indique qu'une baisse de 30 à 35% des émissions de CO₂ par rapport aux valeurs de 2015 était possible à l'horizon 2050 (sans introduire de solutions destinées à capturer ou stocker le carbone) si l'ensemble des acteurs du chantier coopéraient.

Les deux sections suivantes examinent justement :

1. Les actions développées par les entreprises de construction dans une optique de décarbonation à l'horizon 2050 et
2. Le positionnement des maîtres d'ouvrage vis-à-vis de l'offre en granulats de béton recyclés.

3 Le positionnement des entreprises de construction

Les entreprises de construction ont également inscrit dans leurs plans stratégiques des actions pour limiter leur empreinte carbone et atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Afin de prendre les décisions les plus appropriées et avoir une vision précise des progrès réalisés, les majors du bâtiment ont mené un bilan carbone couvrant l'ensemble de leurs activités afin d'identifier avec davantage de précision les origines de leurs émissions et de prendre les décisions les plus adaptées pour les réduire. Cette analyse stratégique et les leviers d'action identifiés par différents groupes sont présentés ci-après.

3.1 La stratégie bas carbone de VINCI Construction

VINCI a défini ses actions tout au long de sa chaîne de valeur afin qu'elles soient compatibles avec l'Accord de Paris.



Figure 5 : Les Scopes 1, 2 et 3 de VINCI Construction (Source : EXEGY, 2022)

Les Scopes 1 et 2 concernent les émissions internes. L'objectif est d'abaisser ses émissions de CO₂ de 40% d'ici 2030 par rapport à 2018¹. Le tableau 1 précise la répartition de ces émissions et les actions à mener pour les réduire.

Tableau 1 : Actions menées pour réduire les émissions de CO₂ des Scopes 1 et 2 (émissions estimées à 2,2 MteCO₂ en 2020) – Source : VINCI, 2021

Sources d'émissions de CO ₂ liées aux activités directes	Répartition (%)	Actions menées pour réduire les émissions
Engins et camions	44	Recours à une flotte d'engins électriques ou hybrides – Collaboration avec des constructeurs et des loueurs d'engins de chantier pour tester des innovations bas carbone
Véhicules légers et utilitaires	22	Recours à des utilitaires roulant à l'hydrogène ou au biogaz – Développement de plateformes de covoiturage, incitations aux mobilités douces
Activités industrielles	22	Optimiser l'efficacité énergétique et substituer des énergies d'origine renouvelable (installation de centrales photovoltaïques) ou du gaz naturel aux énergies à fortes émissions
Bâtiments	12	Développer des rénovations énergétiques, mieux réguler les températures, favoriser l'éco-conception, recourir à des bases-vie à haute performance énergétique

¹ L'objectif est de 50% pour les concessions routières.

Par exemple, une action vise à substituer le fioul utilisé pour les engins de chantier par des sources d'énergie moins carbonées (Scope 1). Le poids des Scopes 1 et 2 dans les émissions totales de VINCI reste très faible par rapport à celui du Scope 3. Sur ce plan, le profil carbone des entreprises de construction est l'inverse de celui des cimentiers. Afin d'atteindre les objectifs fixés, plusieurs actions ont déjà été ciblées (tableau 1).

Néanmoins, comme le troisième champ est le plus impactant et représente environ douze fois plus d'émissions de CO₂ que les champs 1 et 2 (10 000 ktCO₂ versus 800 ktCO₂ - figure 6), il concentre la majorité des efforts de l'entreprise.

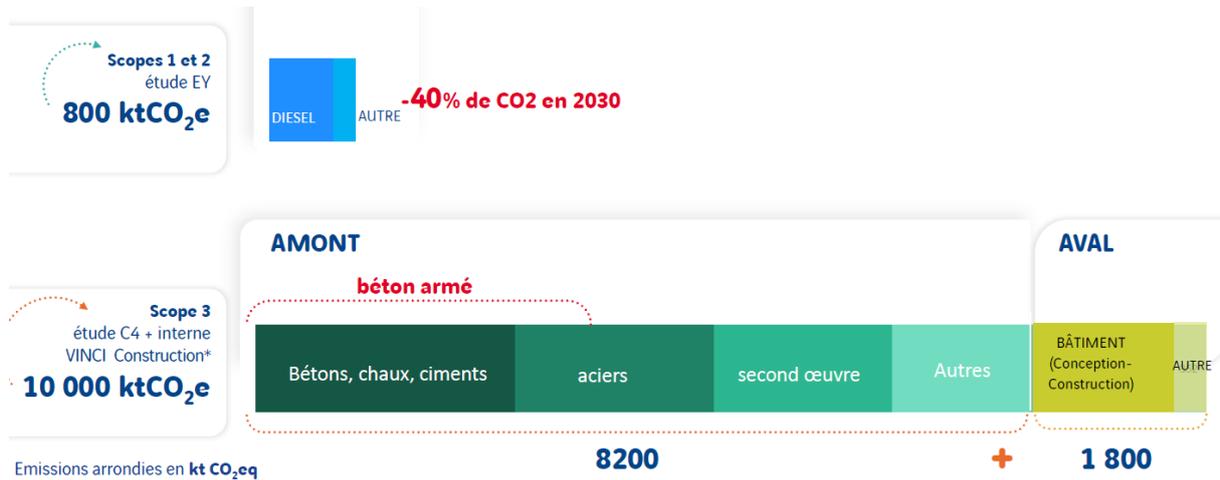


Figure 6 : Impacts carbone directs et indirects de VINCI Construction (avant consolidation EUROVIA) – Source : EXEGY, 2022

Le béton armé représente environ un tiers des émissions du Scope 3 et à ce titre, il constitue l'axe principal de réduction des émissions indirectes d'une entreprise de construction comme VINCI. Pour le groupe qui vise une réduction de 20% de ses émissions du Scope 3 à l'horizon 2030, l'objectif n'est pas tant de substituer ce matériau par un autre que de privilégier des bétons bas carbone et d'optimiser son usage. Cette orientation stratégique a conduit au développement d'une marque commune (EXEGY) qui permet de positionner le groupe tant en interne qu'en externe. En externe, l'objectif est d'impliquer à la fois les fournisseurs (cimentiers) et les clients (les maîtres d'ouvrage qui commandent les bâtiments).

Cela signifie que VINCI opte dès à présent pour des solutions qui décarbonent le matériau béton notamment en recourant à des gammes de béton bas carbone. Cependant, dans ce domaine, la dépendance à l'offre développée par les cimentiers, reste forte. En raison du jeu de l'offre et de la demande, les bétons à base de laitiers qui étaient considérés voici quelques années comme des « sous-produits », se vendent aujourd'hui à des prix supérieurs aux bétons classiques. Avec la baisse des laitiers et des cendres volantes, ce sont les bétons à base d'argile calcinée qui devraient prendre le relais et se substituer au clinker.

Il s'agit aussi de favoriser l'éco-conception et d'optimiser la consommation des bétons en phase de construction. Cela passe par exemple par le développement de solutions mixtes béton-bois, un recours plus marqué au BIM et à l'impression 3D.

3.2 La stratégie bas carbone du groupe EIFFAGE

Le groupe EIFFAGE a développé une stratégie carbone compatible avec les Accords de Paris pour tous les secteurs dans lequel il intervient : la construction, les infrastructures, l'énergie et les concessions. Cette stratégie est soumise au SBTi. Par ailleurs, le groupe a cherché à classer ses actions par rapport aux indicateurs de la taxonomie européenne. « Si 45,8% de son chiffre d'affaires est éligible à cette labellisation, seuls 16,7% sont alignés avec ce standard voté par le Parlement européen » (Armand, 2023)². En d'autres termes, une grande

² L'initiative est innovante dans le secteur du bâtiment.

partie des activités économiques d'EIFFAGE ne sont pas favorables à l'environnement en raison des matières polluantes qui intègrent la fabrication des matériaux de construction.

L'objectif est d'abaisser pour tous les métiers du groupe, les émissions de CO₂ des Scopes 1 et 2 de 46% d'ici 2030 par rapport à 2021 (figure 7). En 2025, un premier bilan sera effectué afin de vérifier que la trajectoire empruntée est la bonne et de prendre des mesures correctives dans le cas contraire.

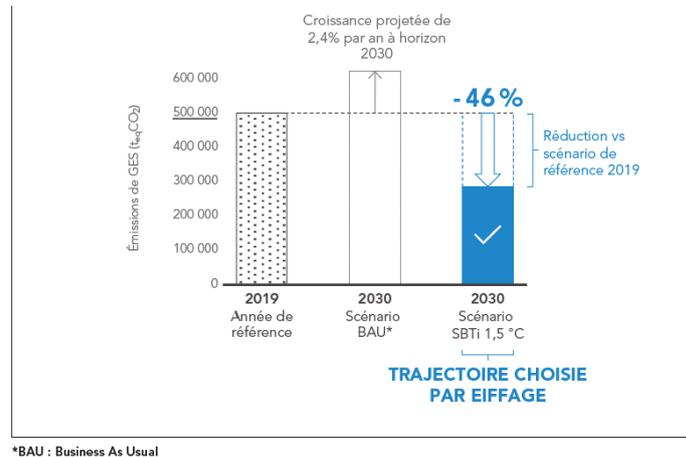


Figure 7 : Objectifs de réduction des émissions de CO₂ sur les Scopes 1 et 2

Source : EIFFAGE, 2022

Pour réduire les émissions liées à ces deux champs, trois actions majeures sont menées :

1. La baisse des consommations d'énergie :
 - a. Des bâtiments des entités opérationnelles du groupe via des actions de rénovation et la construction de sites qui répondent à la RE 2020 (cible E3C2) ;
 - b. Des engins de chantier (mini-pelle électrique, camions roulant au gaz) et des flottes de véhicules (choix pour des véhicules électriques en cas de renouvellement avec des objectifs de renouvellement de 20% et 30% en 2022 et 2023 pour les véhicules de fonction) ;
2. L'approvisionnement du groupe en énergie renouvelable : par exemple, 27 sites détenus par le groupe seront équipés en panneaux photovoltaïques sur les toitures ;
3. La décarbonation du parc immobilier du groupe.

Comme chez VINCI, c'est le Scope 3 qui concentre la plupart des émissions de CO₂ du groupe. Néanmoins, dans son Rapport Climat 2022, EIFFAGE inclut les infrastructures dans le périmètre de référence de son SCOPE 3 aval et les exclut de son Scope 3 amont. Par conséquent, les émissions du Scope 3 aval résultent pour l'essentiel des consommations des véhicules et apparaissent beaucoup plus fortes que celles de VINCI (figures 8 et 9).

Dans le cadre de ses engagements auprès de la SBTi (Science-Based Targets initiative), EIFFAGE s'est fixé un objectif de réduction de ses émissions de CO₂ de 30% tant pour le Scope 3 amont que pour son Scope 3 aval direct. Cet objectif ne concerne pas le Scope 3 aval indirect. En effet, ce champ inclut les émissions générées indirectement par les ouvrages et les produits vendus durant toute leur durée de vie qui sont difficiles à maîtriser.

Pour l'amont, l'objectif de baisse de 30% passe par une politique d'achat pro-active destinée à favoriser des matériaux et des process moins impactants. Les salariés du groupe ont la possibilité via un logiciel de repérer les produits et de comparer leurs performances environnementales afin de proposer des variantes offrant un meilleur bilan carbone. Lorsque les clients choisissent des solutions moins émissives, cela réduit aussi les émissions du Scope 3 aval.

Plusieurs actions destinées à favoriser l'économie circulaire participent aussi à améliorer le bilan carbone des projets de construction. Le cas du projet de déconstruction – reconstruction

de l'ancien site de l'Ecole Centrale dans l'éco-quartier La Vallée à Châtenay-Malabry a ainsi conduit à la valorisation de 35 000 m³ de granulats en voirie et de 18 000 m³ en béton après concassage et criblage sur site (EIFFAGE, 2020). Cela a conduit à éviter le trajet de 6 000 camions. Ce cas n'est cependant pas reproductible systématiquement puisqu'il résulte de la conjonction de plusieurs facteurs :

- Les bétons qui ont été concassés étaient très homogènes ;
- Les moyens de production ont pu être amenés sur le site en raison des quantités et de l'espace disponibles ;
- Alors que sur certains projets, le granulats naturel s'avère plus économique, les volumes importants traités sur ce chantier et le mode de recyclage choisi (sur site) rendait la solution granulats recyclés plus rentable.

De même après une étude géochimique des terres d'un chantier à Clamart voisin de 5 km de Châtenay-Malabry, ont pu être transférées. Cela a permis d'éviter un coût de mise en stockage d'environ 150 000 € HT pour le chantier d'origine et de baisser les coûts d'acheminement des terres de remblai de 180 000 € HT pour le chantier de destination (Châtenay-Malabry).

Par ailleurs, en choisissant des matériaux alternatifs comme le bois ou en optimisant les volumes de béton, EIFFAGE réussit à diminuer l'impact carbone de ses projets. Enfin, le groupe a développé un système de traçabilité du bois qui a été étendu à d'autres matériaux afin de fournir aux maîtres d'ouvrage une information relative aux parcours des matériaux.

ÉMISSIONS DU SCOPE 3 AMONT ANNÉE 2019, GROUPE HORS CONCESSIONS

3 570 000 t_{eq}CO₂

DONT INTERNATIONAL

710 000 t_{eq}CO₂

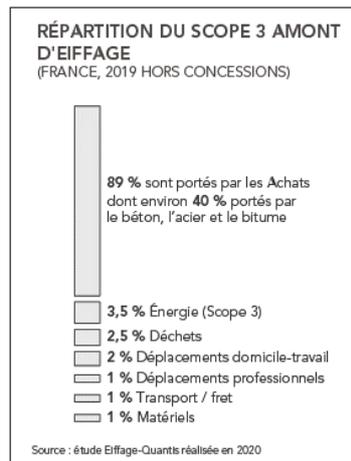
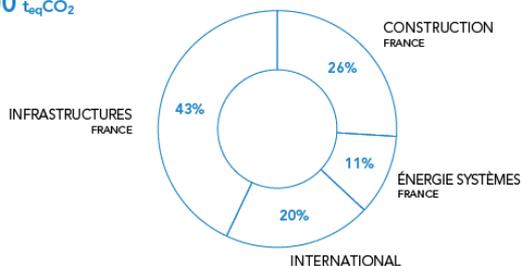
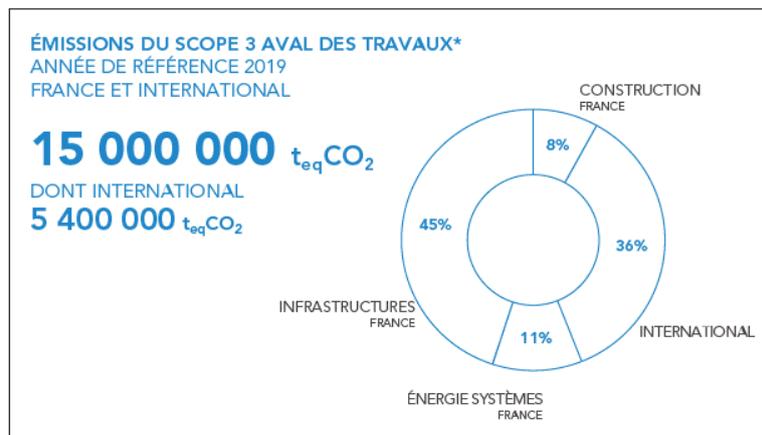


Figure 8 : Emissions et répartition du Scope 3 amont d'EIFFAGE (Source, EIFFAGE, 2022)



*Activités de travaux uniquement

Figure 9 : Emissions du Scope 3 aval des travaux (Source : EIFFAGE, 2022)

3.3 Les stratégies bas carbone d'autres constructeurs

Les stratégies des autres entreprises du bâtiment s'inscrivent dans une veine similaire. Elles cherchent à court terme à réduire fortement les émissions liées à leurs Scope 1 et 2 sur lesquelles elles peuvent agir directement et dans une perspective de moyen à long terme diminuer les émissions liées au Scope 3, en proposant des alternatives moins émissives aux maîtres d'ouvrage et en misant sur des matériaux bas carbone.

Un autre major comme BOUYGUES a ainsi lancé plusieurs initiatives pour abaisser le bilan carbone du Scope 3 de BOUYGUES Construction de 30% et celui de BOUYGUES Immobilier de 32% à l'horizon 2030 (Bouygues, 2022) :

- Une augmentation du recours au béton bas carbone de 10% entre 2020 et 2021. Dans les projets liés au bâtiment, ils représentent en volume 25% de l'activité ;
- Un recours de plus en plus affirmé à la construction bois : en mai 2021, BOUYGUES Bâtiment France Europe a signé un engagement avec la filière bois pour que 30% de ses projets soient réalisés en bois d'ici 2030 (Defawe, 2021). 35 projets basés sur ce matériau ont été remportés en 2021 et BOUYGUES immobilier a livré 100 000 m² de bâtiments résidentiels et tertiaires en bois cette même année.
- Des équipes pluridisciplinaires d'experts ont été mobilisés afin de mener la chasse au carbone sur tous les lots. « *Les moyens développés visent à privilégier la compacité, l'économie de matière, l'utilisation du bois en structure, la mise en œuvre de matériaux biosourcés ou encore le recours à l'économie circulaire* » (Luquain, 2023). Trois projets de 5000 m² de bureaux qui affichent une ambition de 292 kg éq. CO₂/m² devraient rapidement voir le jour. Ce poids carbone affiché est 40% inférieur aux objectifs du seuil 2031 de la RE2020 fixé à 600 kg éq. CO₂/m².
- En matière de rénovation énergétique, BOUYGUES Construction a développé des solutions préfabriquées qui s'inspirent de la démarche hollandaise « EnergieSprong » visent à transformer des logements énergivores en bâtiments basse consommation.

LEON GROSSE qui a réalisé son premier Bilan Carbone complet (scopes 1, 2 et 3) sur l'activité 2020 en 2021, affiche un objectif de réduction de 15 % de l'intensité de ses émissions carbone internes par rapport à son activité. Pour le Scope 3, l'objectif comme dans les autres groupes est de proposer aux maîtres d'ouvrages des offres avec un impact environnemental réduit par rapport à la description programmatique. Ceci passe aussi par des collaborations avec les cimentiers. Un projet collaboratif avec VICAT a conduit l'entreprise de 2 100 salariés à tester sur le site de sa nouvelle Direction régionale à Bron, un béton comprenant du « biochar » (un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse de biomasse) dont l'empreinte carbone est réduite de 90% par m³ (Paturel, 2023).

3.4 Conclusion

Pour réduire les émissions liées aux Scopes 1 et 2, d'origine interne, tous les constructeurs ont cherché à recourir à des engins de chantier et des véhicules électriques, à développer l'approvisionnement du groupe en énergie renouvelable de leurs bâtiments et à améliorer la performance énergétique des bâtiments de leurs entités opérationnelles via des actions de rénovation et la construction de sites qui répondent à la RE 2020. Pour réduire, les émissions du Scope 3, tous privilégient des matériaux moins émissifs. Néanmoins, alors qu'un groupe comme VINCI mise sur le développement de bétons bas carbone, BOUYGUES s'oriente davantage vers des solutions bois. Par ailleurs, tous cherchent aussi à proposer à leurs clients des variantes offrant un meilleur bilan carbone. Mais dans ce domaine, comme dans celui du développement des solutions bas carbone, cela passe par une forte collaboration entre l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur. Sur ce plan, les entreprises de construction interrogées regrettent le manque de collaboration avec les industriels fournisseurs et notamment les cimentiers. Elles critiquent notamment un manque de visibilité de l'offre bas carbone et de disponibilité des matériaux sur certains chantiers.

4 La demande des maîtres d'ouvrage pour des granulats recyclés et carbonatés : résultats d'une enquête en ligne

L'essentiel de la production française de granulats recyclés, issus de la démolition, est orientée vers des utilisations à faible valeur ajoutée (fondations de routes, remblais etc.) qui consomment traditionnellement des granulats avec peu d'exigence de qualité. L'offre de GBR reste aussi atone en raison d'une demande qui émerge à peine. Les maîtres d'ouvrage actuels tendent encore à privilégier les granulats naturels dans leurs cahiers des charges.

Cependant, ils ont un grand rôle à jouer dans l'adoption de matériaux moins carbonés ainsi que dans la préservation des ressources. En effet, le changement des pratiques pour les acteurs de la construction implique la modification du schéma logistique et de la mise en œuvre engendrant souvent une hausse des coûts de la construction dont les maîtres d'ouvrage (MOA) auront la charge. Toutefois des leviers comme l'évolution du prix du carbone, la nouvelle réglementation RE2020 mais également les objectifs de certifications ou la volonté des MOA de réduire leur empreinte carbone peuvent faire émerger ces nouvelles pratiques.

L'évolution de la réglementation œuvre dans ce sens. Les préconisations émises dans Recybéton vont prochainement être intégrées aux normes, rendant possible l'intégration d'un certain pourcentage de sable recyclé dans la fabrication du béton. Il faut toutefois sensibiliser les acteurs à ces évolutions afin qu'ils mettent en application ces nouvelles possibilités.

Afin d'apprécier le positionnement des MOA en matière d'économie circulaire, un questionnaire en ligne comprenant une dizaine de questions leur a été adressé. Ces réflexions permettent de mieux apprécier l'appétence du marché pour du GBR carbonaté et son potentiel développement.

4.1 Les répondants

Ce questionnaire en ligne a été envoyé à plus de 2 000 contacts mails. Toutefois, de nombreuses adresses correspondent souvent aux mêmes organisations ou bien ne sont plus actives. Après plusieurs relances, seulement 34 maîtres d'ouvrage ont finalement répondu à l'enquête. Cela offre tout de même un premier aperçu sur un panel varié, du potentiel de développement des GBR et des GBRC. Il est important de noter qu'il peut figurer un biais de sélection concernant les répondants. En effet, les profils ayant souhaité répondre sont souvent des acteurs tournés vers la transition écologique et sensibles aux enjeux de l'économie circulaire.

Les répondants sont de profils variés, ils représentent des collectivités, des métropoles, des bailleurs sociaux ou encore des aménageurs privés et publics. Les m² qu'ils construisent chaque année sont également variables d'un maître d'ouvrage à l'autre. Ils s'étendent de 200 m² à 100 000 avec une valeur médiane à 3 350 m².

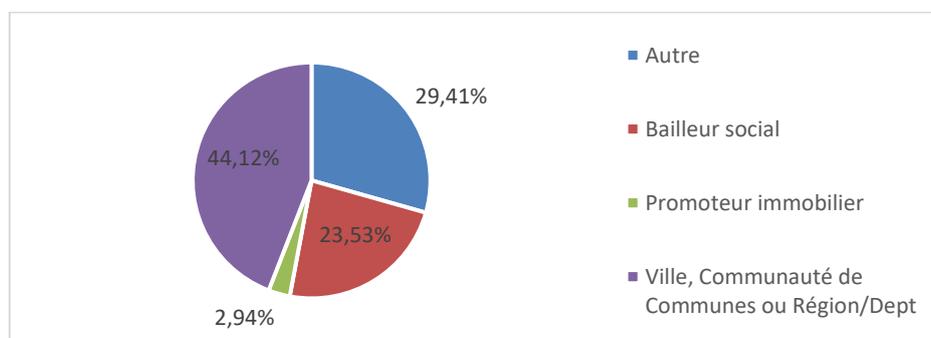


Figure 10 : Profils des répondants

4.2 Les engagements

Parmi les 34 maitres d'ouvrage interrogés, la moitié (51%) renseignent que leur organisation a pris des engagements visant la neutralité carbone d'ici à 2050. Ces engagements ne sont pas les mêmes en fonction des profils des répondants. Pour les collectivités ou métropoles ils se portent davantage sur la mise en place ou l'actualisation du PCAET (Plan Climat-Air-Energie territorial) ou des schémas directeurs. Pour les bailleurs il s'agit principalement de mettre en place des solutions vertueuses concernant le choix des matériaux (biosourcés) et la valorisation des déchets ainsi que dans le choix des équipements/systèmes permettant de réduire la consommation énergétique du parc de logements.

4.3 Les actions mises en place

Des actions en faveur de l'économie circulaire ont été mises en place au sein de ces structures. Celles qui apparaissent majoritairement sont le tri et le suivi des déchets de chantiers ainsi que la prescription de matériaux biosourcés ou de réemploi. A noter que la prescription de matériaux recyclés reste en retrait de ces deux autres pratiques. Cependant, la montée en puissance du tri des déchets devrait permettre de massifier leur gisement et donc d'augmenter la quantité de déchets destinée au recyclage, dont le béton. Cette action apparait comme répondant au renforcement des exigences règlementaires concernant la gestion des déchets entériné notamment avec la Loi AGEC (2020), ou encore la mise en place de la future filière REP (2023).

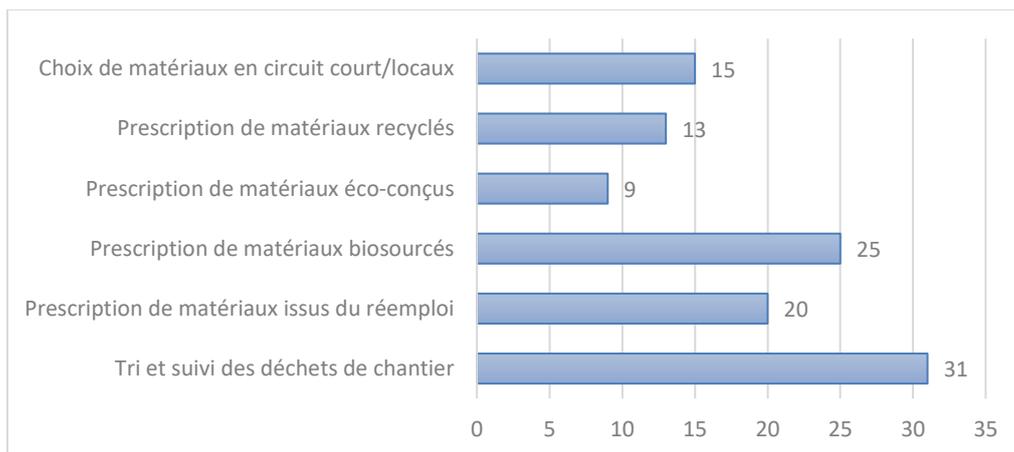


Figure 11 : Actions mises en place par les entreprises en faveur de la neutralité carbone

Afin d'appréhender l'appétence des maîtres d'ouvrage pour l'utilisation des granulats de béton recyclés carbonatés, il convient d'enquêter d'abord sur la part du béton dans leur projets de construction de manière générale et du recours aux granulats recyclés non-carbonatés. Les freins et leviers relatifs à ce produit permettront d'identifier le potentiel d'utilisation des granulats de béton recyclés après carbonatation.

4.4 Le recours au béton et aux granulats de béton recyclés

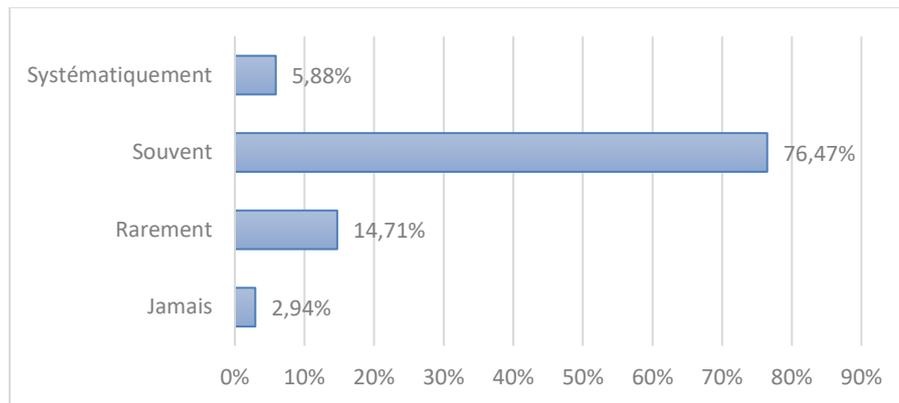


Figure 12 : Fréquence de prescription du béton comme matériau principal dans le cahier des charges

76% des MOA interrogés prescrivent souvent du béton comme matériau principal du bâtiment dans le cahier des charges et 6% le font systématiquement. Seulement 18% n'en prescrivent que rarement ou jamais. Le béton ayant une place prépondérante dans les matériaux utilisés pour la construction, l'intégration de GBR à sa formulation représente une alternative pertinente pour répondre au défi de la réduction de l'empreinte environnementale et à l'utilisation de matière première.

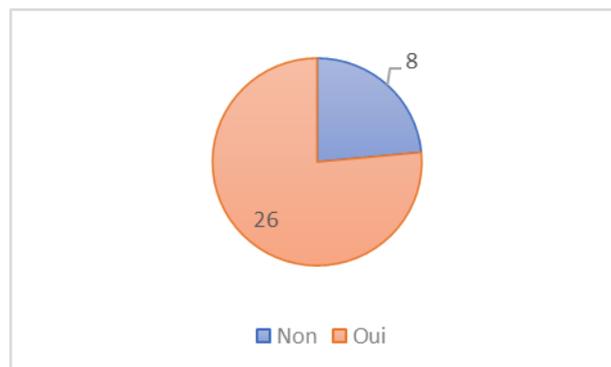


Figure 13 : Connaissances relatives à l'intégration de GBR dans la fabrication de béton bâtiment

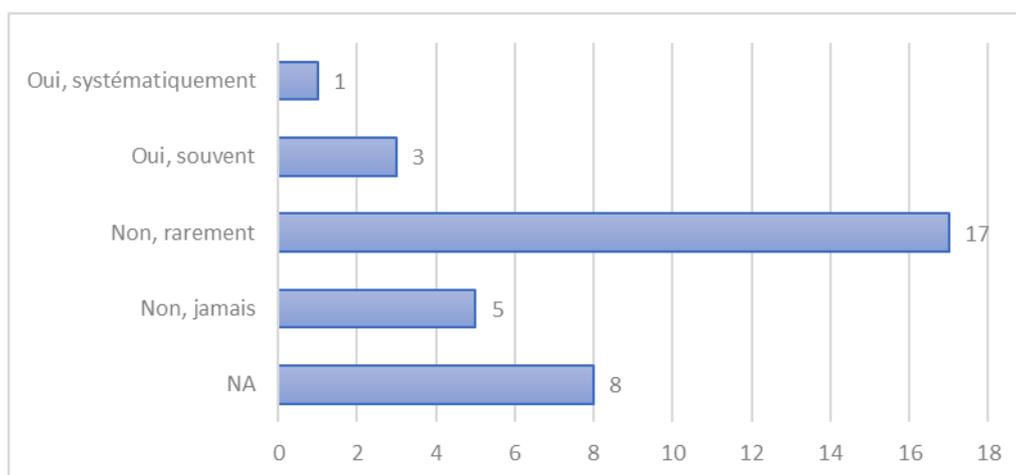


Figure 14 : Intégration de clauses favorisant l'utilisation de GBR dans le cahier des charges

Sur les 34 maîtres d'ouvrage interrogés, 26 déclarent savoir qu'il est possible d'intégrer du GBR dans la formulation des bétons destinés à la construction neuve, ce qui témoigne une bonne connaissance de la pratique. Néanmoins, comme le montre la figure 5, seulement 4 maîtres d'ouvrage sur 35 intègrent souvent ou systématiquement dans leur cahier des charges

des clauses favorisant l'usage de granulats de béton recyclés dans la fabrication des bétons destinés aux bâtiments. Les autres n'en intègrent que rarement ou jamais. L'écart entre la connaissance et la mise en pratique est dû à de nombreux freins qui ont été identifiés au préalable dans le cadre de cette enquête puis sélectionnés par les MOA.

4.5 Les freins

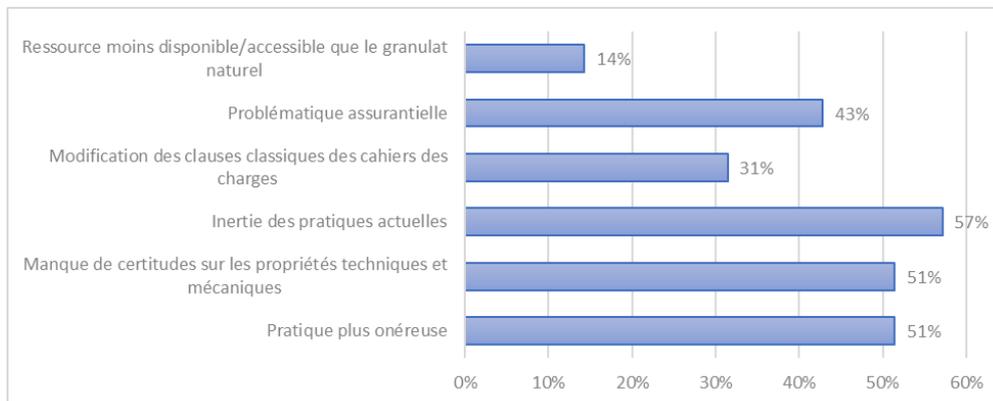


Figure 15 : Freins à l'intégration de GBR dans la formulation des bétons

Le frein qui apparaît majoritairement est celui de l'inertie des pratiques (57%). En effet, les acteurs de la construction qui ont toujours eu pour habitude d'intégrer des granulats naturels n'ont pas d'incitation forte à changer leurs pratiques. Par ailleurs, les responsables de la passation des marchés modifient rarement leurs cahiers des charges ce qui impacte directement la suite des opérations.

La majorité d'entre eux (51%) estiment qu'intégrer du GBR dans la formulation des bétons est plus onéreux que de n'avoir recours qu'à du granulat naturel. Selon les régions et le prix des granulats naturel cela peut être avéré comme le montre les données analysées dans le cadre de l'analyse économique (Livrable 1). En moyenne les granulats de béton recyclés sont 1 à 2€ plus cher par tonne que les granulats naturels.

Plus de la moitié (51%) d'entre eux avancent également un manque de certitudes sur les propriétés techniques et mécaniques de ces GBR. En effet, certains maîtres d'ouvrage expliquent que le fait d'intégrer des GBR dans la formulation des bétons ferait augmenter la quantité de ciment ce qui diminuerait l'intérêt environnemental. Pour certains maîtres d'ouvrage dont les bâtiments sont spécifiques (bâtiments historiques par exemple) l'intégration de GBR n'est pas possible. La disponibilité de la ressource ne semble pas poser de problème quant au recours à des GBR.

Un autre frein identifié par les MOA réside dans le fait que l'intégration de GBR repose dans certains cas sur le concours des MOE qui n'ont parfois pas les connaissances nécessaires sur ces produits. De plus, pour certains projets, le recyclage in situ n'est pas toujours possible, notamment lorsque l'emprise au sol ne permet pas le concassage et le tri sur place. D'autres MOA soulèvent l'absence de filière et de plateforme de stockage, ainsi qu'un manque de valorisation de l'impact carbone pour lequel il n'existe pas de chambre de compensation, et déplore qu'à ce stade il s'agisse plus d'une démarche volontaire qu'objective.

4.6 Le recours potentiel aux GBRC

Une fois les freins identifiés ils leur a été demandé s'ils intégreraient des GBRC dans leurs cahiers des charges si ces derniers offraient de meilleures propriétés que les GBR. Sur les 34 répondants, 32 ont répondu oui. Mis en perspective des freins soulevés quant aux manques de certitudes sur les propriétés, l'importance des garanties techniques apparaît comme un point essentiel dans l'adoption de ces produits.

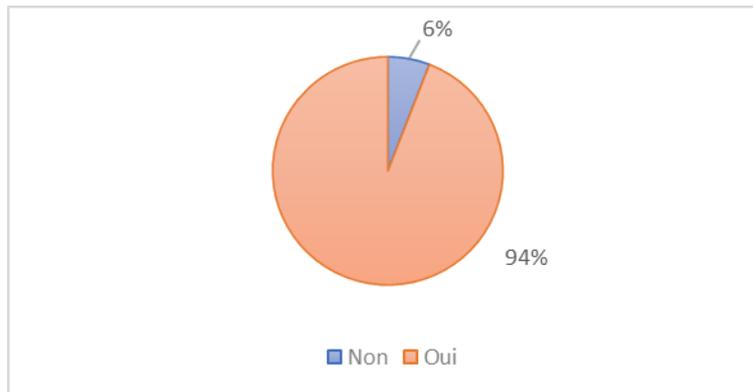


Figure 16 : Part des maîtres d'ouvrage qui intégreraient des GBRC dans leurs cahiers des charges s'ils avaient de meilleures propriétés que les GBR

4.7 Les principales motivations pour l'intégration de GBR dans la fabrication des bétons

Les acteurs intégrant des GBR dans la fabrication de leur béton (au nombre de 4 dans cette enquête) le font principalement pour réduire leur consommation de matière première, répondre à leurs engagements environnementaux et répondre à leurs obligations réglementaires. Un des acteurs interrogés intègre des GBR pour obtenir une labellisation.

L'analyse économique réalisée en parallèle de cette étude rend compte du surcoût advenant pour le concassage, la carbonatation et les multiples flux de transport nécessaire à la fabrication de GBRC. Le budget étant un point clé quant à la réalisation d'un projet, cette donnée est cruciale. En effet, d'après une étude réalisée par Deloitte concernant les surcoûts liés à la RE2020, ils devraient « renchérir le coût de la construction à 2024 de l'ordre de 2,7% pour les bâtiment tertiaires, 4,2% pour les logements collectifs et 3,4% pour les logements individuels ». Interrogés sur le pourcentage de surcoût du projet total qu'ils seraient prêts à accepter pour répondre aux attentes de neutralité carbone, les MOA ont répondu en moyenne à hauteur de 12% de surcoût. Au regard des pratiques et des discours officiels, cela semble surestimé.

4.8 Conclusion

Les maîtres d'ouvrage interrogés ont majoritairement initié des modifications de leurs pratiques en faveur de la neutralité carbone et de l'économie circulaire. Ces pratiques sont orientées en aval sur la gestion et la valorisation des déchets et en amont sur la prescription de matériaux principalement biosourcés ou issus du réemploi. La prescription de matière première secondaire ne semble pas être une pratique fréquente. Les principales raisons mises en exergue par le questionnaire semblent être l'inertie des pratiques actuelles qui pèsent sur les velléités de changement ainsi que le manque de fiabilité relatif à l'utilisation de matière première secondaire et les surcoûts que cela peut engendrer.

Ce faible recours au granulats recyclés dans le bâtiment résulte aussi de la forte disponibilité des granulats vierges dans certaines régions. Ceci ne permet pas à un recyclage qualitatif en boucle fermée d'être rentable. Par ailleurs, la législation relative à la commande publique se limite à des objectifs de recyclage quantitatifs des déchets inertes.

La mise en œuvre de la responsabilité élargie des producteurs des produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment (REP PMCB) et l'évolution des normes devraient cependant faire évoluer la situation et améliorer la disponibilité des granulats recyclés.

A court terme, c'est surtout l'évolution des normes qui devraient permettre un changement des pratiques. En effet, à ce jour, deux « mondes » se regardent. Les producteurs de granulats recyclés pourraient développer une offre pour le bâtiment mais ils attendent que la demande des maîtres d'ouvrage émerge. Quant à ces derniers, ils ne modifient pas pour le moment leurs cahiers des charges et ils préfèrent attendre qu'une offre se développe. Si le béton

recyclé part en priorité sur la route, c'est que cela nécessite peu d'investissement. Concasser le béton et obtenir des gravas de 0-30, c'est relativement aisé. Pour le bâtiment, et donc le béton, il convient de distinguer la partie gravillon (4-20) de la partie sable, qui n'a généralement pas les propriétés requises. A l'issue du concassage, les plateformes disposent de sable dont elles ne savaient que faire puisque les normes n'acceptaient pas jusqu'à présent la partie sable comme matériau recyclé à usage bâtiment. Les nouvelles normes devraient changer cette situation :

- Le producteur de granulats recyclés trouvera en principe plus facilement un débouché pour la partie fine ;
- Les centrales à béton pourront en principe s'approvisionner d'un produit pré-mixé. Dotées de capacité de stockage limitée, elles n'auront ainsi pas à investir dans une case supplémentaire ;
- Le sable naturel et le recyclé pourront être stockés dans le même silo sans que cela pose de problème normatif.

Un autre blocage potentiel résidait dans la stabilité du flux. Pour que les plateformes investissent, le flux de matière première secondaire doit être garanti. Sur ce plan, la REP devrait être complémentaire de l'évolution des normes et favoriser la régularité du flux de granulats issus de la déconstruction ou de la rénovation.

Cette première étape pourrait ensuite ouvrir le marché du sable recyclé et carbonaté.

5 Conclusion

L'objectif de ce rapport était de mettre en exergue les actions menées par les cimentiers et les entreprises de construction pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et de s'interroger sur le positionnement des maîtres d'ouvrage face à cet environnement en mutation.

Les cimentiers se distinguent des entreprises de construction par l'origine de leurs émissions de CO₂. Le processus de production (Scope 1) représente environ 75% des émissions des cimentiers alors que la part de leurs émissions indirectes (Scope 3) avoisine 20%. Le profil carbone des entreprises de construction est inversé puisqu'environ 90% de leurs émissions sont indirectes. Ceci induit des logiques d'actions différentes. Alors que potentiellement les cimentiers peuvent agir directement sur leurs émissions, les entreprises de construction dépendent fortement des stratégies de leurs fournisseurs et de l'attitude en aval de la maîtrise d'ouvrage.

Tous les cimentiers ont adopté des stratégies destinées à réduire l'empreinte carbone liée à leur activité de production. Ils ont cherché en premier lieu à améliorer l'efficacité énergétique du procédé cimentier en recourant à des combustibles alternatifs dans le mix-énergétique. Le recours aux argiles calcinées est la seconde piste envisagée à court terme. Cette solution devrait permettre d'abaisser jusqu'à 50% le bilan carbone d'un ciment classique formé à 100% de clinker. En revanche, les actions de capture et de stockage du CO₂ s'inscrivent dans une perspective de plus long terme. Cette situation résulte avant tout du coût très élevé de ces actions. Par ailleurs, dans de nombreux cas, ces solutions s'avèrent impossibles faute d'un site de stockage à proximité des cimenteries.

Les émissions directes des entreprises de construction résultent de celles de leurs engins de chantier et de leurs véhicules de transport. Pour les réduire le plus rapidement possible, toutes cherchent à recourir à une flotte d'engins de chantier électriques ou hybrides, à utiliser des utilitaires moins émissifs et des bases-vie à haute performance énergétique. Ces actions permettent d'envisager des baisses d'environ 40% à l'horizon 2030 des Scopes 1 et 2 qui représentent cependant une faible part de leurs émissions totales. La réduction des émissions indirectes est plus complexe à mettre en œuvre. Elle passe par le recours à des matériaux alternatifs moins émissifs, l'optimisation des volumes de béton utilisés en cours de chantier et la sensibilisation des maîtres d'ouvrage via la délivrance d'une information plus fine relative aux parcours des matériaux et à leurs impacts, et des variantes offrant un meilleur bilan carbone. Pour agir sur ces émissions indirectes, des stratégies divergentes voient cependant le jour. Alors qu'un groupe comme VINCI mise sur le développement de bétons bas carbone, BOUYGUES privilégie des solutions bois.

Les maîtres d'ouvrage qui en tant que commanditaires ont un grand rôle à jouer pour la promotion de solutions bas carbone, semblent davantage réactifs que proactifs.

Ils modifient sous l'impact de la réglementation leurs pratiques en matière de gestion et de valorisation des déchets. Néanmoins, si la prescription de matériaux biosourcés ou issus du réemploi devient de plus en plus courante, celle de matière première secondaire ne semble pas être encore une pratique fréquente. Les répondants au questionnaire mettent en avant l'inertie des pratiques actuelles, le manque de fiabilité relatif à l'utilisation des matières premières secondaires et les surcoûts que cela peut engendrer.

La mise en œuvre de la responsabilité élargie des producteurs (REP) des produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment et l'évolution des normes devraient inverser cette tendance. Par exemple, la disponibilité et la qualité des granulats recyclés devraient s'améliorer et l'incorporation de granulats recyclés dans les nouveaux bétons se développer. Mais pour autant, le recyclage n'améliorera pas le bilan carbone de l'industrie cimentière si les objectifs de recyclage définis par la législation demeurent strictement quantitatifs.

Pour que l'industrie cimentière et les entreprises de construction atteignent leurs objectifs de décarbonation à l'horizon 2050, une collaboration plus affirmée entre acteurs est indispensable comme le rappelaient The Shift Project (2022) et Favier et al. (2018). Néanmoins, dans le secteur du bâtiment, les coopérations entre acteurs restent encore trop rares. Les relations

client – fournisseur semblent encore trop marquées du sceau du rapport de force. Quant aux maîtres d'ouvrage, s'ils modifient leurs pratiques sous les effets de la réglementation (REP, RE2020), ils restent soumis à des contraintes financières de plus en plus lourdes (baisse des ressources et hausse des dépenses liées à l'énergie). Ils ne sont donc pas ouverts pour s'engager de façon proactive vers des solutions bas carbone et payer les surcoûts associés.

6 Bibliographie

Armand C, 2023, « Neutralité carbone en 2050 : comment Bouygues, Eiffage, La Poste et Saint-Gobain avancent vers cet objectif », *La Tribune*, 23 février 2023

Bouygues, 2022, « Stratégie climat de Bouygues : point d'étape à fin 2021 », *Communiqué de presse*, Paris, 24 février 2022.

Conseil national de l'industrie (2021). Décarbonation de l'industrie – Feuille de route de la filière ciment, Mai 2021.

Eiffage, 2022, *Rapport Climat 2022*.

Eiffage, 2020, *La Vallée Châtenay-Malabry - Retour d'expérience sur l'Economie Circulaire*, INEC, 29 octobre 2020.

EXEGY, 2022, *Pour généraliser l'utilisation de bétons bas carbone sur tous les chantiers de VINCI Construction*, Vinci Construction.

Favier A., De Wolf C., Scrivener K. et G. Habert (201). *A sustainable future for the European cement and concrete industry – Technology assessment for full decarbonisation of the industry by 2050*, ETH Zürich, Research Collection, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. [Report.PDF](#)

IFPEB et Carbone 4. (2021). *Brief filière : Béton les messages clés*, Le Hub des prescripteurs bas carbone.

Lafarge France, 2022, *Rapport Développement Durable 2021*.

Luquain A., 2023, « Bouygues Construction livre sa recette pour diviser par trois l'empreinte carbone des bureaux », *Le Moniteur*, 9 mars 2023.

Paturel, 2023, « Vicat et Léon Grosse s'associent pour tester un béton bas carbone », *Le Journal des Entreprises*, 24 mars 2023.

Quinet A. (2019). *La valeur de l'action pour le climat - Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques*, France Stratégie, Février 2019. [Rapport PDF](#)

The Shift Project, 2022, *Décarboner la filière ciment-béton – Dans le cadre du plan de transformation de l'économie française*, Janvier 2022

Vicat, 2022, *Rapport d'activité 2021*.

VINCI, 2021, *Œuvrer pour un monde durable*, Juin 2021.