



THE CARBON
TRANSITION
THINK TANK

DÉCARBONER LA FILIÈRE CIMENT-BÉTON

DANS LE CADRE DU
**PLAN DE TRANSFORMATION
DE L'ÉCONOMIE FRANÇAISE**

JANVIER 2022



Avant-propos

L'industrie du ciment est au centre d'un nouveau jeu de pressions et contraintes. Le béton, dont il est le composant clé, est à la fois structurant pour l'économie actuelle – c'est la matière la plus utilisée en volumes dans le monde¹ – et au centre de débats fréquents quant à ses impacts sur l'environnement et le paysage.

Les politiques de construction en béton – souvent qualifiées de « bétonnage » – sont encore trop soutenues dans les communes. Le béton représente en effet à lui seul 2,4 % des émissions françaises de gaz à effet de serre (GES). C'est le troisième secteur industriel le plus polluant après la chimie [2]. Cette contribution du béton au réchauffement climatique est devenue une problématique qui resurgit de manière récurrente dans le débat public. Sa situation face à l'alternative du bois comme solution bas carbone toute trouvée réclame aujourd'hui des positionnements pressants.

La position du béton a évolué et s'est complexifiée au cours des dernières décennies. La France est le pays porteur de l'invention du ciment artificiel (Louis Vicat), du béton précontraint (Eugène Freyssinet) et des ouvrages architecturaux majeurs (Mucem à Marseille ou viaduc de Millau, par exemple).

Ce matériau, aux propriétés si nombreuses qu'il a été adopté dans le monde entier, conditionne depuis près d'un demi-siècle les usages et techniques de construction en France : les maçons, les compagnons des entreprises du bâtiment ou les entreprises de génie civil en ont développé un savoir-faire reconnu bien au-delà de l'Hexagone.

Pour être en mesure de la projeter dans ce nouveau paysage et les évolutions à venir, la filière-ciment-béton doit être considérée dans sa globalité. La clé du modèle économique du béton reste le ciment : les grands acteurs internationaux du ciment contrôlent largement les centrales à béton, où les marges sont faibles, qui leur permettent d'écouler leur ciment et granulats, principaux générateurs de profit.

¹ Selon l'édition 2018 du Global Cement Report [1], 4,1 Gt de ciment ont été consommées en 2018, ce qui permet de produire environ 15 Gm³ de béton (y compris béton et mortier faits sur chantier) – environ 35 Gt à une densité de 2,4. La production d'acier en 2018 atteignait 1,8 Gt (IEA), celle de pétrole autour de 100 millions de barils/jour (IEA) soit 5,8 Gm³.

Gourmand en capitaux et en infrastructures lourdes aux inerties fortes, le métier du ciment est donc conservateur par nature.

Le bilan des dernières décennies est paradoxal pour la filière française : alors que ses bétons ont fait l'objet d'améliorations techniques et d'inventivité sur de nombreux plans, la production de ciment français – et donc de béton – n'a fait que des progrès modestes ces 20 dernières années (Figure 2). Face au défi majeur du CO₂, donc, il semble que les cimentiers n'aient pas encore suffisamment engagé les transformations nécessaires, temporisant la mise en place de stratégies de décarbonation d'envergure et laissant inexploitées des marges de manœuvre technologiques considérables : la plupart des leviers existent déjà, mais sans les conditions de leur mise en œuvre.

À quelle vitesse la filière peut-elle se décarboner pour faire sa part ? Est-elle menacée par des solutions alternatives comme le bois ? Est-ce compatible avec les technologies existantes ? Est-ce compatible avec les besoins en logements neufs de notre population ?

Répondre à ces questions est indispensable si la filière ciment veut être en mesure de prévoir les évolutions d'envergure qu'elle doit lancer pour **s'adapter aux changements de contexte physique et économique mondial déjà initiés**.

Or c'est bien là l'ambition de ce document. **En replaçant la filière au sein d'une vision panoramique de l'économie**, le Plan de transformation de l'économie française (PTEF) permet de décrire les dynamiques clés que les acteurs publics et économiques doivent comprendre s'ils veulent être en mesure de bâtir un secteur adapté aux **contraintes inévitables des trois prochaines décennies** :

- la réduction des émissions de GES,
- la variabilité de l'approvisionnement et de la disponibilité énergétique,
- l'évolution des usages de construction, de mobilité et d'urbanisme,
- la transformation des dynamiques macroscopiques d'une économie nationale et internationale se préparant à relever les défis de résilience des années 2020 à 2050.

À propos du Plan de transformation de l'économie française

Le Plan de transformation de l'économie française (PTEF) vise à proposer des **solutions pragmatiques pour décarboner l'économie**, secteur par secteur, en favorisant la résilience et l'emploi.

Initié au début du premier confinement, ce plan s'inscrit dans la perspective du fameux « monde d'après », et a vocation à alimenter le **débat public** : entre autres celui qui va précéder l'élection présidentielle de 2022. Il s'agit de concevoir à grande échelle un programme systémique de mesures opérationnelles (réglementaires, économiques, fiscales, sociales, organisationnelles) destinées à rendre l'économie effectivement compatible avec la limite des 2°C désormais communément prise pour objectif.

L'élaboration du PTEF repose sur quatre piliers :

- Adopter une approche globale, systémique et cohérente du point de vue des lois de la physique et de la technique, et des flux économiques.
- S'intéresser aux vraies ressources rares : les ressources physiques et les compétences, l'emploi étant au cœur du dispositif.
- Faire des propositions pragmatiques, opérables dès à présent, de façon à ouvrir un chemin de décarbonation réaliste et cohérent au sein d'une transformation de long-terme qui impose un rythme de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'environ 5 % par an en moyenne dès aujourd'hui.
- Ne pas construire une trajectoire qui reposerait sur le pari de la croissance économique comme phénomène exogène, ni sur des évolutions technologiques supposées advenir mais encore non éprouvées.

Le PTEF est organisé selon quatre catégories :

- secteurs « usages » : [mobilité quotidienne](#), [mobilité longue distance](#), [logement](#), [usages numériques](#) ;
- secteurs « serviciels » : [santé](#), [culture](#), [administration publique](#) ; [défense](#), [enseignement supérieur et recherche](#) ;
- secteurs « amont » : [agriculture-alimentation](#), [forêt-bois](#), [énergie](#), [fret](#), [matériaux et industrie](#), [industrie automobile](#) ;
- et enfin chantiers transversaux : [emploi](#), [finance](#), bouclage énergétique, bouclage matières, [villes et territoires](#).

Certains secteurs (enseignement supérieur et recherche, défense et sécurité intérieure, forêt-bois) ont fait l'objet de recherches préparatoires mais ne seront finalement pas détaillés, au moins dans un premier temps. Certains sujets initialement traités dans des chantiers transversaux (résilience et impacts, villes et territoires), ont finalement été en partie intégrés aux travaux sectoriels ou à d'autres projets du *Shift Project* connectés (comme le projet Stratégies de résilience des territoires). D'autres sujets initialement traités dans des secteurs (la cohérence énergétique et matérielle, le numérique) sont devenus des chantiers transversaux.

Les 500 000 € collectés en 2020 grâce à près de 4 000 donatrices et donateurs (que nous remercions !), ont permis de réaliser de premières publications en 2020, et de lancer les travaux sectoriels début 2021. Pour aller plus loin, le *Shift Project* a lancé fin avril 2021 un [« Appel à contribution » destiné aux entreprises](#), pour financer et nourrir le PTEF. En parallèle, la [consultation « Big Review »](#) lancée en octobre 2020 par les *Shifters* s'est poursuivie jusqu'à l'été 2021.

En 2020, tous les travaux sectoriels et transversaux ont été menés de front (voir la [synthèse](#)). En 2021, les travaux de recherche continuent, cette fois secteur par secteur, en consultant et en mobilisant le plus grand nombre d'acteurs possible. Nous avons publié en avance de phase un premier rapport sur l'aérien, qui tient une place à part dans le PTEF du fait de l'urgence de la situation du secteur : « [Pouvoir voler en 2050](#) ». Après la publication de nombreux rapports sectoriels (sur l'[administration publique](#), l'[automobile](#), la [santé](#), la [culture](#), l'[emploi](#)), nous sommes heureux de vous présenter ce nouveau rapport final publié dans le cadre du PTEF.

À propos du think tank *The Shift Project*

Le *Shift Project* est un *think tank* qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, sa mission est d'**éclairer et d'influencer** le débat sur la transition énergétique et climatique en Europe.

Le *Shift Project* constitue des **groupes de travail** autour des enjeux les plus décisifs de la transition, produit des **analyses** robustes et chiffrées sur ces enjeux et nous élabore des **propositions** rigoureuses et innovantes. Il mène des campagnes d'**influence** pour promouvoir les recommandations de ses groupes de travail auprès des décideurs politiques et économiques. Il organise également des **événements** qui favorisent les discussions entre parties prenantes et bâtit des **partenariats** avec des organisations professionnelles et académiques, en France et à l'étranger.

Le *Shift Project* a été fondé en 2010 par plusieurs personnalités du monde de l'entreprise ayant une expérience de l'associatif et du public. Il est soutenu par plusieurs **grandes entreprises** françaises et européennes, ainsi que par des organismes publics, des associations d'entreprises et depuis 2020 par des PME et des particuliers. Il est épaulé par un réseau de plusieurs **milliers de bénévoles** présents sur tout le territoire : *The Shifters*.

Depuis sa création, le *Shift Project* a initié **plus de 40 projets d'étude**, participé à l'émergence de deux manifestations internationales (Business and Climate Summit, World Efficiency), et organisé plus de 70 colloques, forums, ateliers et conférences. Il a pu influencer significativement plusieurs débats publics et décisions politiques importantes pour la transition énergétique, en France et au sein de l'Union européenne.

L'ambition du *Shift Project* est de mobiliser les entreprises, les pouvoirs publics et les corps intermédiaires sur les risques, mais aussi et surtout sur les opportunités engendrées par la « double contrainte carbone » que représentent ensemble **les tensions sur l'approvisionnement énergétique et le changement climatique**. Sa démarche est marquée par un **prisme d'analyse particulier**, fondé sur la conviction que l'énergie est un facteur de développement de premier ordre : dès lors, les risques induits par le changement climatique, intimement liés à l'usage de l'énergie, relèvent d'une complexité systémique et transdisciplinaire particulière. Les enjeux climat-énergie conditionnent l'avenir de l'humanité, il est donc nécessaire d'intégrer cette dimension le plus rapidement possible à notre modèle de société.

Remerciements

Ce rapport est le fruit d'un travail orchestré par l'équipe projet du secteur « Industrie » du PTEF, composée de **Eric Bergé**, chef de projet « Industrie lourde » à *The Shift Project*, **Denis Gasquet**, chef de projet « Après-première Vie » à *The Shift Project*, **Erwan Proto**, chargé de projet « Industrie » et ingénieur modélisation à *The Shift Project*, **Maxime Efoui-Hess**, coordinateur du secteur « Industrie » à *The Shift Project*, ainsi que **Baptiste Andrieu** et Mathilde Lavelle, chargé et chargée de projet « Industrie » à *The Shift Project* lors de la réalisation de la première version du travail sur l'industrie dans le PTEF, publiée en 2020. L'ensemble de ce travail a été accompagné par **Laurent Morel et Jean-Marc Jancovici**, administrateurs de *The Shift Project*.

Les aspects développés sur les emplois, les compétences et la formation ont été construits et développés en collaboration avec **Vinciane Martin** et **Yannick Saleman**, respectivement chargée et chef de projet du chantier transversal sur l'emploi dans le PTEF.

Des professionnels des différents secteurs traités ont contribué à la consolidation du rapport au travers de leur relecture, dont **Eric Bourdon**.

Ce projet a bénéficié de l'apport d'une équipe d'étudiantes et d'étudiants de l'ISAE-Supaéro, encadré pendant un semestre par le coordinateur de projet **Maxime Efoui-Hess**, dans le cadre du Projet Ingénierie et Entreprise (PIE). *The Shift Project* remercie l'ISAE-Supaéro et les équipes pédagogiques ayant rendu ce partenariat possible.

The Shift Project et l'équipe projet remercient chaleureusement l'ensemble des étudiants pour leur investissement dans la production de document et d'analyses de qualité, qui ont été cruciales dans la construction des modélisations et conclusions publiées dans ce rapport :

- Léo Clauzel,
- Damien Glattard,
- Samy Gane,
- Aurélien Mure,
- Elena Zakrjevski.

Ce projet a également reçu le soutien des *Shifters* qui nous ont accordé leur temps, ainsi que des membres de l'équipe de *The Shift Project* dont **Emma Stokking, Ilana Toledano et Pauline Brouillard** qui pilotent la tâche essentielle de rendre lisibles et diffusables les conclusions et messages de nos travaux.

L'équipe remercie également l'ensemble des personnes qui ont apporté leur aide, leur expertise et leurs conseils dans l'élaboration de cette publication, ainsi que les organisations ayant bien voulu partager certaines données, expertises et avis.

***Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport ne peuvent être attribuées ni aux contributeurs, ni aux relecteurs cités ci-dessus.
Le contenu de ce rapport n'engage que The Shift Project.***

Crédit photo : Rodolfo Quiros sous licence libre

Liste des abréviations

ATILH	Association technique de l'industrie des liants hydrauliques
BIM	<i>Building information modelling</i>
BPE	Béton prêt à l'emploi (béton fait dans des centrales à béton et livré par camion-toupie)
CA	Chiffre d'affaires
CCS (CSC)	<i>Carbon capture and storage</i> (Capture et Stockage du Carbone)
CCU	<i>Carbon capture and utilization</i>
CCUS	<i>Carbon capture, utilization and storage</i>
CIMbéton	Association de promotion du béton
CNI	Conseil national de l'industrie
DHUP	Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (MTE)
EU-ETS	<i>European Union Emission Trading Scheme</i>
FDES	Fiche de déclaration environnementale et sécurité
GES	Gaz à effet de serre
GNR	<i>Getting the numbers right</i> (base de données indépendante sur l'industrie cimentière mondiale)

SFIC Syndicat français de l'industrie cimentière

SNBC Stratégie nationale bas carbone

Table des matières

AVANT-PROPOS	1
Remerciements	Erreur ! Signet non défini.
Liste des abréviations	8
Table des matières	10
Index des figures	13
Index des tableaux	15
Synthèse	16
LA FILIÈRE CIMENT-BÉTON EN FRANCE	19
I. Un matériau local, économique mais carboné	20
II. Une trajectoire de baisse des émissions modeste	22
A. Une faible efficacité énergétique	22
B. Un faible recours aux combustibles alternatifs.....	24
C. Un taux de clinker élevé : encore 76 % en 2018	25
III. Une industrie soumise aux EU-ETS	26
IV. Les multiples usages du béton	28
LES LEVIERS DE LA DÉCARBONATION DU SEUL CIMENT	30
I. Des leviers d'action connus depuis longtemps	31
A. Améliorer les installations industrielles	31
B. Intégrer plus de combustibles alternatifs dans le mix énergétique	31
C. Diminuer le taux de clinker du ciment.....	32
D. Le ciment peut se décarboner plus vite (hors CCS)	34
E. Le CCS : mobiliser la capture et le stockage du carbone	35

II. Le choc de la réglementation : la RE2020.....	38
A. La révolution de la RE2020 aura lieu en 2022.....	38
B. Un choc pour la filière qui va devoir s'adapter	41
LES LEVIERS POUR ALLER PLUS VITE ET PLUS LOIN	43
I. Décarboner tout le béton, pas « que » le ciment	44
A. Décarboner le béton via sa formulation	44
B. Notre hypothèse de modélisation sur le contenu en ciment.....	45
III. Définir des normes GES dans les autres secteurs du BTP	46
IV. Optimiser le béton et ses usages	47
A. Les limites de la mobilisation des leviers technologiques sur le béton. 47	
B. Le béton le moins émissif reste celui que l'on ne coule pas.....	48
C. Des leviers supplémentaires restent nécessaires	49
V. Promouvoir la mixité des matériaux dans la construction	50
VI. Nouveaux ciments et capture du carbone : peut-on compter sur des innovations de rupture ?	56
VII. La sobriété dans la construction neuve, dernier levier à disposition de la filière ?	59
LES TRANSFORMATIONS DE LA FILIÈRE PAR LE PTEF À HORIZONS 2030 ET 2050 61	
LES CONSÉQUENCES DES TRANSFORMATIONS SUR L'EMPLOI	66
I. L'emploi dans le secteur ciment-béton	68
A. Le périmètre PTEF.....	68
B. Etat des lieux et tendances actuelles	69
II. Les effets de volume : des adaptations de cimenteries en perspective ..	69
A. Une réduction des volumes de production de la filière	69

B. Des effets réels sur les emplois de la filière	71
III. Compenser les pertes d'emploi : répercuter la montée en gamme de la fabrication du béton	73
IV. Compenser les pertes d'emploi : développer les autres matériaux dont la filière bois	74
V. Conclusions générales pour le secteur : devenir une filière de pointe et un laboratoire du monde.....	76
AN EXE 1 : LA QUESTION DES COÛTS – ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DU PRIX DU CIMENT À LA DÉCARBONATION.....	78
ANNEXE 2 : CAS D'ÉTUDE DE LA MAISON INDIVIDUELLE DE 100 M², 2019–2030 ..	81
Bibliographie	82

Index des figures

Figure 1: Émissions de GES par tonne de ciment produite en France en 2015 et 2018 Source : (CNI et SFIC, 2021) [6]	21
Figure 2 : Évolution de la production de ciment et des émissions de GES associées en France, entre 1990 et 2018 Source : (GCCA, 2018) [4]	22
Figure 3: Répartition du parc cimentier français par voie de fabrication, en volume de clinker produit Source : (ADEME, 2021) [5]	24
Figure 4: Évolutions des mix de combustibles des cimenteries françaises et allemandes, entre 1990 et 2017 Source : (GCCA, 2018) [4]	25
Figure 5: Intensité carbone de la production, par type de ciment (en kgCO ₂ e par tonne de ciment produite) Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]	26
Figure 6: Cartographie des usages du ciments en France en 2019 Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]	29
Figure 7: Intensité carbone de la production du ciment, suivant son contenu en laitier Source : (Elioth, 2020) [11]	33
Figure 10: Évolution du mix produit des ciments en France entre 2020 et 2050, dans le PTEF Source : calculs de The Shift Project	35
Figure 8: Répartition moyenne de l’empreinte carbone « Produits de construction et équipements » par lot Données issues de l’observatoire E+C- au 1 ^{er} décembre 2020 Source : (IFPEB et Carbone 4, 2020) [19]	40
Figure 9: Émissions de GES pour le ciment selon la feuille de route SFIC Source : (CNI et SFIC, 2021) [6]	42
Figure 11: Empreinte carbone des systèmes constructifs Source : (IFPEB et Carbone 4, 2020) [19]	51
Figure 12 : Évolution de la répartition des matériaux employés dans la superstructure, en maison individuelle et logements collectifs Sources : calculs de The Shift Project à partir de (ADEME, 2019) [15]	53
Figure 13: Réductions des émissions de GES du secteur permises par les leviers du PTEF, entre 2015 et 2050 Vision « filière béton » Source : calculs de The Shift Project	63
Figure 14: Réductions des émissions de GES du secteur permises par les leviers du PTEF, entre 2015 et 2050 Vision « filière ciment » Source : calculs de The Shift Project	65
Figure 15: Évolution de la production de ciment en France dans l’économie transformée entre 2015 et 2050 (en Mt) Source : calculs de The Shift Project	70
Figure 16: Évolution des besoins en béton, ciment et clinker dans l’économie transformée entre 2015 et 2050 (en base 100, année 2015 en référence) Source : calculs de The Shift Project	71

Figure 17: Évolution de l'emploi de la filière ciment-béton dans l'économie transformée (pas de prise en considération ici des créations et transferts d'emplois vers la filière bois) Source : calculs de The Shift Project73

Figure 18 : Exemple de potentiel de création d'emplois par le développement de la filière bois Source : calculs de The Shift Project (les résultats concernant la filière bois ne sont ici présentés qu'à titre indicatif, afin d'illustrer un scénario dans lequel ils permettent de compenser les pertes).....76

Index des tableaux

Tableau 1: Consommation de ciment par pays Source : (GCCA, 2018) [4]	20
Tableau 2: Consommation d'énergie moyenne par tonne de clinker selon les régions du monde Source : (GCCA, 2018) [4]	23
Tableau 3 : Consommation d'énergie moyenne pour la production de clinker, par type de voie de production Source : (GCCA, 2018) [4]	24
Tableau 4 : Répartition des usages du ciment, et traduction en volumes de béton équivalent Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]	28
Tableau 5 : Potentiel annuel de stockage du carbone par CCS pour la filière ciment Source : (ADEME, 2021) [12]	36
Tableau 6 : Seuils maximum de contenu carbone par m ² fixé par la RE2020 Source : (MTE, 2021) [18]	39
Tableau 7 : Différences d'objectifs de réduction des émissions de GES à 2050 entre les feuilles de route 2020 et 2021 du SFIC Source : (CNI et SFIC, 2021) [6] et (ADEME, 2020) [5]	42
Tableau 8 – Analyse de cycle de vie d'un béton armé classique Source : synthèse par The Shift Project, à partir de (ADEME, 2021) [20]	44
Tableau 9: Évolution des émissions de GES de production du béton, entre 2015 et 2050 après mobilisation des leviers technologiques de progrès unitaires Source : calculs de The Shift Project	47
Tableau 10 : Emploi actuel de la filière ciment-béton (ETP) Source : (Insee, 2018) [26], (SFIC, 2019) [8]	69
Tableau 11 : Évolution de l'emploi de la filière ciment-béton dans l'économie transformée entre l'état actuel et 2050 Source : calculs de The Shift Project	72
Tableau 12 : Étude cas sur une maison individuelle en 2030 (données arrondies) Source : calculs de The Shift Project	81

Synthèse

Les dernières décennies ont été marquées par un certain attentisme de la part de la filière française ciment-béton. Malgré la mise en place de crédits carbone par l'Europe (le système EU-ETS), cette filière n'a réalisé que des progrès limités en ce qui concerne la décarbonation de son offre. Aujourd'hui, elle doit affronter le mur de la nouvelle norme RE2020.

Les marges de progrès restent considérables. La profession vient d'afficher une feuille de route collective visant à décarboner son activité de 24 % à l'horizon 2030 et confirme son intention d'atteindre son objectif de - 80 % grâce à la carte des technologies CCUS (*Carbon capture, utilization and storage*) à 2050.

Cette évolution dans la mobilisation de la filière amène un premier constat important : ce que la menace de taxation (les ETS) n'a pas réussi à faire jusqu'à présent, une véritable norme performancielle au niveau du bâtiment semble être en mesure de le déclencher.

Sans doute imparfaite, cette réglementation est une décision courageuse et ambitieuse. Si les cimentiers et les bétonniers font les innovations nécessaires, cela pourrait présenter pour la France l'occasion de devenir le laboratoire mondial de la décarbonation de la construction.

Nous pensons que la transformation du secteur peut aller plus vite et plus loin, sans compter uniquement sur le CCUS.

Les marges de manœuvre techniques et produits pourraient en effet permettre de baisser les émissions de la filière de 50 % en 2050 en utilisant des techniques connues (c'est-à-dire sans s'appuyer sur des technologies de rupture) :

- amener les installations et usines françaises au niveau des meilleurs standards mondiaux en termes d'efficacité énergétique ;
- maximiser l'usage de combustibles alternatifs, en particulier la biomasse ;
- déployer les ciments à bas taux de clinker et/ou baisser les dosages dans les bétons, grâce à de nouveaux ajouts et des adjuvantations plus performantes ;
- accélérer ces évolutions en ayant la volonté d'adapter les normes béton pour EN-206 afin de refléter les évolutions technologiques ;

- **intégrer le critère « CO₂ » dans les appels d’offre en TP et génie civil (cette dernière approche est une urgence).**

Ces efforts considérables seront néanmoins insuffisants pour atteindre les objectifs de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et rendre la filière compatible avec l’objectif 2 °C. Le recours à d’autres leviers, de sobriété et de rupture reste inévitable :

- réduire les quantités de béton consommées en optimisant ses usages (design des ouvrages, bâtiment) ;
- continuer à réduire la part de marché du béton et la consommation de ciment en s’appuyant sur la progression du recours au bois et autres biosourcés, et sur la normalisation de la mixité des matériaux dans le logement neuf ;
- **structurer la filière bois française et réguler les exports de bois bruts pour accompagner cette transformation (à défaut, les importations de bois d’œuvre augmenteront et le déficit commercial se creusera) :**
- L’évolution des tendances de construction/rénovation du secteur du logement décrites dans les travaux prospectifs du secteur « Logement » du PTEF [3] permettra finalement d’atteindre une réduction des émissions de la filière ciment-béton de l’ordre de 80 % en 2050 ;
- déployer le potentiel accessible en CCUS sur les cimenteries pour capter autour de 1 Mt de CO₂ à partir de 2035 (en gardant à l’esprit que la réussite des autres leviers réduit notre besoin de CCUS par rapport à la feuille de route de la profession).

La quasi-neutralité ne sera possible que si le CCUS se développe sur toutes les cimenteries françaises. Ceci ne sera possible que si un mécanisme d’inclusion carbone aux frontières de l’Europe rend la solution financièrement acceptable. La mise en place du projet de *Carbon border adjustment mechanism* (CBAM) proposé par l’Union européenne pourrait permettre de créer cette situation favorable.

L’adaptation de toute la filière sera un défi complexe. En effet :

- elle implique une **baisse des volumes de ciment** et une **réduction des volumes de béton** ;

- la sophistication nécessaire des produits et procédés pourrait entraîner, selon les conditions économiques, une **valeur ajoutée supplémentaire** et donc des prix plus élevés qui pourraient **stabiliser la filière en valeur** ;
- **même si les pertes d’emplois, probables en cimenteries, seront moindres dans le béton, le transfert d’emploi vers les matériaux biosourcés** nécessitera une adaptation sur le long terme tant pour la fabrication (industrie du bois) que pour la mise en œuvre (les entreprises de BTP).

Si le déploiement de la RE2020 maintient fermement ses objectifs et s’inscrit dans la durée, la France deviendra en quelques années le laboratoire de la décarbonation de la construction pour le monde. Si la filière ciment-béton française se mobilise pour se donner les moyens de mettre en œuvre ce plan, elle deviendra la référence mondiale.

01

**LA FILIÈRE
CIMENT-BÉTON
EN FRANCE**

I. Un matériau local, économique mais carboné

Produire un mètre cube de béton, soit environ 2,4 tonnes, nécessite en moyenne en France 270 kilos de ciment. Ce dernier est le liant qui, activé par l'eau et les additifs, assemble le sable et les graviers qui constituent 90 % de la masse du béton (près de 2 tonnes par mètre cube de béton).

Ce matériau pratique et bon marché (1 m³ de béton courant ne coûte qu'une centaine d'euros) possède de multiples propriétés. En France plus que dans n'importe quel autre pays, il est devenu la base de la construction. (Aux États-Unis par exemple, une part essentielle du parc est occupée par les maisons à ossature bois). Malgré cela, la consommation de ciment par habitant est inférieure en France à celle de tous les autres pays d'Europe à l'exception du Royaume-Uni, l'une des raisons en étant l'usage du bitume pour les routes et la brique dans le bâtiment.

Consommation de ciment par pays	France	Allemagne	EU 28	Pologne	Espagne	Royaume-Uni	Italie	États-Unis
Totale (Mt)	18	36	168	17	15	9	17	70
Unitaire (kg/hab)	238	431	378	457	315	128	280	215

Tableau 1: Consommation de ciment par pays
Source : (GCCA, 2018) [4]

Décarboner le béton nécessite avant tout de décarboner le ciment : les 16 Mt de ciment fabriquées annuellement en France émettent un peu plus de 10 Mt CO₂e, soit près de 2,5 % des émissions territoriales françaises [5].

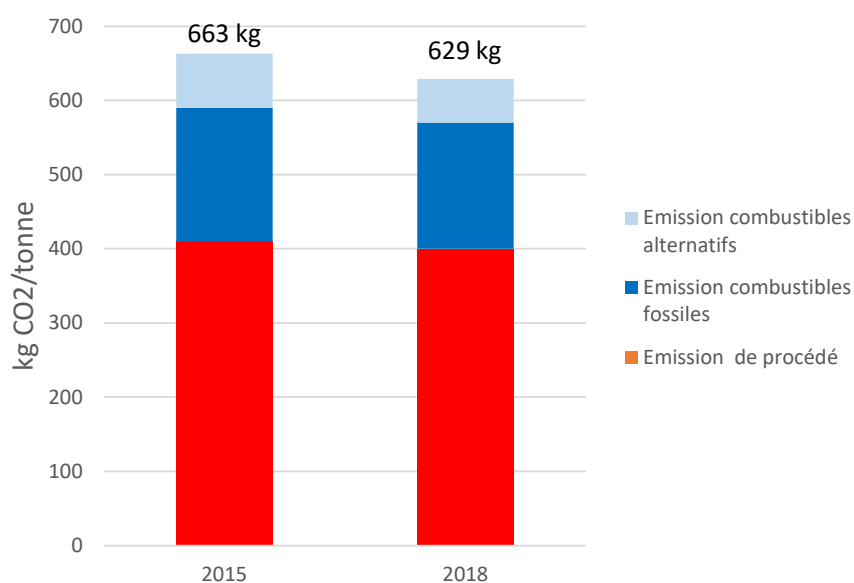


Figure 1: Émissions de GES par tonne de ciment produite en France en 2015 et 2018

Source : (CNI et SFIC, 2021) [6]

Les 663 kg CO₂e émis par une tonne de ciment produite en France en 2018 se décomposent grossièrement ainsi :

- 2/3 des émissions proviennent de la réaction chimique ayant lieu dans le four (le mélange d'argile et de calcaire rejette du CO₂ pour devenir du clinker) ;
- 1/3 des émissions provient des combustibles mobilisés pour ce procédé très gourmand en énergie (le four est amené à une température de 1450 °C afin de produire le clinker qui sera ensuite broyé en ciment en y additionnant des ajouts).

La filière ciment-béton est assez peu exposée aux importations par rapport aux autres secteurs industriels. Le ciment est vendu en moyenne dans un rayon de 150 km autour de la cimenterie. Le béton, comme les granulats, est un matériau très local qui ne voyage classiquement pas sur plus de 20 à 50 km. On compte entre 1 à 2 Mt de ciment importées par an [6]² mais environ 640 Kt nettes³ de clinker auraient été importées en 2019, dont une partie en provenance de pays non soumis à une réglementation sur le CO₂ (Turquie et Maroc notamment). Ce clinker est ensuite broyé sur les ports et vendu en tant que ciment produit localement. Ce ciment n'entre pas dans les chiffres de l'importation mais le CO₂, lui, est bien importé. Cette « fuite de CO₂ » est probablement autour de 0,5 Mt⁴ donc loin d'être négligeable.

² Données également issues d'entretiens avec des acteurs du secteur.

³ Source douanes France 2018 citées par le rapport SFIC 2019 : 859 KT importées contre 222KT exportées

⁴ Estimation basée sur 830 kg de CO₂ / tonne de clinker

II. Une trajectoire de baisse des émissions modeste

Les émissions françaises dues à la production de ciment ont chuté de 43 % entre 1990 et 2018, passant de 17 à 10 millions de tonnes d'équivalent CO₂ (MtCO₂e) en 18 ans. Cette baisse remarquable est totalement parallèle à la baisse de production de ciment⁵ advenue sur la même période (- 40 %), ce qui laisse penser que la décarbonation du ciment observée depuis 1990 est davantage liée à la baisse de sa consommation et de sa production qu'à la mise en œuvre d'actions volontaires.

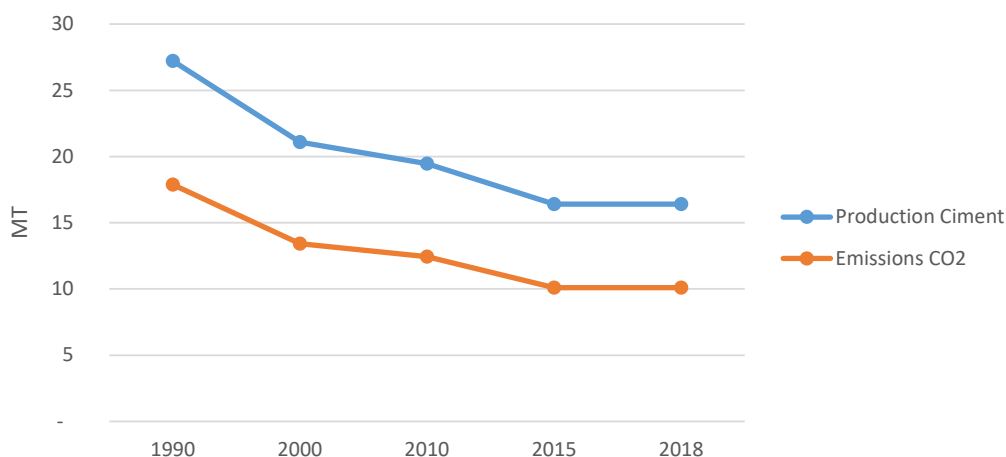


Figure 2 : Évolution de la production de ciment et des émissions de GES associées en France, entre 1990 et 2018
Source : (GCCA, 2018) [4]

Cette absence apparente de progrès s'explique d'abord par une performance technique restée limitée dans les cimenteries françaises. Selon les bases de données GNR [4], la France se place dans la moyenne de l'Union européenne mais reste loin des meilleurs performeurs mondiaux en termes d'efficacité énergétique et d'optimisation des leviers techniques.

A. Une faible efficacité énergétique

Faute d'investissement pour mettre à niveau les unités existantes ou en créer de nouvelles, les usines de ciment françaises consomment en moyenne 4 000 MJ/t de clinker, soit 10 à 20 % de plus que les nouvelles usines construites. La moitié des

⁵ Cette baisse est pour partie à la baisse de la construction mais surtout à l'optimisation du dosage en ciment dans les bétons, notamment par des ajouts d'adjuvants plus performants.

cimenteries françaises opèrent des technologies plus gourmandes que la voie sèche (voie semi-sèche, ou sèche sans précalcinateurs) (Figure 3).

Selon l'association européenne du ciment (Cembureau) [7] :

“Under optimized and regular conditions, the best energy efficiency today – around 3,300 MJ/t clinker – can be achieved with preheater kilns with precalciners (PH-PC). Modern PH-PC kilns have a higher production capacity than older installations, which also contributes to greater energy efficiency across the sector.”

Consommation d'énergie thermique (MJ/t de clinker)	2017
Afrique	3 660
Asie & Océanie	3 332
Brésil	3 489
Amérique Centrale	3 641
Chine, Corée, Japon	3 194
Europe	3 584
France	4 004
Inde	3 058
Moyen Orient	3 378
Amérique du Nord	3 821
Amérique du Sud	3 584

Tableau 2: Consommation d'énergie moyenne par tonne de clinker selon les régions du monde
Source : (GCCA, 2018) [4]

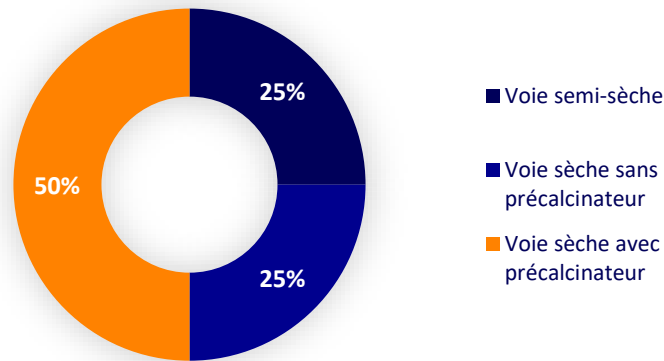


Figure 3: Répartition du parc cimentier français par voie de fabrication, en volume de clinker produit

Source : (ADEME, 2021) [5]

Consommation d'énergie thermique (MJ/t de clinker)	2017
Voie sèche + précalcin.	3632
Voie sèche simple	3862
Voie mixte	4956
Voie semi-sèche	3921

Tableau 3 : Consommation d'énergie moyenne pour la production de clinker, par type de voie de production

Source : (GCCA, 2018) [4]

B. Un faible recours aux combustibles alternatifs

La comptabilité carbone des combustibles alternatifs reste un point de discussion parmi les experts et acteurs. Ceci rend complexe le suivi factuel des évolutions des émissions sectorielles. Pour le calcul des émissions « ETS », les émissions de la combustion des déchets (comme les huiles ou les pneus par exemple) sont comptabilisées, mais pas celle de la biomasse.

L'issue de la discussion sur la comptabilité ne change cependant en rien le faible taux d'intégration de combustibles alternatifs dans la filière française, notamment quand on le compare à celui d'un voisin européen comme l'Allemagne (Figure 4).

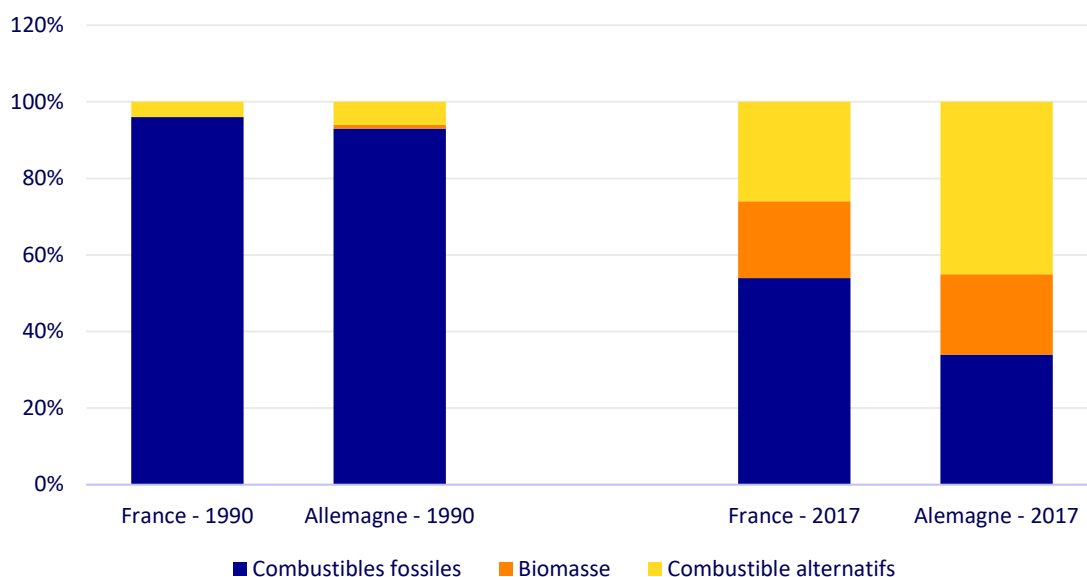


Figure 4: Évolutions des mix de combustibles des cimenteries françaises et allemandes, entre 1990 et 2017

Source : (GCCA, 2018) [4]

La principale raison du décalage de la France sur le plan de l'intégration de combustibles alternatifs est la faiblesse des investissements des principaux acteurs, dans un marché lui-même peu dynamique bien que très rentable. Si on prend en compte les ventes des excédents de quotas carbone (comme détaillé plus loin dans ce rapport), on comprend que la dynamique générale des acteurs internationaux de la filière ces dernières années a été d'extraire autant que possible des bénéfices, sans pourtant investir dans leurs usines et dans l'innovation produit à la hauteur que ce que les impératifs de transformation de la filière imposent aujourd'hui.

C. Un taux de clinker élevé : encore 76 % en 2018

Les émissions de CO₂ dues aux procédés adviennent au moment de la production du clinker. À ce clinker ensuite broyé est ajouté d'autres minéraux. Certains ont un potentiel réactif, comme le laitier de haut-fourneau ou les pouzzolanes. Ils permettent de substituer une partie du clinker, avec des propriétés moins bonnes sur certains points (par exemple les résistances à 24 heures), et meilleures sur d'autres (par exemple en termes de durabilité).

Le ratio « tonne de clinker / tonne de ciment » (en %) est donc un point clé dans cette industrie. Le réduire permet en effet de décarboner directement le ciment. Or en

France, ce ratio atteint 76 à 78 %, contre 69 à 71 % dans des pays comme l'Allemagne [4]. Pourquoi cet écart significatif ?

Il existe sur le papier une offre de ciments élargie notamment par certains nouveaux produits à teneur bien plus faible en clinker. C'est le cas des ciments « ternaires ». Ceux-ci comprennent non plus un ajout mais deux, assemblés de manière à permettre de compenser leurs faiblesses respectives et donc d'augmenter leur part dans le ciment afin de baisser celle du clinker.

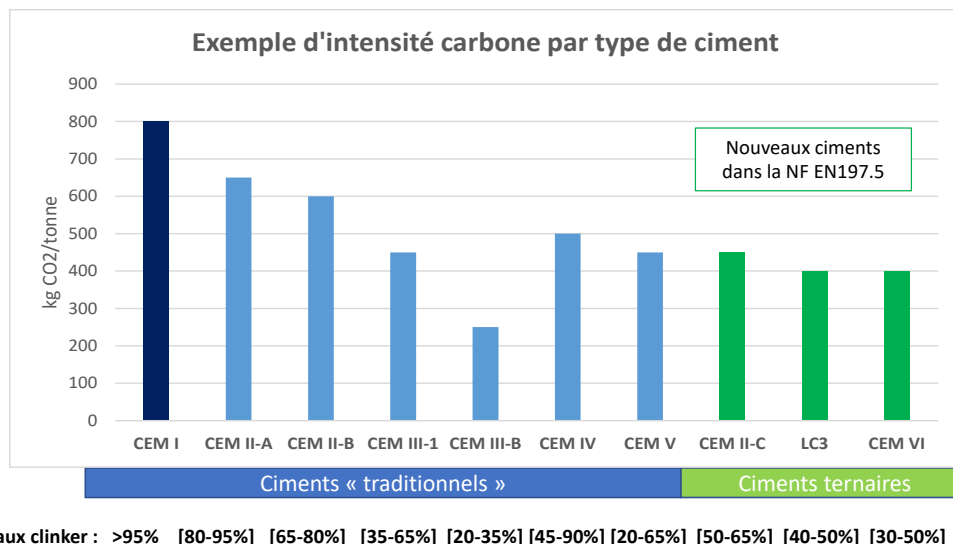


Figure 5: Intensité carbone de la production, par type de ciment (en kgCO₂e par tonne de ciment produite)
Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]

Malgré un travail lancé en 2015, la norme permettant d'utiliser ces nouveaux ciments reste bloquée à Bruxelles, dans un processus dont la lenteur n'est pas adaptée à l'urgence de transformation qu'impose l'impératif climatique.

Par ailleurs, en dehors de rares acteurs, peu d'ajouts sont disponibles sur le marché. Le marché français reste ainsi dominé à 80 % par le CEM-I et le CEM-II, ciments les plus carbonés car ayant les taux de clinker les plus élevés.

III. Une industrie soumise aux EU-ETS

Les cimenteries européennes productrices de clinker sont soumises depuis longtemps au système de droits d'émissions appelé EU-ETS. Jusqu'en 2021, les volumes de quotas gratuits alloués aux producteurs étaient tels que la plupart des acteurs se trouvaient en mesure de dégager plusieurs dizaines de millions d'euros grâce à la revente du surplus sur le marché du carbone [9].

L'année 2021 marque cependant un changement important : les allocations de quotas, revues à la baisse pour éliminer les surplus, sont désormais réduites sur la base d'un rythme de - 2,2 % par an.

En cas de marché stable, un producteur devra acheter des droits à polluer. Si ces droits ne s'échangeaient pas à plus de 10 €/tCO₂e entre 2012 et 2017, leur prix a franchi le cap des 50 €/tCO₂e en mai 2021 et plus de 80 €/tCO₂e depuis décembre 2021.

Bien que cela représente une véritable incitation à décarboner pour les acteurs de la filière, elle resté modérée⁶. **Le système des ETS donne un signal fort, mais jusqu'à 2020, celui-ci est resté insuffisant pour inciter à des actions d'envergure.**

L'effet pervers des ETS mal alloués entre 2008 et 2019

Nous avons vu que les cimenteries françaises avaient pris du retard faute d'investissement, malgré des prix de marché parmi les plus élevés d'Europe (supérieurs à 100 €/t). Par ailleurs les quotas ETS gratuits censés encourager la décarbonation se sont avérés inefficaces jusqu'à la fin de la phase 3. Accordés en excès aux cimentiers (contrairement aux sidérurgistes par exemple), ils ont été une véritable aubaine pour la plupart des cimentiers qui les ont vendus sur le marché du carbone. Le travail du cabinet CE Delft [9] montre que la filière ciment a bénéficié d'une surallocation de 231 MtCO₂ qui a généré environ 3 milliards d'euros de profits, dont 230 millions en France.

La donne devrait changer avec la phase 4 de l'EU-ETS qui prévoit de nouveaux quotas gratuits réajustés pour la période 2021-2030.

Les décrets annonçant les quotas gratuits ont été publiés le 10 décembre 2021. Pour la période 2021-2025, un total de 8,5 MtCO₂e par an a été alloué aux cimenteries françaises.

Sur la base d'une émission qui devrait tourner autour de 10 MtCO₂e en 2021-22 (si la production de ciment reste stable à 16 Mt), la nécessité d'acheter environ 1,5 MtCO₂e en 2022 devrait coûter entre 50 et 100 M€ (soit 6 à 12 €/t de ciment) à la profession [10].

⁶ Les cimentiers français ont néanmoins commencé à intégrer une contribution environnementale en pied de facture.

IV. Les multiples usages du béton

Le ciment se transforme en béton ou en mortier, fabriqués soit par des professionnels du béton (le béton prêt à l'emploi – BPE – livré sur chantier ou la préfabrication de pièces en béton prêtes à être montées) soit directement par le client final (entreprise, maçon, particulier).

Pour quantifier la quantité de béton totale associée aux consommations de ciment annuelles nationales (données 2019), on peut ainsi additionner les 40 Mm³ de béton pour le BPE, les 8 Mm³ de béton pour la préfabrication, ainsi qu'un volume de l'ordre de 17 Mm³ de « béton équivalent » pour les usages directs chez le client final, menant à un total d'environ 65 Mm³ de béton équivalent⁷.

Volumes de ciment et équivalents béton consommés par usage	Part	Conso. Ciment (en Mt)	Conso. Béton (en Mm ³ e)
BPE (béton prêt à l'emploi)	62 %	13	48
Béton industriels (préfabrication)	13 %		
Négoce sacs	13 %	17	65
Vrac entreprise	4 %		
Mortiers	4 %		
GSB (grandes surfaces de bricolage)	2 %		
Divers	3 %		
Total	100 %		

Tableau 4 : Répartition des usages du ciment, et traduction en volumes de béton équivalent
Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]

Quels sont les segments de la construction qui tirent la demande de béton et de mortiers, donc de ciment ?

⁷ Le facteur de conversion ici utilisé est de : 1 m³ de béton équivalent produit pour 266 kg de ciment consommé.

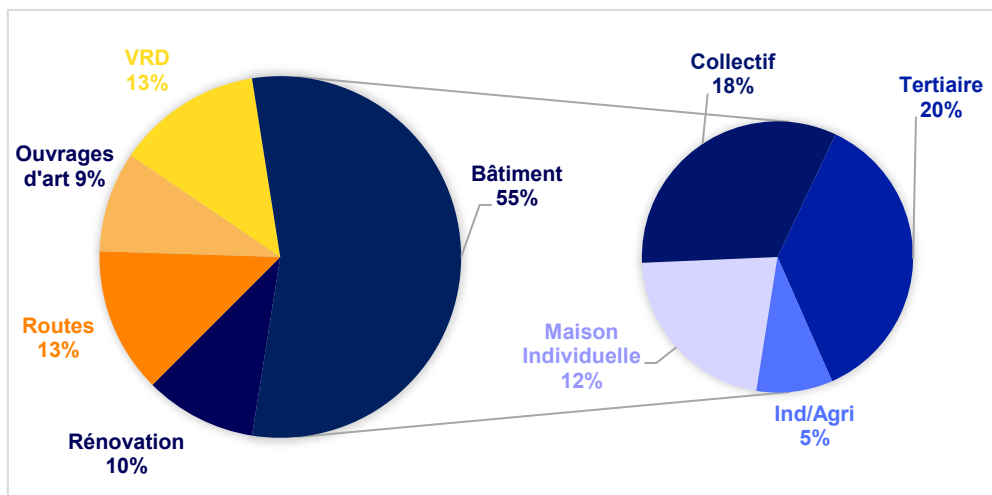


Figure 6: Cartographie des usages du ciment en France en 2019

Source : (SFIC, CIMBéton, ATILH, 2019) [8]

Parmi les segments de la construction dimensionnant la demande de béton et de mortiers, deux vont directement dépendre des politiques publiques et d'hypothèses-clés du PTEF :

- les infrastructures (qui rassemblent les travaux publics et le génie civil) pour 35 % ;
- le logement, qui représente 30 % de la demande.

02

**LES LEVIERS DE
LA DÉCARBONATION
DU SEUL CIMENT**

I. Des leviers d'action connus depuis longtemps

Les principaux leviers de décarbonation du ciment sont maintenant connus et repris tant par les sociétés cimentières dans leur communication que par l'Association européenne du ciment (Cembureau) à Bruxelles ou le Syndicat français de l'industrie cimentière (SFIC) à Paris.

A. Améliorer les installations industrielles

Il est indispensable de mobiliser d'ici 2030 les investissements nécessaires – ceux qui auraient pu l'être au cours des vingt dernières années – pour **améliorer l'efficacité énergétique des usines**, en particulier celle des fours produisant le clinker.

B. Intégrer plus de combustibles alternatifs dans le mix énergétique

L'utilisation des déchets comme alternatives aux combustibles fossiles, en particulier en mobilisant la biomasse, permet de réduire les émissions énergétiques associées à la production du ciment :

- les déchets (comme les huiles, les pneus, les solvants divers, etc.) ne représentent encore que moins de 50 % des combustibles utilisés dans la filière. Progrès qualitatif indéniable, ces émissions comptent aujourd'hui pour la réglementation européenne ETS⁸ ;
- le recours à la biomasse, peut, lui, permettre de véritablement réduire les émissions. La part dite « biogénique » est déduite des émissions dans la comptabilité ETS.

⁸ De nombreux acteurs du secteur cimentier continuent de retrancher ces émissions des comptabilités affichées dans leurs supports de communication. Ils ont le droit de le faire également dans les analyses de cycles de vie des produits faites par exemple pour la RE2020. Il s'agit pourtant d'émissions véritables, qui doivent être allouées aux activités qu'elles permettent.

C. Diminuer le taux de clinker du ciment

Les nouveaux ciments moins riches en clinker doivent être développés et rendus disponibles sur le marché :

- en remplaçant le clinker par des minéraux réactifs alternatifs, comme le laitier (sous-produit de la production d'acier), des pouzzolanes ou du calcaire. Cela permettra par exemple de passer de 95 % de clinker dans le CEM I (soit 800 kgCO₂e/t) à des ciments ternaires dont le contenu en clinker est de l'ordre de 50 %, abaissant les émissions à moins de 500 kg par tonne de ciment ;
- en ajoutant des argiles calcinées (cuites entre 750° et 850 °C) et ne générant que 139 kgCO₂e/t [11].

La réglementation des ciments ternaires et de leurs usages

Un pas majeur vient d'être franchi par la profession avec la publication de la nouvelle norme EN-197-5 qui va permettre l'utilisation de ces ciments dits « ternaires » jusqu'à présent bloqués par la réglementation. L'adaptation de la norme béton EN-206 permettant leur usage en France est sur le point de se faire. On ne peut que regretter le temps anormalement long qu'il aura fallu pour mettre en œuvre ces changements malgré l'urgence à décarboner la filière.

Le laitier et sa comptabilité carbone

Point-clé de comptabilité carbone : les 1,5 Mt de laitier issu de la production de fonte des hauts fourneaux sidérurgiques (Fos-sur-Mer et Dunkerque) permettent d'« économiser » environ 1,2 MtCO₂e en le substituant au clinker⁹. Ce gain est cependant compté à la fois par les cimentiers et les sidérurgistes dans leurs comptabilités affichées.

Le contenu actuel carbone du laitier (16,7 kg de CO₂/t) doit par ailleurs être revu à la hausse, ce qui entraînerait une autre lecture des ciments.

Certains, comme le cabinet Elioth, considèrent que le laitier devrait être compté à 400 kg de CO₂/t, ce qui changerait énormément l'analyse :

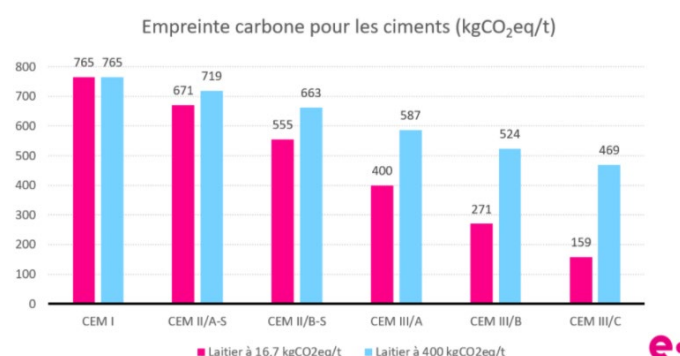


Figure 7: Intensité carbone de la production du ciment, suivant son contenu en laitier
Source: (Elioth, 2020) [12]

Le sujet devrait bientôt être tranché par le gouvernement sur la base d'une allocation économique du carbone émis lors de la fabrication de la fonte¹⁰. Dans ce cas, le laitier **serait considéré à près de 150 kgCO₂e par tonne**¹¹.

Les autres ajouts comme l'argile calcinée, le calcaire ou les pouzzolanes ne posent à priori pas de problème de disponibilité majeur en France. Bien que l'ouverture de carrières ne soit pas un processus simple ou immédiat, ces ajouts restent issus de matières disponibles dans certaines régions, et donc mobilisables.

⁹ Les contenus carbone du clinker et du laitier sont très différents, avec des taux de 7650 kgCO₂e/t pour le clinker, contre seulement 16,7 kgCO₂e/t pour le laitier [12].

¹⁰ D'après les auditions menées dans le cadre de ce rapport.

¹¹ La fabrication de la fonte produit 275 kg de laitier et émet 1,623 tCO₂e par tonne. Le prix de la fonte étant de l'ordre de 280 €/t et celui du laitier de 2,6 €/t, 1,582 tCO₂e est alloué à la fonte et 0,147 tCO₂e alloué au laitier.

D. Le ciment peut se décarboner plus vite (hors CCS)

Nos premières conclusions laissent penser qu'il existe encore des marges de progrès supplémentaires par rapport à la dernière feuille de route du secteur [6] :

- avec une hypothèse de consommation énergétique pour la production du clinker de 3500 MJ/t, la feuille de route vise une efficacité en-deçà des meilleures performances aujourd'hui accessibles. **L'objectif fixé par le PTEF est celui d'une consommation de 3 300 MJ/t de clinker, correspondant au niveau accessible décrit par le Cembureau [7] ;**
- **Le PTEF préconise une trajectoire pour l'offre de ciment en France qui mène à un taux de clinker moyen de 60 %, à la place des 66% pris par la feuille de route du secteur.**

"Average kiln capacity of cement plants will continue to increase because new kilns are typically built with higher capacities, and existing smaller kilns will increasingly be replaced with larger more modern ones. Breakthrough technologies, such as fluidized beds, that could yield significantly higher thermal efficiency are not yet on the horizon.

*Taking into account the increased use of alternative fuels, average thermal energy consumption per ton of clinker is expected to reach 3.3 GJ/ton by 2050."*¹²

Cembureau, 2020 [7]

¹² « La capacité moyenne des fours des cimenteries continuera d'augmenter car les nouveaux fours sont généralement construits avec des capacités plus élevées, et les petits fours existants seront de plus en plus remplacés par des fours plus grands et plus modernes. Les technologies de pointe, telles que les lits fluidisés, qui permettraient d'obtenir un rendement thermique nettement supérieur, ne sont pas encore à l'horizon.

Compte tenu de l'utilisation accrue de combustibles de substitution, la consommation moyenne d'énergie thermique par tonne de clinker devrait atteindre 3,3 GJ/tonne d'ici 2050. »

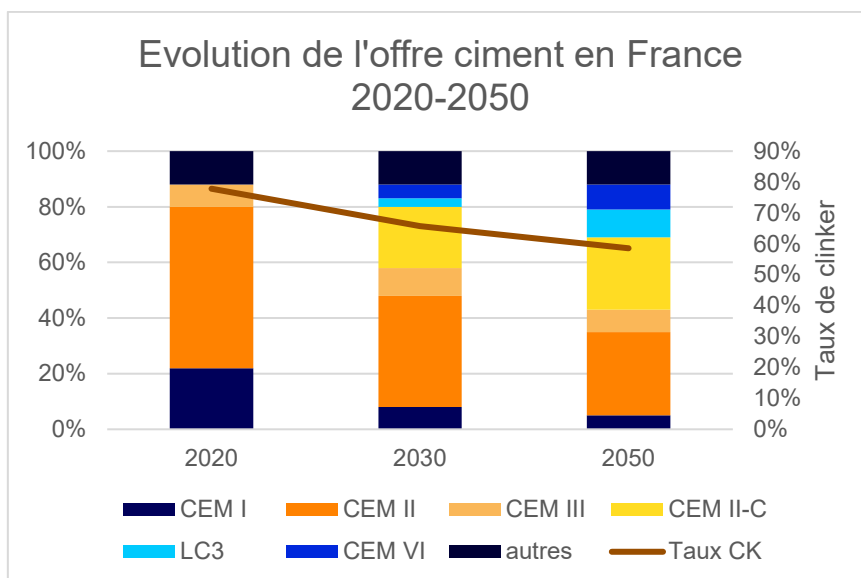


Figure 8: Évolution du mix produit des ciments en France entre 2020 et 2050, dans le PTEF
Source : calculs de The Shift Project

En fixant ces deux objectifs, rehaussés par rapport à la feuille de route sectorielle, nous obtenons la projection de base qui permet de réduire les émissions de la filière de 0,5 à 1 MtCO₂e supplémentaires par rapport au scénario du CNI-SFIC.

E. Le CCS : mobiliser la capture et le stockage du carbone

Le CCS (*Carbon Capture and Storage* – ou CSC, pour Capture et stockage du carbone) consiste à installer des dispositifs permettant de capter le dioxyde de carbone contenu dans les fumées des sites de production afin de le transporter vers des zones de stockage sous-terrain.

Les scénarios prospectifs des acteurs du secteur reposent régulièrement, voire systématiquement, sur le recours au CCS de manière plus ou moins intense. Bien qu'elle soit une technologie prometteuse et que des déploiements grandeur nature soient déjà en opération dans le monde, la généralisation de sa mise en œuvre à l'échelle industrielle se heurte encore à de nombreux obstacles : techniques (le déploiement des capteurs, notamment, doit se faire selon des modalités propres à chaque site, limitant ainsi les gains et catalyses des dynamiques par effets d'échelle), sociétaux, politiques ou réglementaires (acceptation des populations près des sites de stockage *onshore*, obstacles légaux et accords internationaux pour le stockage *offshore*, etc.) et surtout économiques (les coûts de déploiement des technologies de

captage resteront vraisemblablement importants, bien que des marges d'amélioration non-négligeables existent [13]).

Selon les travaux de l'ADEME, seul 20 % des cimenteries du territoire français (soit 5 au total) correspondraient aux critères de déploiement du CCS, uniquement en raison de leur localisation par rapport à des sites de stockage [13].

Le besoin estimé en investissements s'élève à 200 M€ par site (pour une production moyenne annuelle de 600 Kt de ciment). En prenant en compte les contraintes dues notamment aux coûts d'exploitation et d'enfouissement de ce captage (Sud-Est et Nord de la France), le potentiel de captage se limite à 2,5 MtCO₂ pour les cimenteries du territoire.

Volumes annuels de carbone captables et stockables en France (en MtCO ₂)	Volume émis	Volume captable	Volume stockable
Ciment	11	12	2,5

Tableau 5 : Potentiel annuel de stockage du carbone par CCS pour la filière ciment

Source : (ADEME, 2021) [13]

Le SFIC retient lui dans sa feuille de route un potentiel de captage et stockage de 5 MtCO₂e par les technologies CCUS, ce qui permet d'atteindre la cible de 80 % de réduction des émissions de la filière [6].

La question des coûts – Analyse de sensibilité

À contexte économique équivalent, le déploiement du CCS engendre une augmentation des coûts de production du ciment. Une analyse de sensibilité du prix de la tonne de ciment permet cependant de formuler deux conclusions.

Si l'on intègre les coûts de captage, de transports et de stockage géologique ainsi que l'amortissement de l'investissement de CCS (entre 10 et 15 €/tCO₂), **le recours au CCS induit un coût supplémentaire sur le ciment, dans le contexte économique actuel, d'au moins 80 à 100 €/t.**

Sachant que le prix moyen du ciment en France est aujourd'hui compris entre 110 et 130 €/t¹³, un tel surcoût est significatif. En découlent deux conclusions principales :

- un ciment à 200 €/t n'a pas vraiment de problème de valeur d'usage : il reste « bon marché ». Le surcoût dû au ciment pour une maison typique de 100 m² n'est en effet que de 1 300 € par logement en moyenne¹⁴ ;
- à ce prix, ce surcoût est néanmoins dissuasif dans le contexte de libre concurrence classique (avec des risques d'importations de Turquie ou d'Italie notamment).

Sans pour autant permettre de s'affranchir de la mise en place de tous les autres leviers de transformation de la filière, et bien que son potentiel reste borné par des obstacles techniques, opérationnels et organisationnels, le CCS fait partie des atouts à mobiliser afin d'atteindre les objectifs de décarbonation.

Son potentiel ne pourra cependant être exploité sans la mise en place de normes contraignantes et de mécanismes de protection du marché rendant économiquement viable et possible le développement de cette technologie.

¹³ Evaluation issue des interviews des acteurs du secteur.

¹⁴ En moyenne 50 m³ de béton sont mobilisés, avec 260 kg de ciment par m³ de béton, soit 13 t de ciment à un surcoût de 100 €/t.

II. Le choc de la réglementation : la RE2020

A. La révolution de la RE2020 aura lieu en 2022

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) des logements, qui indique la consommation d'énergie (kWh/m²/an) et d'émission de GES (kgCO₂e/m²/an), est aujourd'hui devenu un outil dont les acteurs du secteur de la construction sont devenus familiers. Les logements sont ainsi classés selon des étiquettes de A (logements les plus performants) à F (passoires thermiques). Les logements neufs sont obligés d'être en catégorie A (moins de 70 kWh/m² et 6 kgCO₂e/m²). Ce système va s'affiner mais ne change pas fondamentalement, en dehors de l'interdiction à partir de 2023 de louer des logements dont la consommation d'énergie finale estimée par le DPE sera supérieure au nouveau seuil permettant de les qualifier d'« énergétiquement décents » [14].

Pour rappel, les émissions annuelles en France liées aux consommations d'énergie dues à l'utilisation des bâtiments sont de l'ordre de 80 MtCO₂e, soit 20 % des émissions françaises [15]. Si cela justifie l'importance des outils comme le DPE pour réduire les émissions du bâti, **la RE2020 s'attaque également aux émissions liées à sa construction, en particulier les matériaux, considéré dans tout leur cycle de vie.**

La construction neuve est génératrice d'importantes émissions carbonées.

À titre d'exemple, la construction d'une maison neuve de 100 m² génère en moyenne des émissions de l'ordre de 60 à 80 tCO₂e, quand son usage n'émettra que 0,5 tCO₂e/an¹⁵ (Figure 9).

Le rythme de construction actuel en France, de 400 000 logements et 25 à 30 Mm² de locaux tertiaires (bureaux, hôpitaux, etc.), engendre des émissions de l'ordre de 35 MtCO₂e/an (qui résultent de la production et utilisation des matériaux, équipements, engins de chantiers, transport, etc.) [16] [17] [18] soit près de 8 % des émissions nationales totales.

C'est pourquoi la nouvelle réglementation environnementale RE2020, qui s'appliquera en janvier 2022 à la construction neuve, fixe aux nouveaux logements un **plafond de contenu carbone au mètre carré habitable. Cette limite inclut toutes les émissions liées à la construction, basée sur le bilan carbone complet de tous les matériaux et**

¹⁵ Le Diagnostic performance énergétique (DPE) impose en effet un seuil d'émissions de 5 kgCO₂e/m²/an pour les logements neufs d'étiquette énergétique A (<https://www.ecologie.gouv.fr/diagnostic-performance-energetique-dpe>).

équipements sur l'intégralité du cycle de vie (la fabrication, l'installation, entretien, etc., jusqu'à la démolition et au recyclage éventuel).

Ce plafond est non seulement une norme impérative mais sera rapidement dégressif puisqu'il baissera d'un tiers en 10 ans, délai très rapide dans la construction. Si les seuils de 2022 sont assez faciles à atteindre, ceux de **2028 et 2031** **représentent un saut très significatif.**

Seuils de contenu carbone fixés par la norme RE2020	2022	2025	2028	2031
Maisons individuelles				
Seuil	640	530	475	415
Baisse par rapport à 2022	0	-110	-165	-225
Logements collectifs				
Seuil	740	650	580	490

Tableau 6 : Seuils maximum de contenu carbone par m² fixé par la RE2020
Source : (MTE, 2021) [19]

On ne parle plus ici de label type BBC (Bâtiment basse consommation), HQE (Haute qualité environnementale) ou LEED (*Leadership in energy and environmental design*) mais bien d'une norme impérative, première mondiale et susceptible de déclencher des dynamiques inédites dans la construction et les matériaux.

Les promoteurs, les architectes et les entreprises font face à une nécessité d'adaptation sans précédent de leurs métiers. La décarbonation de leur offre va devenir déterminante pour les fournisseurs de matériaux dans leur capacité à garder parts de marché face aux solutions alternatives.

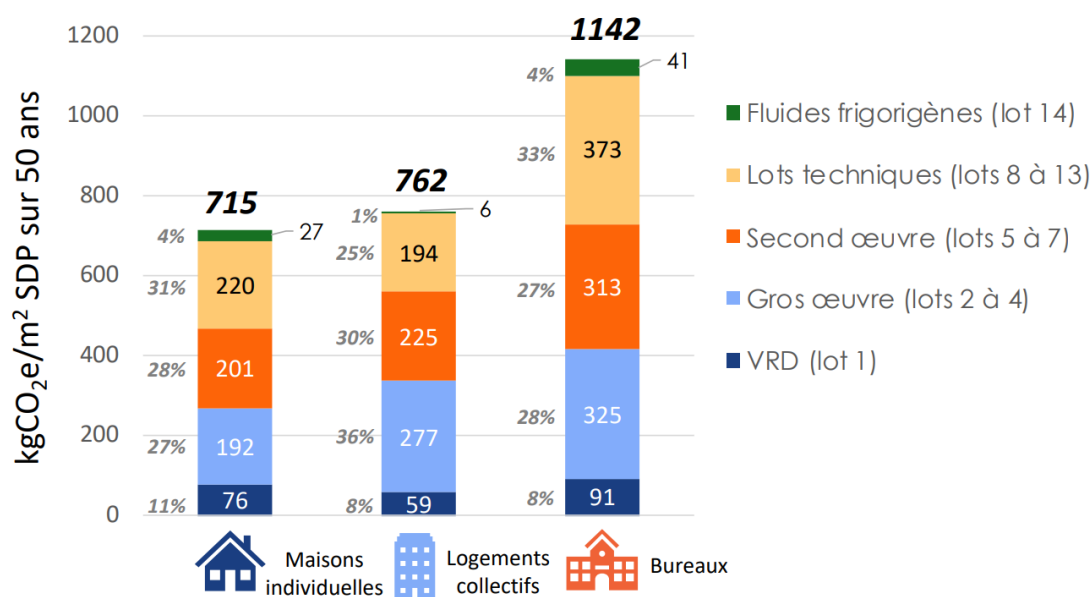


Figure 9: Répartition moyenne de l’empreinte carbone « Produits de construction et équipements » par lot.

Données issues de l’observatoire E+C- au 1^{er} décembre 2020

Source : (IFPEB et Carbone 4, 2020) [20]

Tous les lots de la construction n’étant pas exposés aux mêmes conséquences, des nuances doivent être apportées. La Figure 9 présente des empreintes carbone typiques selon les types de bâtiments neufs et par lot de travaux. Le gros œuvre, c’est-à-dire la superstructure du bâtiment, qui est le plus riche en béton (ou parpaings ou briques dans la maison individuelle), apparaît la cible de décarbonation la plus évidente.

Le passage à une structure bois permettant même sur le papier de rendre le gros œuvre *négatif* en carbone, la position du béton est fortement remise en cause.

Les discussions sur l’« ACV dynamique »

Les arbitrages très récents rendus sur la RE2020 ont été perçus par de nombreux acteurs comme un avantage très important apporté au bois, aux dépens des autres matériaux.

La clause du « cycle de vie dynamique simplifiée » offre, par le choix méthodologique retenu pour le calcul des émissions des matériaux (réduction de 43 % des émissions du bois en fin de vie), un avantage au bois en en faisant un matériau **négatif en carbone sur son cycle de vie**.

Selon cette méthode qui, en effet, adopte une démarche d'intégrale temporelle, les émissions réalisées plus tard (comme pour du bois brûlé en fin de vie par exemple) ont un effet réchauffant réduit par le calcul par rapport aux émissions initiales (comme celle du ciment lors de sa fabrication).

Les cimentiers contestent cette nouvelle méthode de calcul d'analyse de cycle de vie. Ses promoteurs indiquent quant à eux que l'urgence de la situation doit amener à favoriser les solutions qui offrent des baisses d'émission de CO₂ immédiates.

B. Un choc pour la filière qui va devoir s'adapter

Certains experts estiment qu'en l'état actuel de l'offre ciment, 80 % des constructions « béton » classiques peuvent facilement passer le seuil imposé en 2022 par la RE2020, mais que seulement 30 % d'entre elles seront en mesure de le faire en 2025, et presque aucune en 2050. Le risque systémique est énorme pour l'ensemble des filières de la construction : les promoteurs doivent réfléchir dès aujourd'hui à leur offre de 2025, leurs choix impliquant d'importants effets de seuils (intégrer l'ossature bois dans leur offre standard de maison individuelle engendrerait par exemple des adaptations de toute l'activité sur lesquelles il s'avèrerait très complexe de revenir ensuite).

En dehors même des débats et discussions quant au réalisme et à l'orientation de cette RE2020 (notamment quant aux questions soulevées sur les prix et disponibilités sur le territoire français des matériaux biosourcés), la filière est obligée d'enclencher une révolution assez extraordinaire avec une accélération sans précédent de l'innovation.

Le maintien des acteurs du béton au sein de leurs parts de marché ne peut en aucun cas être envisagée par les acteurs si la filière ne se lance pas dans une vague d'innovation produit à la hauteur des ambitions de diminution des contenus carbone de leurs matériaux, tant sur le ciment (lancement des CEM II-C-M et CEM VI basse teneur en clinker et des ciments ternaires) que sur le béton ou le design du bâtiment.

Cela s'est d'ailleurs traduit par une forte et récente accélération de la feuille de route de décarbonation du ciment : la version l'ADEME en juillet 2020 fixait comme objectif une baisse de 10 % des émissions du secteur à 2030 [6]. La feuille de route du SFIC de mai 2021 marque une accélération remarquable, avec un objectif à près de 24 % de réduction en 2030 à demande constante.

Réduction d'émissions GES en 2050 par rapport à 2015	Feuille de route Ademe 2020	Feuille de route SFIC 2021
Cible 2030	-10 %	-24 %
Cible 2050 hors CCS	-43 %	-32 %

Tableau 7 : Différences d'objectifs de réduction des émissions de GES à 2050 entre les feuilles de route 2020 et 2021 du SFIC
Source : (CNI et SFIC, 2021) [6] et (ADEME, 2020) [5]

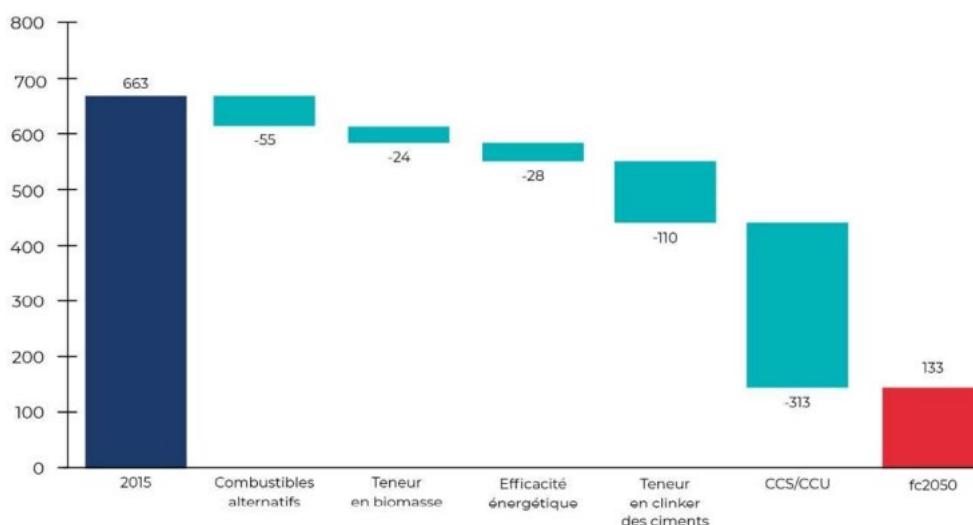


Figure 10: Émissions de GES pour le ciment selon la feuille de route SFIC
Source : (CNI et SFIC, 2021) [6]

Les investissements n'ont pas changé par rapport au plan de 2020 : environ 4,4 milliards d'euros sur les 7 prochaines années plutôt que de les étaler sur 15 ans [6].

Il existe un facteur de risque non négligeable pour la mise en œuvre de cette feuille de route : les cimentiers internationaux, pour qui la France n'est qu'un petit marché – 16 Mt sur un marché mondial de 4 0 0 Mt – seront mis face à un choix industriel : délaisser le marché français devenu trop coûteux en capitaux, ou prendre au contraire la France comme le champ d'expérimentation unique au monde qu'elle deviendra pour le secteur de la construction.

03

**LES LEVIERS
POUR ALLER
PLUS VITE
ET PLUS LOIN**

I. Décarboner tout le béton, pas « que » le ciment

C. Décarboner le béton via sa formulation

Pour la RE2020, ce qui compte est l’empreinte carbone du béton qui n’est pas la simple empreinte du ciment qu’il contient mais l’ensemble de sa constitution, y compris l’acier quand il est armé.

Béton C25-30 armé type	kgCO ₂ e/m ³	Commentaires
Fabrication (dont ciment)	190 (dont 176)	Ciment dosé à 265 kg/m ³
Installation et transport	69	Dont 50 kg d’acier par m ³
Vie et usage	-10	Le béton réabsorbe un peu de CO ₂
Fin de vie	2	Destruction en fin de vie du bâtiment
Recyclage	-10	Fabrication de granulats recyclés
Total	250	

Tableau 8 – Analyse de cycle de vie d’un béton armé classique
Source : synthèse par The Shift Project, à partir de (ADEME, 2021) [21]

La transformation de la filière décrite dans le PTEF va non seulement pousser les bétonniers à adopter le plus vite possible les nouveaux ciments qui sortiront sur le marché mais va aussi les mener à révolutionner leur propre offre produits, tout en s’intégrant dans la transformation des pratiques de tout le secteur :

- La production des FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire¹⁶) des bétons qui incluent leur empreinte CO₂ ne s’effectuera plus de manière générique pour toute la profession mais par type de béton et par producteur car tout gain de 10 kg/m³ aura une valeur pour le constructeur de logement.
- En plus du ciment, la transformation de la filière va entraîner à la baisse d’autres émissions, **dans un marché français devenu sensible au contenu carbone des offres produit** : celles spécifiques à l’acier pour les armatures et celles dues au transport des granulats ou du béton lui-même. **Ces évolutions sont traduites dans nos modèles par une baisse des émissions de 2 % par an, pour l’acier**

¹⁶ Norme européenne qui définit les spécifications des bétons structuraux en bâtiment comme en génie civil.

**(amélioration des procédés de production, des procédés de mise en œuvre...)
et les granulats (réduction du transport notamment).**

- Les bétonniers seront capables de baisser le dosage en ciment du béton et de faire des ajouts supplémentaires en centrale à béton.
- Certains bétons moins dosés avec des ciments moins riches en clinker et donc de vitesse de durcissement plus lente (du fait entre autres, de la présence des matériaux pouzzolaniques) ou avec des CEM III ne permettront plus de démouler les bétons aussi vite : la planification des chantiers devra évoluer ou devra faire appel à de la préfabrication.
- La question de l'évolution de la norme béton EN206¹⁷ sera posée à nouveau. Elle permet certes de faire des bétons d'ingénierie ou à composition spécifiée mais ce mode opératoire n'est viable que pour de très gros chantiers. Mais faire évoluer cette norme – par exemple le dosage en ciment – pour refléter les progrès techniques sera incontournable assez rapidement.

L'innovation apportée par les fabricants **d'adjuvants chimiques** devrait quant à elle non seulement permettre d'adopter les liants ternaires plus rapidement, mais également de rendre possible des bétons avec des dosages en ciment encore inférieurs. Les mortiers à base ciment utilisés en second œuvre commenceront à baisser fortement les quantités de ciment qu'ils intègrent, avec également de potentiels premiers produits sans ciment.

D. Notre hypothèse de modélisation sur le contenu en ciment

Bien que l'augmentation de la part d'ajout dans le ciment (taux de clinker faible) rende plus complexe la baisse de son dosage dans le béton, le couple d'hypothèses suivantes est pris comme cible dans le modèle pour 2050 :

- Un taux de clinker à 60 % pour le ciment (contre 76 % en 2020), en ligne avec l'hypothèse de l'AIE dans son scénario 2DS (scénario volontariste).

¹⁷ Norme européenne qui définit les critères de viabilité de tous les types de béton en Europe, notamment des quantités de liants minimales par type de béton.

- Un dosage en ciment dans le béton de 220 kg/m³ de béton et mortiers (contre 260 à 270 kg/m³ en moyenne en 2020), uniquement à partir de 2030 grâce à des progrès en adjuvant ou par l'ajout de charges minérales ou d'ultrafines de calcaire. Une évolution rapide de la norme EN-206 offrant ces possibilités sera indispensable

Ces hypothèses sont résumées dans le Tableau 8 et permettent d'engendrer une réduction des émissions annuelles du secteur de l'ordre de 0,6 MtCO₂e en 2050.

III. Définir des normes GES dans les autres secteurs du BTP

Le béton est indubitablement plus complexe à remplacer dans un ouvrage d'art comme un viaduc ou un pont que dans la construction de bâtiment. Cependant cela n'exclut en aucun cas de réfléchir aux leviers de décarbonation des matériaux utilisés.

Les transformations des produits et pratiques vers des matériaux pauvres en carbone peuvent être **poussées et amorcées par les grands acteurs nationaux de la construction, qui font des annonces fortes sur le sujet**. Pour cela il faut travailler sur le sujet clef de la durabilité des nouveaux bétons. Des démarches comme le projet national Perfdub¹⁸ ont donc un intérêt majeur mais leur traduction opérationnelle ne sera pas évidente.

Une première proposition simple : inclure par la loi les émissions de CO₂ des matériaux dans les critères de tous les appels d'offre en travaux publics et en génie civil.

- L'effet de ce type de mesures sera traduit dans nos modélisations par une diminution de 5% à 2050 des émissions associées aux activités de construction dans les travaux publics et génie civil.
- Nos analyses s'appuient également sur l'hypothèse selon laquelle les décrets de la RE2020 qui gouverneront les bâtiments du tertiaire spécialisé (commerce, hôpitaux...) suivront le même rythme de baisse des seuils de kgCO₂e/m² que pour le logement.

¹⁸ L'objectif de PERFDUB est de définir une méthodologie de justification de la durabilité des bétons par une approche performantielle. Il s'agit d'agrèger les connaissances et les retours d'expérience, dans un cadre réunissant tous les acteurs concernés de manière à ce que l'approche performantielle devienne opérationnelle et d'usage courant, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. www.perfdub.org

IV. Optimiser le béton et ses usages

A. Les limites de la mobilisation des leviers technologiques sur le béton

L'activation de tous les leviers d'innovation aujourd'hui disponibles pour réduire l'impact unitaire de la production d'une tonne de matériau permettrait de réduire les émissions de la filière béton à 10 MtCO₂e en 2050 (contre 16 MtCO₂e pour nos 65Mm³ d'équivalent béton). Cette réduction considérable reste encore insuffisante.

La marge de progression permise par la mobilisation de ces leviers sur le contenu carbone unitaire d'un m³ de béton reste en effet loin des objectifs de décarbonation imposés par la RE2020 (Tableau 9) dès 2030 :

Emissions GES de production d'un béton moyen armé (en kgCO ₂ e/m ³)	2015	2030	2050
Fabrication	190	142	96
<i>Dont ciment</i>	176	118	82
<i>Hypothèse dosage ciment</i>	266	251	220
<i>Hypothèse CO₂/t ciment (hors CCUS)</i>	663	469	331
Transport/installation (acier)	69	43	29,5
Vie et usage	-10	-10	-10,0
Fin de vie	2	2	2
Recyclage	-10	-10	-10
Total (hors recyclage)	251	177	117
<i>Evolution par rapport à 2015</i>		-30%	-53%

Tableau 9: Evolution des émissions de GES de production du béton, entre 2015 et 2050 après mobilisation des leviers technologiques de progrès unitaires

Source : calculs de The Shift Project

B. Le béton le moins émissif reste celui que l'on ne coule pas

A fonction équivalente dans la construction, il existe un potentiel d'optimisation important des quantités de béton coulées. Les sources d'amélioration potentielles font l'objet de nombreuses recherches à deux niveaux : la conception et l'exécution des chantiers.

La conception

L'architecture permet de penser différemment le bâtiment :

- En essayant de l'alléger, ce qui réduira la taille des fondations,
- En évitant les surdimensionnements par rapport aux services que doit rendre le bâtiment,
- En optimisant la géométrie afin de limiter les reprises de charges par la structure.

Les techniques retenues ont également un impact et peuvent permettre de réduire significativement les quantités de bétons utilisées dans les ouvrages, à service rendu identique. Les auditions d'acteurs menées dans le cadre du PTEF nous en donne des exemples de possibilités concrètes¹⁹ :

- Augmenter la qualité des bétons : des bétons fibrés d'ultra-haute performance pourraient permettre de rénover des ouvrages comme des ponts (celui de Touharé par exemple) de façon plus légère en divisant par deux la quantité de béton mobilisée, ainsi qu'en éliminant tout ou partie de l'armature par des fibres ;
- Opter pour une structure poteau-poutre plutôt que des voiles béton ;
- Utiliser des planchers alvéolés plutôt que pleins (jusqu'à - 25 % de béton), ainsi que des bétons précontraints (jusqu'à 30% de volume en moins),
- Le recours aux supports numériques pour la construction (comme le BIM - *Building Information Modeling*) pourrait permettre de faciliter certaines évolutions de la conception.

L'exécution des chantiers

¹⁹ Les considérations qualitatives et quantitatives qui suivent sont issues d'auditions d'acteurs du secteur réalisées dans le cadre du PTEF.

Des pistes d'action existent aussi lors de la phase d'exécution des chantiers eux-mêmes :

- Réduire les pertes de matériaux sur chantier : les FDES tablent officiellement sur 3 % de pertes pour les bétons mais elles peuvent s'élever en pratique à 5 voire 10 % [21],
- Recourir à des pièces préfabriquées plus simples à optimiser en usine,
- Optimiser les enrobages (du béton autour des armatures en acier) : en augmentant la qualité du béton, les Eurocodes²⁰ permettent de réduire l'épaisseur du béton jusqu'à 5 mm, soit un gain de 2 à 3 % sur 20 cm de béton.

Mobiliser ces leviers requiert un travail considérable en concertation avec le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, les entreprises et les fabricants de matériaux (cimentiers, bétonniers, préfabriquants, mortieristes et adjuvantiéristes).

Les effets de ces leviers restent complexes à quantifier, faute d'études prospectives disponibles. Nos analyses s'appuieront sur les hypothèses suivantes²¹ :

- **Dans le bâtiment :**
 - **5 % de réduction des quantités de bétons** consommées par le bâtiment en **2030** par rapport à 2020,
 - **10 % de réduction en 2050** par rapport à 2020.
- **Dans le génie civil :**
 - **Maintien des quantités de béton** dans le génie civil entre 2020 et **2030**,
 - **Une réduction de 5 % en 2050** par rapport à 2020

C. Des leviers supplémentaires restent nécessaires

Si l'on agrège les réductions d'émissions réalisées à ce stade grâce aux différents leviers mobilisés pour le béton sur le cas d'étude d'une maison de 100 m², et que nous le comparons aux objectifs fixés par le point de passage 2028 défini par la RE2020, il apparaît que **l'optimisation des quantités de béton (ajoutée aux précédents leviers)**

²⁰ Norme européenne de conception et de réalisation des bâtiments. Les Eurocodes sont constitués de 58 normes regroupées en 10 groupes de normes (NF EN 1990 à 1999).

²¹ Ces hypothèses, construites en cohérence avec l'expertise disponible à ce stade, gagneraient à être consolidées si de la documentation prospective devenait disponible dans le futur.

n'est en pratique pas suffisante pour les atteindre. Il faudrait en effet que les autres lots de l'ouvrage (le second œuvre, en particulier revêtement, façades et chauffage-sanitaire) apportent les 2/3 de la décarbonation, ce qui semble improbable²².

L'hypothèse retenue dans nos trajectoires propose que le béton permette d'effectuer 50 % de l'effort exigé par la RE2020.

V. Promouvoir la mixité des matériaux dans la construction

Y-a-t-il une consommation standard de ciment dans les pays développés ?

On peut noter que si la consommation de béton de la France par habitant est plus faible que chez certains voisins en Europe (Tableau 1), elle reste bien supérieure à celle des Etats-Unis (malgré la construction là-bas de routes en béton) et surtout du Royaume-Uni. C'est l'indice potentiel d'une marge d'évolution sérieuse de nos méthodes de construction.

Sommes-nous à la veille d'une révolution dans les modes constructifs en France ?

En 2018, la part de marché de l'ossature bois en France était d'environ 8 %, dont [22] :

- 15 % en maison individuelle,
- 5 % en logement collectif.

La part du bois dans les matériaux de construction semble être à l'aube d'une croissance certaine. A titre d'exemple, certains constructeurs annoncent des objectifs allant jusqu'à 30 % de projets à structure bois pour 2030 [23]. Il n'est malgré tout pas évident que l'intégralité de la profession soit en mesure de faire un tel saut dans un temps aussi court, notamment en raison de l'adaptation de la chaîne logistique et d'approvisionnement, ainsi que de la main d'œuvre sur chantier. La construction

²² Les marges de progrès possibles sur ces lots sont notamment documentés dans le rapport du PTEF traitant le secteur du logement [3].

sèche est pourtant souvent considérée comme plus simple et plus agréable pour les ouvriers²³.

S'il est ainsi certain que l'on assistera à une multiplication des projets « tout en bois » dans les années qui viennent, nos travaux nous poussent également à penser que les projets mixant le béton et le bois vont devenir la norme : **bétons dans les fondations, associations de bétons préfabriqués (dont les parpaings) et bois/plâtre ou même des bétons ou des parpaings contenant du bois. Ces transformations devraient être soutenues par de nouveaux systèmes alliant les matériaux, adaptés selon les ouvrages et régions.**

Les nombreuses expérimentations (projet E+C-) sur les systèmes constructifs ont permis à des acteurs spécifiques de les comparer en termes d'empreinte carbone.

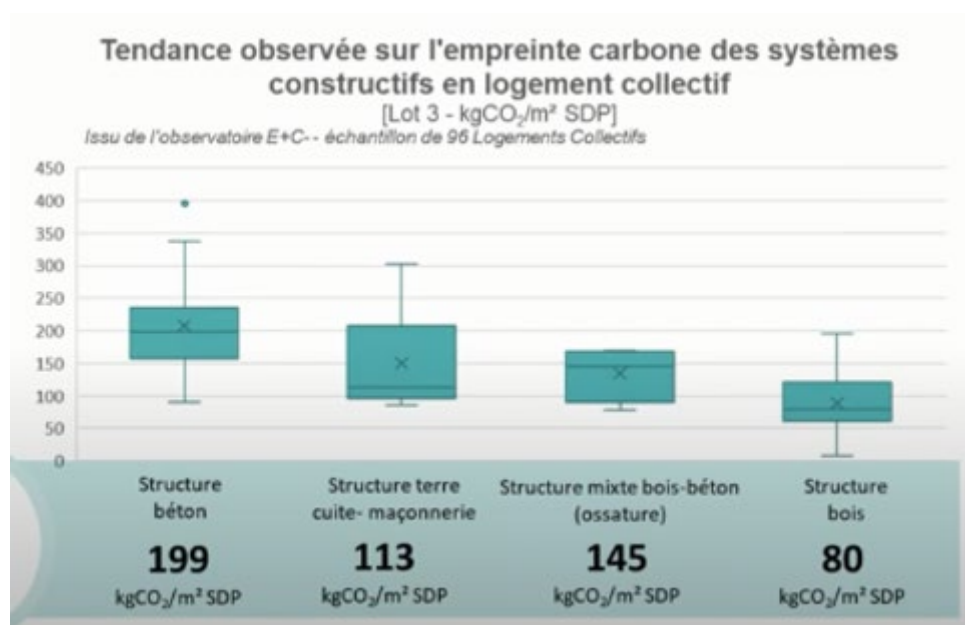


Figure 11: Empreinte carbone des systèmes constructifs

Source : (IFPEB et Carbone 4, 2020) [20]

Pour construire notre modèle de parts de marché du béton, deux hypothèses sont retenues :

- Sur la comptabilité carbone des matériaux alternatifs au béton ;
- Sur la décarbonation du second œuvre.

Hypothèse de nos projections

Dans nos projections, le substitut du béton est comptabilisé comme neutre en carbone (et non porteur d'émissions négatives comme le bois avec l'ACV dynamique) – ceci afin de rester conservateur dans les hypothèses prises²⁴.

Exemple du contenu carbone d'une poutre en bois avec ACV dynamique :
- 140 kgCO₂e/m³

Exemple du contenu carbone d'une façade sandwich plâtre/Isover F4 :
48 kgCO₂e/m²

Hypothèse de nos projections

Dans nos projections, nous considérons un second œuvre se décarbonant à hauteur de 80 à 100 kgCO₂e/m², à horizon 2030²⁵.

A titre d'exemple, on considère ici le **cas d'étude d'une maison individuelle de 100 m²** (Tableau 12 en annexe). Il montre que la décarbonation du béton à horizon 2030, qui atteint 34 % dans notre modèle grâce aux leviers technologiques mobilisés, reste insuffisante pour rendre l'ouvrage global compatible avec le seuil de 475 kgCO₂e/m² (soit une baisse de 160 kgCO₂e/m² par rapport à 2022) fixé par la RE2020 pour l'année 2028.

Une structure mixte – avec substitution de 30 % du béton par d'autres matériaux, pris à contenu carbone neutre – permet de porter la réduction du contenu carbone à - 66kgCO₂e/m² au total sur l'ensemble de l'ouvrage. A cette évaluation pourraient être ajoutés les gains dus à la comptabilité négative des émissions des matériaux biosourcés, qui pourraient alors permettre de rendre possible la décarbonation du second œuvre à hauteur de - 80 kgCO₂e/m².

²³ Constat partagé lors des entretiens avec les acteurs du secteur, au cours du processus de rédaction du présent rapport et lors des ateliers collaboratifs réalisés dans le cadre de la construction du rapport « Logement » du PTEF : <https://theshiftproject.org/article/habiter-societe-bas-carbone-rapport-intermediaire-shift-30-juin/>.

²⁴ Le calcul des gains pour le biosourcé relève d'un niveau de complexité important pour notre modèle simplifié, entre autres du fait des effets induits sur les quantités potentiellement supplémentaires d'isolants pour assurer l'inertie thermique et le confort d'été, de plaques de plâtre etc.

²⁵ Dans son rapport de 2021 sur l'ACV dynamique, le Cerema considère que le second œuvre parvient à se décarboner à hauteur de 50 à 100 kgCO₂e/m² ce qui représente près de la moitié de l'effort de décarbonation par m² imposée par la RE2020 à horizon 2028 [24]

L'ADEME a publié en 2019 une étude détaillée sur les différents matériaux utilisés dans le bâtiment, donnant plusieurs scénarios dont le « BB » (développement du biosourcé) qui annonçait une construction en baisse de 7 % à 2035 et des évolutions ci-dessous :

- **Ciment-Béton** : 11 % dont – 7 % logement et – 4 % part de marché
- **Bois/Biosourcés** : + 10% dont – 7 % logement et + 117 % part de marché

Nos hypothèses sont plus rapides, la RE2020 étant désormais en vigueur et les scénarios de substitution pour certains lots (par exemple, le plancher des maisons individuelles, avec son seuil à 30% de part de marché) étant timides par rapport aux retours de nos auditions : les fondations resteront bien en béton mais les murs et planchers peuvent se convertir au bois dans des proportions considérables.

Hypothèse de nos projections

Nous considérons une perte de part de marché du béton de 20 % dans le logement collectif et le tertiaire et de 30 % dans la maison individuelle d'ici 2030.

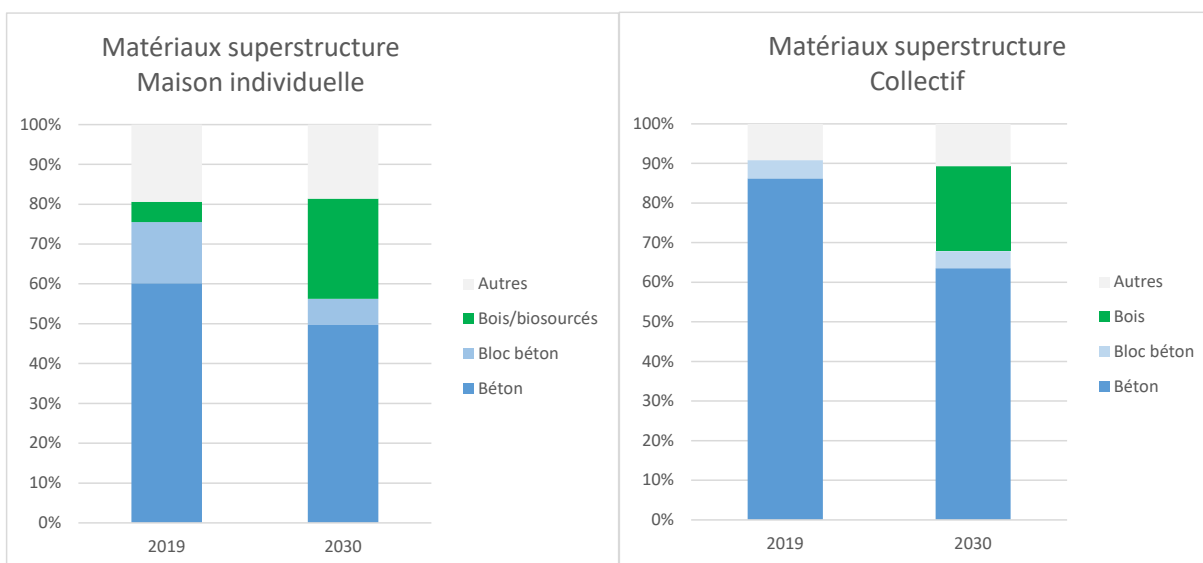


Figure 12 : Evolution de la répartition des matériaux employés dans la superstructure, en maison individuelle et logements collectifs

Sources : calculs de The Shift Project à partir de (ADEME, 2019) [16]

A horizon 2050, les pertes de parts de marché pour le béton s'accroîtront tant en maison individuelle qu'en logement collectif. Plus le CCUS arrivera rapidement (question technique mais aussi économique), plus les chances du béton de garder ses parts de marché seront grandes.

Nous laissons au béton sa part de marché intacte sur les autres segments comme le génie civil et les travaux publics où ses qualités le rendent difficile à remplacer.

Ces hypothèses se traduiraient par une baisse de 12 % de volume de béton consommés d'ici 2030 et de 20 % d'ici 2050, ceci à rythme de construction de logements neufs constant (soit 400 000 logements/an).

L'incertitude la plus importante pesant sur l'impact de la RE2020 est celle de son maintien dans le temps et la capacité de la filière bois à augmenter son régime et sa volumétrie en se structurant pour répondre à la demande et réduire son déficit commercial.

Le défi de la filière bois et la RE2020

Fortement mise en avant et sollicitée par la traduction des objectifs de la RE2020, il est indispensable de s'interroger sur la capacité de la filière bois à atteindre un régime qui permettra de répondre à la nouvelle demande : les tensions récentes sur les approvisionnements en bois et la forte hausse de prix, auxquelles s'ajoutent un déficit commercial en bois transformé de construction de l'ordre de 300 à 400 M€ [21], montrent que la filière n'a aujourd'hui pas la maturité pour offrir la même sécurité d'approvisionnement que la filière béton.

Rendre possible le déploiement de la RE2020 sur le terrain opérationnel ne peut donc s'affranchir d'instruire et relever les deux défis identifiés dans les nombreux rapports déjà disponibles sur le sujet [22]–[26] :

1. **Augmenter la volumétrie de la récolte de bois**, au niveau global, en particulier celle de bois d'œuvre résineux
2. **Structurer l'industrie de transformation française**, aujourd'hui en retard par rapport à des pays comme l'Allemagne

La FNB estime de son côté que l'offre française de bois d'œuvre transformé en 2018 était d'environ 1 Mm³ [23]. **La substitution de 2 Mm³ de béton par 1 à 2 Mm³ de bois d'œuvre transformés supplémentaires sera un défi considérable pour la filière bois française.**

L'exemple de 2021 – où les exports massifs de bois brut ont « asséché » les scieries françaises – montre la fragilité de la filière. Le bois brut doit être considéré comme une ressource stratégique et ses exportations régulées d'une manière ou d'une autre.

Faute de structuration majeure de la filière bois française, il existe un risque de hausse des importations qui pèseront lourd sur la balance commerciale, sur l'emploi et sur les impacts environnementaux.

VI. Nouveaux ciments et capture du carbone : peut-on compter sur des innovations de rupture ?

Après quelques décennies sans innovation de rupture, la pression environnementale qui s'exerce aujourd'hui sur la filière ciment-béton a suscité l'apparition de projets à suivre :

- Nouveaux procédés de production de clinker et de ciment²⁶. La technologie oxyfuel²⁷ couplée avec du CCS est intéressante : un démonstrateur est en projet en Europe.
- Recours aux argiles calcinées et à d'autres matières premières pour la production de ciments alcali-activés et de ciments géopolymères,
- Le CCU (Carbon Capture and Usage). Un projet de production de méthanol à partir du CO₂ d'une cimenterie grâce à l'apport d'hydrogène décarboné est en cours de montage. L'effet sur la réduction effective des émissions dépend de l'usage final du CO₂ (carburants, matières, phénomènes de substitution ou non, etc.).
- Projet Fastcarb²⁸ (France) ou Neustark²⁹ (Suisse) : le piégeage accéléré du CO₂ dans des granulats issus de béton recyclé (GBR).

Vers des granulats de béton recyclé (GBR) qui stockent le carbone ?

L'utilisation de granulats de béton recyclés (GBR) dans le béton devrait augmenter fortement dans la logique de l'économie circulaire.

Le béton recyclé a la capacité d'absorber chimiquement du CO₂ qu'on lui injecterait de façon accélérée.

D'après les démonstrateurs aujourd'hui réalisés, le granulat recyclé ainsi traité pourrait absorber de l'ordre de 15 à 40 kgCO₂ par tonne et ainsi faire partie des puits de carbone [25].

²⁶ Nouvelles compositions minéralogiques comme les calciums sulfoaluminates, production de clinker par oxy-combustion, procédés de production de clinker à températures plus basses mais plus précises etc.

²⁷ https://ecra-online.org/fileadmin/ecra/newsletter/ECRA_Newsletter_3-2012.pdf

²⁸ <https://fastcarb.fr/>

²⁹ <https://fr.neustark.com>

Dans nos projections, nous considérons des réductions du contenu carbone du ciment indexées sur les améliorations aujourd'hui disponibles et déployables à une échelle généralisée, au vu des horizons désormais sensiblement proches fixés par les objectifs nationaux et internationaux (2030, 2050).

Parmi les innovations technologiques citées ici, ayant un caractère davantage incertain, la seule que nous considérons dans nos projections est la technologie CCS. Son industrialisation reste complexe, pas tant pour des questions technologiques que pour la construction et le financement d'infrastructures. Sa faisabilité opérationnelle étant en grande partie dépendante de la capacité des industriels à la financer, son déploiement sur certains sites précis est considéré possible dans notre modélisation.

Nos projections sont construites sur la base des analyses de l'ADEME portant sur le CCS [13], en retenant cependant un rythme plus soutenu que dans leurs analyses (lancement du déploiement chronologiquement plus avancé). Cette hypothèse est choisie afin de décrire les effets qu'aurait la mobilisation importante d'un acteur ou groupe d'acteurs de la filière qui souhaiterait par-là atteindre deux objectifs :

- Profiter de l'avantage concurrentiel que permet la mise sur le marché d'une offre de ciment décarboné ;
- Utiliser sa capacité à proposer une offre de ciment décarboné pour limiter la perte de parts de marché face aux alternatives biosourcées dans les zones à forte densité de logements collectifs.

Hypothèse de nos projections

Nous considérons un déploiement de la technologie CCS permettant une capture de 0,5 MtCO₂/an en 2030 et 1 MtCO₂/an en 2050.

La Commission européenne a annoncé le 14 juillet 2021 son projet de CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) concernant l'électricité, les engrais, le ciment, l'acier et l'aluminium. L'intégralité de ces secteurs est soumise au système des ETS et donc aux risques de fuites carbone (c'est-à-dire l'importation de produits non soumis à ces ETS et donc avantageés, malgré la mise à disposition pour les acteurs européens de quotas gratuits).

Son principe en serait le suivant :

- Dès 2023, les importateurs déclareraient le contenu carbone du ciment importé pour commencer à être soumis au paiement de droits d'émission à partir de 2026 (en prenant en compte les droits de l'UE comparés à ceux éventuellement déjà payés dans le pays producteur) ;
- A partir de 2026, les quotas carbones gratuits des usines européennes se réduiraient de 10 % par an, pour finalement disparaître totalement en 2036.

Dans le cas du ciment, ce mécanisme, **s'il voit le jour**, permettrait aux industriels de financer le coût des investissements nécessaires à la décarbonation de leur production – dont le déploiement du CCS sur les sites adaptés – tout en limitant le risque de fuites aux frontières. Cela pourrait avoir plusieurs effets, différents :

- Les acteurs de la filière pourraient se trouver en position de reporter les coûts de production supplémentaires dus aux investissements sur le prix des ouvrages finaux ;
- Les besoins en subventions pourraient en être réduits suivant la stratégie de rentabilisation choisie par les acteurs ;
- Les importations pourraient être contenues.

VII. La sobriété dans la construction neuve, dernier levier à disposition de la filière ?

Hypothèse de nos projections – Leviers de sobriété

L'activation de tous les leviers décrits jusqu'ici – dont le CCS limité à 1MT – permettent d'atteindre un niveau de **réduction des émissions de l'ordre de 70 %** par rapport à 2022, en maintenant un **niveau de construction similaire à celui de 2015**.

Cette diminution reste **en-deçà de l'objectif de 80 %** de réduction fixé pour la filière.

Le niveau de **déploiement des autres leviers a été choisi élevé et volontaire** dans les projections du PTEF, **afin de laisser aux acteurs une marge de progrès technologique importante**. Il est malgré cela **nécessaire de mobiliser** le dernier levier accessible : **la réduction de la demande en construction neuve**.

Le niveau d'activation de ce dernier levier est fixé par les travaux portant sur le **secteur du logement dans le cadre du PTEF**, et **résulte donc du croisement systémique des contraintes des deux secteurs**.

Rappelons que la construction de 1 m² de logement neuf continuera d'engendrer environ 400 kgCO₂e en 2030, après mobilisation des leviers (Tableau 6). Construire 400 000 logements neufs par an d'une surface moyenne de 100 m² (niveau de 2015), ce serait donc consommer plus de 40 Mt de matériaux et émettre près de 16 MtCO₂e.

Rénover des logements existants ne consomme qu'une fraction de ce chiffre, car la conservation de la superstructure évite la plus grande part des émissions qui sont associées à la construction neuve [3].

Les projections construites dans le cadre des travaux sur le **secteur du logement au sein du PTEF** décrivent une **réduction progressive et pilotée** du rythme de construction de logements neufs (individuels et collectifs) d'ici 2050 :

- **Maintien à 395 000 logements par an, jusqu'en 2030 ;**
- **Réduction progressive jusqu'à 250 000 logements par an, entre 2030 et 2050.**

Aucune hypothèse d'évolution n'a été formulée en ce qui concerne les niveaux de construction relevant du tertiaire ainsi que des infrastructures, voiries et génie civil, qui ont été gardés constants sur toute la période de modélisation (2020-2050). Ce choix d'hypothèse est motivé par deux éléments :

- Le manque d'instruction quantitatif du sujet dans le cadre des travaux ici présentés ;
- La concurrence de plusieurs dynamiques ayant le potentiel de s'équilibrer (baisse des activités relatives à certaines infrastructures de transport mais report sur d'autres, augmentation des travaux liés à l'adaptation au changement climatique etc.).

La projection du PTEF sur la construction neuve de logements est sensiblement proche de celui de l'ADEME [6], qui prévoit 250 000 à 260 000 logements neufs construits en 2050.

En ce qui concerne les travaux publics, le PTEF formule une hypothèse de maintien des niveaux de construction actuels, le scénario de l'ADEME prévoyant lui une augmentation de 25 % de la construction routière.

04

**LES TRANSFORMATIONS
DE LA FILIÈRE PAR
LE PTEF À HORIZONS
2030 ET 2050**

Les transformations préconisées par le PTEF peuvent être décrites selon deux angles possibles : celui de la filière « ciment », ou bien celui de la filière « béton ». Dans les deux cas, la conclusion est identique – atteindre les objectifs de décarbonation nationaux du secteur ne peut passer que par le déploiement volontaire et la mise en concert des leviers à disposition :

- Mobiliser les investissements nécessaires au déploiement d’une véritable offre de ciment et béton au plus faible contenu carbone technologiquement accessible,
- Substituer une partie du béton dans la construction par des alternatives biosourcées et géosourcées³⁰,
- Réduire le rythme de construction neuve.

L’indicateur « construction neuve » étant surveillé comme le lait sur le feu par l’intégralité des filières de la construction, sa réduction forte pourrait sans doute affecter la volonté des acteurs industriels de mettre en place de gros investissements comme le CCS. L’impact du logement neuf reste cependant limité dans son impact sur la filière cimentière – de l’ordre de 1 à 2 MtCO₂e – et ses transformations lui sont imposées par le respect de ses propres impératifs de décarbonation.

Deux périmètres peuvent être adoptés pour présenter les dynamiques de décarbonation de la filière :

- La vision « ciment », qui correspond au périmètre retenu par le CNI-SFIC dans sa feuille de route [6] ;
- La vision « béton », qui intègre toute la chaîne de valeur du matériau de production.

³⁰ Le contenu carbone de ces matériaux est considéré dans nos projections comme étant neutre, et non négatif.

La transformation de la filière, périmètre « béton »

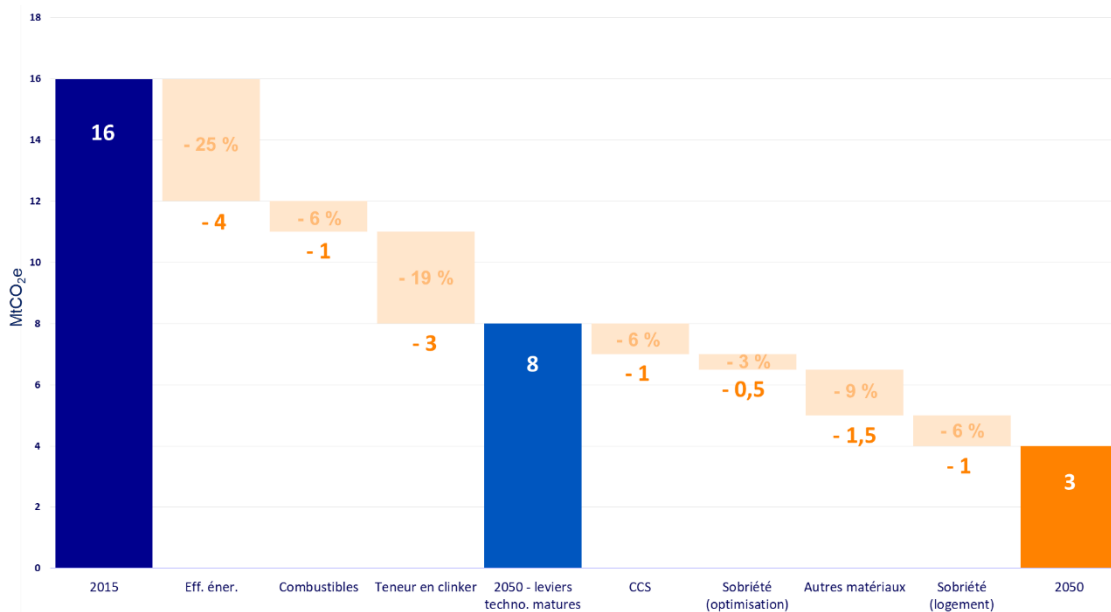


Figure 13: Réductions des émissions de GES du secteur permises par les leviers du PTEF, entre 2015 et 2050

Vision « filière béton »

Source : calculs de The Shift Project

Les transformations préconisées par le PTEF permettent d'atteindre sur la filière l'objectif de décarbonation indexé sur celui de la SNBC de 80 % de réduction des émissions à 2050 pour l'industrie. Cet objectif est atteint sans mobiliser de technologie à degré trop faible de maturité technologique ou opérationnelle, et ce tant pour la filière prise dans son périmètre « équivalent béton » – comprenant tous les ciments et ses usages, y compris le sac, la GSB et les mortiers – (Figure 13) que pour la filière sous son périmètre « ciment » (Figure 14).

C'est bien la combinaison des leviers technologiques et de sobriété qui permet d'atteindre l'objectif fixé par la SNBC pour l'industrie :

- « Eff. éner. » : améliorer l'efficacité énergétique des installations ;
- « Combustibles » : augmenter la part de combustibles alternatifs (biomasse, CSR) dans les fours ;
- « Teneur en clinker » : développer et recourir aux ciments bas carbone, à faible teneur en clinker ;
- « CCS » : capture et stockage du carbone issu des cimenteries ;
- « Sobriété (optimisation) » : baisse dosage en ciment du béton, optimisation des quantités de béton, à service rendu équivalent ;

- « Autres matériaux » : augmenter la part des matériaux biosourcés et géosourcés dans la construction ;
- « Sobriété (logement) » : réduction des volumes de logements neufs construits annuellement, imposée par les impératifs de décarbonation du secteur logement.

Les technologies de rupture : un pari à pousser, la sobriété pour compenser

Les risques étant bien plus forts sur les leviers technologiques moins matures (CCS, notamment) que sur les leviers matures (efficacité énergétique etc.), il est essentiel de comprendre qu'il doit être envisagé de recourir à une sobriété plus intense si leur déploiement échoue dans les années à venir.

Pousser leur développement devra donc s'accompagner d'outils de suivi, permettant de détecter un écart trop grand à la trajectoire qui permet de les mobiliser à temps.

La transformation de la filière, périmètre « ciment »

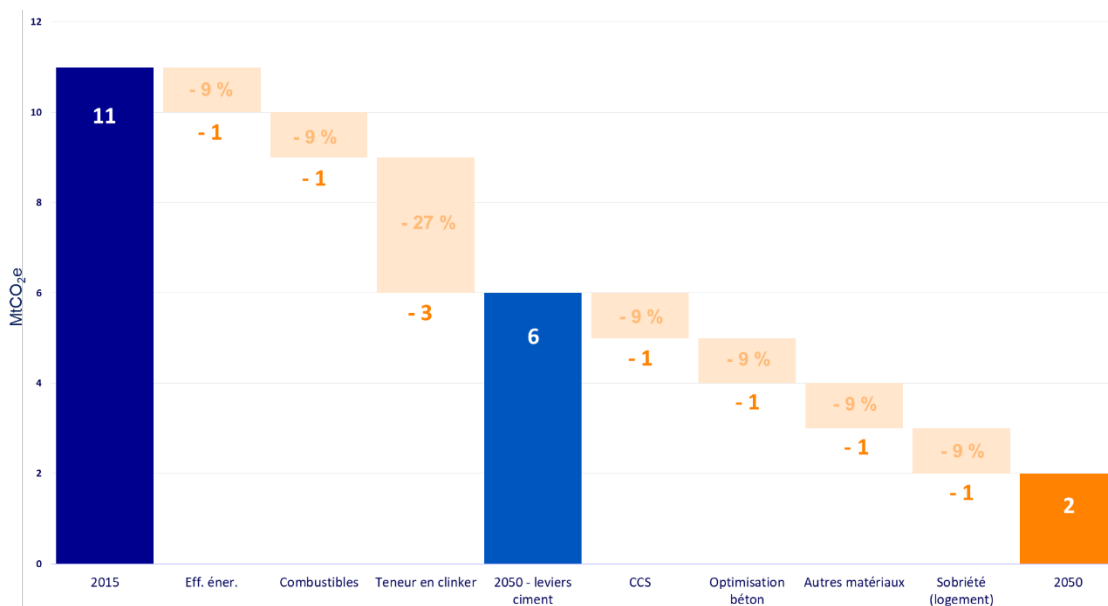


Figure 14: Réductions des émissions de GES du secteur permises par les leviers du PTEF, entre 2015 et 2050

Vision « filière ciment »

Source : calculs de The Shift Project

La comparaison des projections du PTEF (Figure 14) et de celles produites par le CNI-SFIC dans le cadre de la feuille de route publiée en mai 2021 sur la filière « ciment France » [6] permet de **fixer les conclusions essentielles que les acteurs doivent à tout prix intégrer dans leurs stratégies des une à trois prochaines décennies :**

- 1 Seul le déploiement et l'agencement intelligent de tous les leviers pourront permettre à la filière d'atteindre ses objectifs de décarbonation, en combinant les visions « béton » et « ciment » des chaînes de valeur.
- 2 Les leviers technologiques, d'efficacité et d'optimisation ne suffisent pas à assurer la viabilité de la trajectoire du secteur au rythme de construction neuve actuel.

3

La réduction des volumes de logements neufs construits est une dynamique issue des hypothèses du secteur du logement et à laquelle la filière ciment doit savoir s'adapter : le scénario du CNI-SFIC intègre dans ses projections une baisse de la demande globale en construction neuve de 11 %, dont une réduction de 35 % pour le logement, qui mène à un rythme de 250 000 logements par an en 2050 (en partie compensée par une croissance des travaux publics) – ce qui valide la pertinence du levier de sobriété préconisé par le PTEF sur la construction neuve de logements.

05

**LES CONSÉQUENCES
DES TRANSFORMATIONS
SUR L'EMPLOI**

VIII. L'emploi dans le secteur ciment-béton

A. Le périmètre PTEF

Les filières du ciment et du béton devront être considérablement redimensionnées pour décarboner la filière. Bien qu'une partie de la réduction des émissions s'appuie sur des leviers techniques, les volumes produits diminueront malgré tout.

La filière béton sera impactée par la réduction de la construction de bâtiments neufs et par le passage aux matériaux biosourcés. La production de ciment le sera davantage encore, l'un des leviers de décarbonation étant la diminution de la teneur en ciment du béton. On peut par contre s'attendre à un développement de la filière bois, qui viendra remplacer le béton dans la construction et pourrait devenir fortement demandeuse de main-d'œuvre.

C'est une filière entière – extraction de matières premières, fabrication du ciment et fabrication de béton – qui sera impactée par ces transformations. La filière étant entièrement localisée en France, les effets de la décarbonation sur l'emploi s'appliqueront de l'amont à l'aval, avec des pertes d'emploi attendues. Les présents résultats s'attachent à donner un ordre de grandeur de la demande en main-d'œuvre du secteur après transformation de la filière, et à la mettre en cohérence avec le potentiel de création d'emploi dans la filière bois. Ces estimations peuvent constituer une base pour anticiper les conséquences sociales dans la filière, et ainsi les limiter au mieux, en accompagnant les salariés dans leur montée en compétences ou dans un parcours de reconversion.

Le périmètre retenu comprend les emplois de l'exploitation de carrières de sable, de la fabrication de ciment et de la fabrication d'ouvrages en béton. Plusieurs activités ne sont toutefois pas intégrées :

- Le commerce de gros de matériaux de construction (dont le béton) n'a pas été intégré au périmètre, même si l'on estime qu'il sera impacté par l'évolution des matériaux de construction (notamment depuis le béton vers le bois).
- La fabrication d'éléments de construction en bois, traitée ici, n'a pas été intégrée aux chiffrages. Un travail dédié est en cours de traitement, et a déjà fait l'objet d'une publication intermédiaire (amenée à évoluer) dans le cadre du PTEF [26].

B. Etat des lieux et tendances actuelles

La filière ciment, de l'extraction à la fabrication de béton, représente en 2018 près de 45 000 ETP. L'aval de la filière, la fabrication d'éléments en béton, est la plus intense en main-d'œuvre : elle représente près des trois quarts de la main-d'œuvre (Tableau 10). L'extraction des matières premières (notamment de calcaire), la fabrication de ciment et celle d'éléments en béton sont fortement interdépendantes, cette filière étant peu sujette aux importations et aux exportations.

Emplois dans la filière ciment-béton, en 2018	Emplois (en ETP)	CA (en M€)	Emploi/CA (en ETP/k€)
Carrières	7 500	2 500	340
Ciment	4 500	2 000	440
Préfabriqué	16 000	3 800	240
BPE	14 800	5 800	400
Mortier	1 700	700	420
Total	44 500		

Tableau 10 : Emploi actuel de la filière ciment-béton (ETP)

Source : (Insee, 2018) [27], (SFIC, 2019) [8]³¹

IX. Les effets de volume : des adaptations de cimenteries en perspective

A. Une réduction des volumes de production de la filière

Les trois projections suivantes permettent de décrire les grandes dynamiques d'évolutions possibles des volumes de production de ciment d'ici 2050, au cours de la transformation de la filière :

³¹ Sources : Carrières et éléments en béton : ESANE 2018, NAF 08.12 (Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles et de kaolin) et NAF 23.61 (Fabrication d'éléments en béton pour la construction), 23.63 (Fabrication de béton prêt à l'emploi) et 23.64 (Fabrication de mortiers et bétons secs) [27] ; Fabrication de ciment : SFIC 2019 (en nombre de salariés) [8].

- **Dans la projection « PTEF, hors sobriété »** (qui décrit les transformations du PTEF sans les leviers de sobriété sur la construction neuve), les évolutions du ciment, du béton, des mortiers et des modes de construction conduisent à un volume de production de **10 Mt de ciment en 2050**.
- **Dans la projection « PTEF, avec sobriété »** (qui décrit la transformation complète induite par le PTEF), le volume de production est de l'ordre de **8Mt de ciment par an en 2050**.
- **La projection « PTEF, sans import »** décrit quant à lui l'effet additionnel possible des transformations du PTEF sur les importations, qui pourraient être amenées à réduire les nouvelles contraintes et spécificités du marché français³². L'effet de cette réduction se traduit ici par une limitation de l'effet de contraction de volume du PTEF, menant à **9 Mt produites en 2050**.

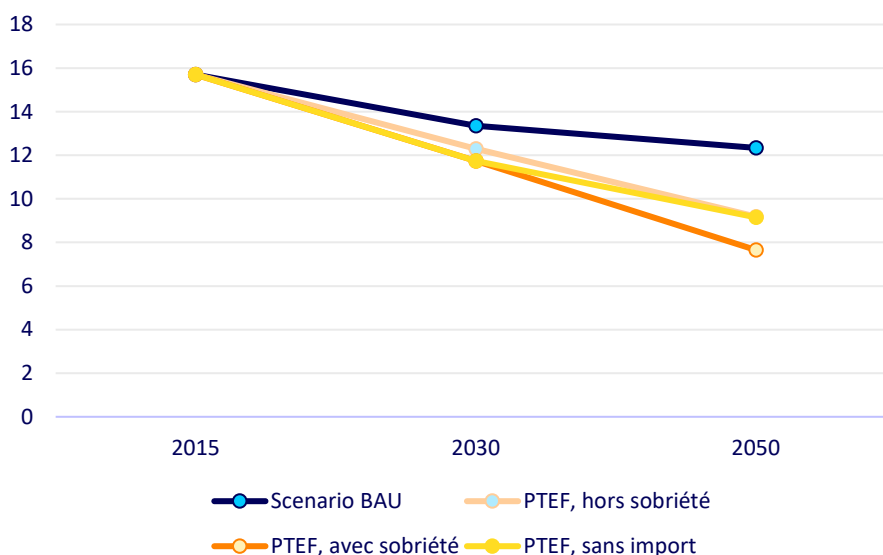


Figure 15: Evolution de la production de ciment en France dans l'économie transformée entre 2015 et 2050 (en Mt)

Source : calculs de The Shift Project

Les cimenteries françaises restant de tailles relativement faibles par rapport à leurs homologues dans le monde, les transformations préconisées par le PTEF comportent le risque d'engendrer des scénarios de fermetures progressives de plusieurs d'entre elles : couplés à la réduction des volumes de production, les investissements

³² Si une réglementation ferme est mise en place, certaines importations peuvent avoir du mal à se conformer au nouveau contexte réglementaire.

importants qu'il faudra faire – autour des fours et pour le broyage séparé du clinker et des ajouts notamment – ne seront pas accessibles à tous les acteurs.

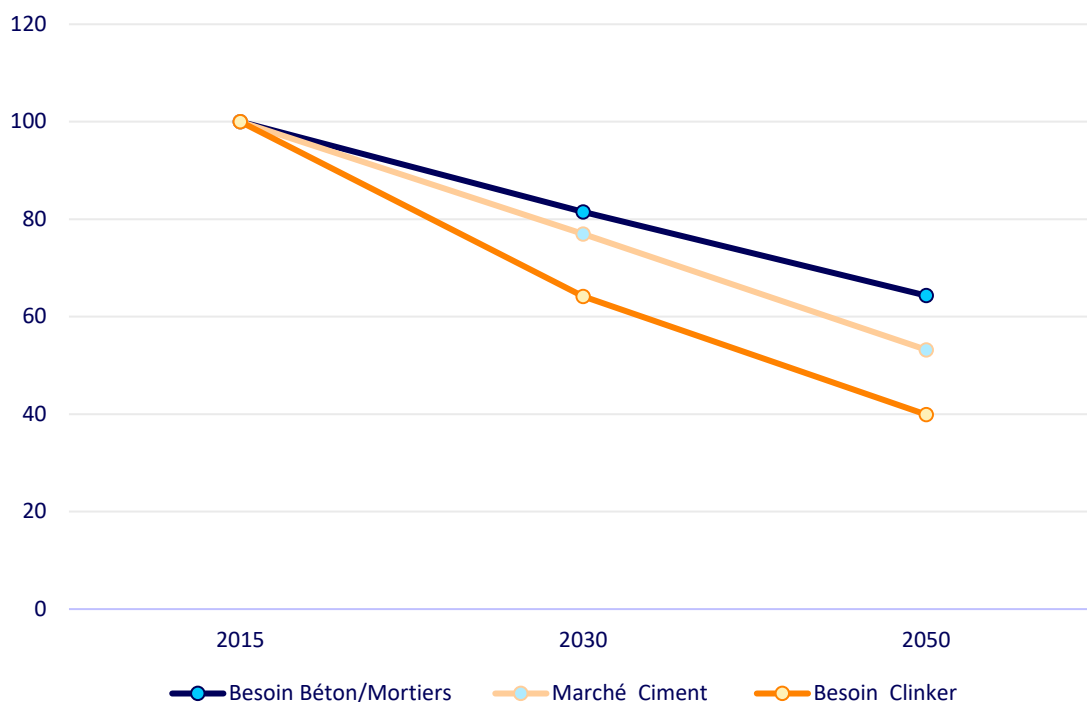


Figure 16: Evolution des besoins en béton, ciment et clinker dans l'économie transformée entre 2015 et 2050 (en base 100, année 2015 en référence)

Source : calculs de The Shift Project

Les quantités de béton baisseront moins que celles de ciment, qui baisseront-elles même moins que la production de clinker.

La baisse de 36 % des volumes de béton impliquera des effets sur les emplois qui y sont liés et des reconversions, mais des leviers sont disponibles et à mobiliser pour limiter les pertes nettes d'emplois et accompagner les reconversions nécessaires.

Un scénario alternatif reposant sur un CCUS massif ayant un impact dès 2030 (captage entre 2 à 3MT) permettrait d'éviter les substitutions du béton par le biosourcé et de réduire la nécessité d'optimiser le béton. Cela réduirait les baisses de volumes à environ la moitié de notre scénario.

B. Des effets réels sur les emplois de la filière

La baisse des volumes dans les filières ciment et béton devrait conduire à des pertes d'emplois dans la filière.

- La baisse des volumes de ciment produits occasionnerait très probablement des fermetures de cimenteries, qui seront des symboles forts. L'impact sur l'emploi sera malgré tout **quantitativement** moins important (environ 2 000 emplois directs³³) que sur la filière béton dans son ensemble ;
- En réfléchissant en volume, **la baisse du béton pourrait coûter près de 15 000 emplois dans le reste de la filière** (extraction et fabrication de béton).

	Actuel	2030	2050
Emissions GES Ciment (MtCO₂e)	10,6	5,0	1,8
Production de ciment (Mt)	16	12	8
Production en béton équivalent (Mt)	65	53	42
Emploi du ciment (nombre de salariés)	4 500	3 400	2 200
Emploi des carrières (ETP)	7 500	6 100	4 800
Emploi du béton (ETP)	32 500	26 500	20 900
Emploi total (lié au volume de production)	44 500	36 000	28 000
<i>Evolution (ETP)</i>		- 8 500	- 16 600
<i>Evolution (%)</i>		-19%	-37%

Tableau 11 : Evolution de l'emploi de la filière ciment-béton dans l'économie transformée entre l'état actuel³⁴ et 2050

Source : calculs de The Shift Project

³³ Au vu des cadences moyennes de production des infrastructures de la filière, la production des 7 à 9 Mt de ciment nécessaire pour répondre à la demande de 2050 ne devrait solliciter qu'un marché de l'ordre d'une douzaine de cimenteries.

³⁴ Chiffres 2018

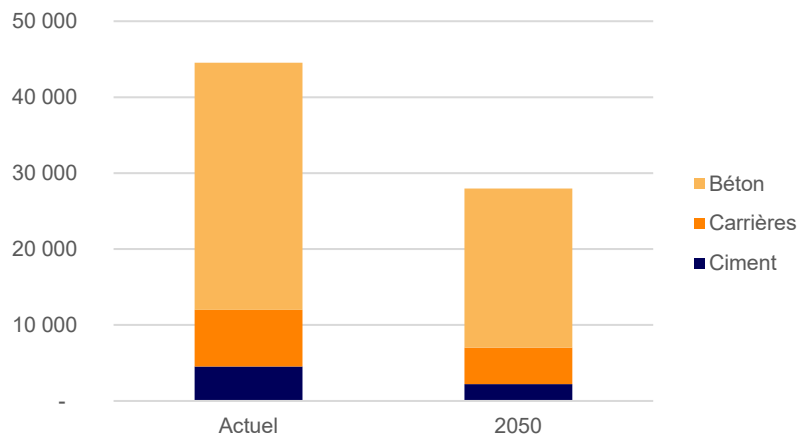


Figure 17: Evolution de l'emploi de la filière ciment-béton dans l'économie transformée (pas de prise en considération ici des créations et transferts d'emplois vers la filière bois)

Source : calculs de The Shift Project

Au total donc, sur la seule base des volumes, la filière béton risque de perdre de l'ordre de 10 000 emplois à 2030 et près de 16 000 à 2050, dont près des deux tiers en raison des substitutions par d'autres matériaux et un tiers lié à la baisse de la construction de logements neufs. **Planifier et comprendre ces pertes brutes et leurs enjeux permettront de correctement mobiliser les leviers qui permettent d'accompagner les transformations compensant ces réductions d'activités.**

X. Compenser les pertes d'emploi : répercuter la montée en gamme de la fabrication du béton

Le développement de bétons décarbonés et les exigences accrues en termes de contrôle qualité qui en découlent vont se traduire par un besoin de montée en compétence significative de tous les acteurs du béton prêt à l'emploi. Il est également probable que la demande en adjuvants augmente fortement par m³ de béton fabriqué, ce qui engendrerait des créations d'emplois potentielles.

En termes de compétences, la difficulté actuelle à trouver des techniciens béton qualifiés devrait donc s'aggraver. Il serait ainsi indispensable de renforcer l'attractivité des formations sur le sujet (les formations DUT, par exemple) et la formation au sein des entreprises.

XI. Compenser les pertes d'emploi : développer les autres matériaux dont la filière bois

Le bilan des pertes brutes d'emplois (destruction des emplois existants) doit de plus être considéré en rapport aux **créations d'emplois engendrées** par le report des activités de production vers d'autres filières, dont celle du bois.

L'industrie du bois représente en effet un gisement d'emplois considérable. L'industrie du bois pourrait donc créer des emplois équivalents en nombre et en qualité dans la fabrication du matériau – à la condition que la filière ne massifie pas ses importations faute de capacité, ce qui constitue l'un des points clé à piloter et instruire pour rendre possible la transformation de l'économie.

La baisse d'un tiers des volumes de béton va donc demander des reconversions, mais ne devrait pas se traduire par des pertes nettes d'emploi si la filière industrielle du bois réussit sa montée en puissance :

- **En ce qui concerne la fabrication du matériau, la production de charpente est plus riche en emploi** (5,5 ETP/M€ de CA³⁵) que le BPE (2,5 ETP/M€), et que la préfabrication de béton (4,2³⁶ ETP/ M€) alors que ces activités sont assez comparables dans leur principe : livrer sur chantier des éléments prêts à être montés.
- **En termes de mise en œuvre du matériau, passer du béton au bois ne cause pas de gain ou de perte d'emplois** sur les chantiers³⁷. En tant que filière sèche, le bois présente de plus potentiellement un facteur de confort supérieur pour les opérateurs.

Si la filière bois française monte en régime pour éviter les importations, **le bilan net de cette révolution pourrait être rendu neutre en termes de nombre d'emplois, et ce malgré la baisse du nombre de logements construits.** Assurer un bilan positif des transformations du secteur de la construction implique cependant **deux points de vigilance incontournables :**

³⁵ CA : Chiffre d'Affaire

³⁶ ESANE 2018, codes NAF 16.23 (Fabrication de charpentes et d'autres menuiseries) et 23.61 (Fabrication d'éléments en béton pour la construction) [27].

³⁷ Constat partagé lors des entretiens avec les acteurs du secteur, au cours du processus de rédaction du présent rapport et lors des ateliers collaboratifs réalisés dans le cadre de la construction du rapport « Logement » du PTEF : <https://theshiftproject.org/article/habiter-societe-bas-carbone-rapport-intermediaire-shift-30-juin/>.

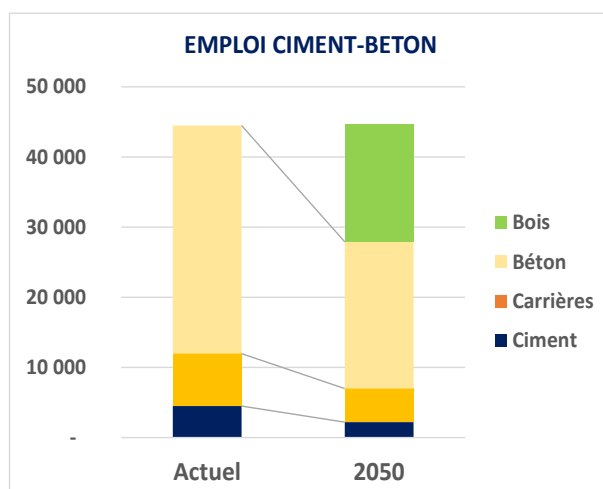
- **Assurer la planification et l'accompagnement des reconversions nécessaires** (avec une véritable prise en compte en amont des implications du changement d'activité pour les personnes impliquées, pour leur implantation géographique, pour leur mode de vie) ;
- Planifier et piloter les productions et exportations de la filière bois française, afin de la dimensionner pour être adaptée à la demande de l'économie transformée.

Question clé – Le développement de la filière bois

La quantification des emplois créés par le développement de la filière bois n'est pas intégrée dans l'évaluation globale du PTEF, le degré de consolidation du sujet, notamment par le biais d'auditions d'acteurs du secteur, n'étant pas suffisant.

Les modélisations préliminaires réalisées dans le cadre des travaux sur le secteur Bois-Forêt [26] et les éléments présentés dans le présent rapport abondent cependant dans le sens d'un développement de l'emploi dans la filière bois potentiellement suffisant pour compenser globalement les pertes d'emplois de la filière ciment-béton.

La vraie question reste la capacité de la filière bois française à répondre à la demande créée par la RE2020. Si elle n'y arrive pas et que les importations de produits de construction en bois d'œuvre augmentent fortement, ces créations d'emploi se feraient ailleurs qu'en France.



*Figure 18 : Exemple de potentiel de création d'emplois par le développement de la filière bois
Source : calculs de The Shift Project (les résultats concernant la filière bois ne sont ici présentés qu'à titre indicatif, afin d'illustrer un scénario dans lequel ils permettent de compenser les pertes)³⁸.*

XII. Conclusions générales pour le secteur : devenir une filière de pointe et un laboratoire du monde

La filière ciment-béton est celle qui fait face à l'un des plus gros défis stratégiques de l'économie.

Le PTEF permet de comprendre ce qu'implique vraiment la décarbonation de ses activités à la bonne échelle, et d'ainsi concevoir les difficultés que les acteurs doivent se préparer à gérer dans une économie qui s'aligne sur les objectifs de la SNBC.

La possible mise en place du CBAM à l'échelle européenne est une opportunité pour diminuer les risques pour les acteurs locaux et financer cette révolution.

Sans engager de transformation de l'envergure de celles du PTEF, la filière se trouvera au-devant d'importants risques physiques et économiques difficilement quantifiables d'ici 2030, puis 2050. Déployer un plan de transformation comme le PTEF lui permettra au contraire :

- **D'engager dès maintenant les investissements nécessaires à sa décarbonation**, dont le retard pèse déjà sur l'avenir de la filière à moyen terme (d'ici 2030) ;
- **D'anticiper les transformations des autres secteurs de l'économie**, de la demande qui en découle, et donc prévoir des stratégies qui permettront à la filière de continuer d'exister tout en restant compatible avec les contraintes physiques de l'économie.

Si elle réussit cette transformation historique, la filière ciment-béton française pourrait redevenir la référence mondiale en termes de décarbonation. Les acteurs

³⁸ Les hypothèses et méthodologie d'obtention de ces chiffres (par proportionnalité avec le CA) ne sont pas consolidées dans le cadre du chantier « Emploi » du PTEF.

les plus en pointe sur le sujet seront de plus sans doute en mesure de gagner des parts de marchés et de limiter l'érosion de l'usage du béton.

Echouer à déployer une stratégie comme le PTEF, à la hauteur des enjeux ne pourra venir que de la combinaison d'une lenteur de la filière ciment-béton à mobiliser les investissements requis, et d'une incapacité du domaine de la construction à piloter ses changements d'ensemble (dont le développement de la filière bois d'œuvre française au bon niveau et l'accompagnement des emplois, personnes et entreprises dans la transformation ou la migration de leurs activités).

Tout va se jouer d'ici 2025, moment où les constructeurs de logements devront véritablement faire des choix forts de matériaux pour passer le premier seuil significatif de réduction des émissions imposé par la RE2020. Si les investissements dynamiques, matériaux et solutions ne sont pas prêts, la pression sur le gouvernement pour revoir la norme sera considérable.

Si au contraire la RE2020 se met en route comme prévu et s'inscrit dans la durée, portée par la mobilisation organisée des secteurs, la France va devenir le laboratoire du monde pour la construction.

Si la filière ciment-béton française se rend capable d'être une clé de voûte de ces évolutions en mettant en œuvre ce plan de transformation, elle en sera en plus devenue la référence mondiale des prochaines décennies.

ANNEXES

Annexe 1 : La question des coûts – Evaluation de la sensibilité du prix du ciment à la décarbonation

Scenario 1 décarb à 400kCO2/t		Scenario 2: décarbonation totale CCS	
Prix ciment gris 52.5 (€/t)	120	120	idem
<i>Ebitda estimé (1)</i>	30%	30%	idem
Coût CO2 à 120€/t	56	55	Carbon capture
Amortissement invest sur 10ans (2)	24	52	Transport and Storage (3)
Prix 2035 MIN (cost+) €/t	200	227	idem
Prix cagr	3,7%	4,7%	idem
<i>Nouvel Ebitda % si maintenu en absolu</i>	18%	16%	idem
Prix 2035 MAX (maintien %ebitda) €/t	235	275	idem
Prix cagr	4,9%	6,1%	idem

(1) hypothèse moyenne conservatrice sur acteurs France. Réels publiés par certains acteurs côtés supérieurs

(2) Capex SFIC hors CCS 3400M€, amortis sur 10 ans sur volumes de MT 12

(3) cas Ademe Hauts de France, transport bateau offshore dans étude potentiel CCS de juillet 2020

Tableau annexe : Analyse de sensibilité des prix du ciment gris en France, selon le scénario de décarbonation à 2035 (en €/t)

Source : calculs de The Shift Project

L'EBITDA (Earning before Interest Tax Depreciation and Amortization), est l'équivalent anglo-saxon du profit d'exploitation avant intérêts financiers, impôts, amortissement et dépréciation.

Le prix « 2035 MIN » désigne le prix d'un ciment gris typique en 2020 auquel s'ajoute uniquement le surcoût de la décarbonation assumé en 2035. L'EBITDA chute dans ce cas sous les 20 % du chiffre d'affaires.

Le prix « 2035 MAX » désigne le prix du même ciment en 2035, permettant de garder 30 % d'EBITDA sur chiffre d'affaires compte tenu du surcoût de décarbonation assumé par le producteur.

Annexe 2 : Cas d'étude de la maison individuelle de 100 m², 2019–2030

Cas d'étude d'une maison individuelle de 100 m ²	Part du lot dans le volume total de béton	2019		2030		Evolution 2019–2030 des volumes de béton
		Vol. béton (m ³ /log.)	Béton dans le lot	Vol. béton (m ³ /log.)	Béton dans le lot	
Fondation et sous-sol	40%	19	100%	18	100%	-5%
Sols	30%	14	85%	8	50%	-40%
Murs	30%	14	50%	6	20%	-60%
Total structure	100%	47		32		-30%
Emissions de GES de la maison individuelle		2019		2030		Evolution 2019–2030
Contenu carbone du béton (kgCO₂e/m³)		251		166		-34%
GES totales dues au béton dans l'ouvrage (kgCO₂e)		12000		5333		-55%
GES unitaires dues au béton (kgCO₂e/m²)		120		53		-55%

Tableau 12 : Etude cas sur une maison individuelle en 2030 (données arrondies)

Source : calculs de The Shift Project

Bibliographie

- [1] The global cement report, « 13th edition », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cemnet.com/Publications/Item/182291/the-global-cement-report-13th-edition.html>
- [2] CITEPA, « Données d'émissions et rapports d'inventaire », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.citepa.org/fr/telechargements/>
- [3] The Shift Project, « Habiter dans une société bas carbone - Dans le cadre du Plan de transformation de l'économie française », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://theshiftproject.org/article/rapport-final-habiter-dans-une-societe-bas-carbone-7-octobre-2021/>
- [4] GCCA, « GNR database. Global Cement and Concrete Association. », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/gnr-gcca-in-numbers/>
- [5] ADEME, « Plan de Transition Sectoriel de l'industrie cimentière en France : Premiers résultats technico-économiques – Rapport de synthèse. », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/synthese-pts-ciment-premiers-resultats-011384.pdf>
- [6] CNI et SFIC, « Décarbonation de l'industrie - Feuille de Route de la Filière Ciment », Conseil National de l'Industrie, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/csf/construction/decarbonation_feuille_de_route_ciment.pdf
- [7] CEMBUREAU, « Cemeting the European Green Deal - Reaching climate neutrality along the cement and concrete value chain by 2050 », 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://cembureau.eu/media/kuxd32gi/cembureau-2050-roadmap_final-version_web.pdf
- [8] SFIC et ATILH, « Infociments 2019 - L'essentiel », 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.infociments.fr/sites/default/files/articles/pdf/SFIC2019-v3-BD.pdf>
- [9] CE Delft, « Additional profits of sectors and firms from the EU ETS. 2008-2019 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://cedelft.eu/publications/additional-profits-of-sectors-and-firms-from-the-eu-ets/>
- [10] Legifrance, « Journal officiel "Lois et Décrets" n° 0297 du 22 décembre 2021 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/jo/2021/12/22/0297>
- [11] Martirena, F. et al., « Calcined clays for sustainable concrete », 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-024-1207-9>
- [12] elioth, « Le vrai du faux béton bas carbone », 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://elioth.com/le-vrai-du-faux-beton-bas-carbone/>
- [13] ADEME, « AVIS de l'ADEME - Captage et stockage géologique de CO2 (CSC) en France », 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/changement->

- climatique-et-energie/69-avis-de-l-ademe-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html
- [14] Gouvernement français, « Interdiction à la location des logements avec une forte consommation d'énergie dès 2023 - modification du DPE par décret du 13 janvier 2021 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.gouvernement.fr/interdiction-a-la-location-des-logements-avec-une-forte-consommation-d-energie-des-2023>
- [15] HCC, « Rénover mieux : leçons d'Europe », Haut Conseil pour le Climat. Réponse à la saisine du gouvernement, 2020.
- [16] ADEME, « Prospectives 2035 et 2050 de consommation de matériaux pour la construction neuve et la rénovation énergétique BBC », Déc. 2019, 2019. [En ligne]. Disponible sur: <https://librairie.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/439-prospectives-2035-et-2050-de-consommation-de-materiaux-pour-la-construction-neuve-et-la-renovation-energetique-bbc.html>
- [17] DGE, « Prospective - Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance de 2030 », Direction Générale des Entreprises, 2016. [En ligne]. Disponible sur: https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/etudes-et-statistiques/prospective/Industrie/2016-11-Filiere-minerale-construction-Rapport-pipame.pdf
- [18] MTE, « Données et études statistiques - Construction de locaux, résultats à fin mai 2020 », Ministère de la Transition Ecologique. n° 285 - juillet 2020, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/285>
- [19] MTES, « RE2020 - Ministère de la transition écologique », Mise à jour au 18 février 2021, 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2021.02.18_DP_RE2020_EcoConstruire_0.pdf
- [20] IFPEB et Carbone 4, « Le Hub des prescripteurs bas carbone - Brief filière béton & book innovation », Webinaire du 08/12/2020, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2021/02/Barome%CC%80tre-du-Hub-des-prescripteurs-bas-carbone-n%C2%B01-2302.pdf>
- [21] INIES, « Fiches FDES, base INIES ». Consulté le: sept. 01, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inies.fr>
- [22] France Bois Forêt, « Enquête nationale de la construction bois. Conférence de presse 26 juin 2019 », France Bois Forêt, CODIFAB, FBR, FFB, afcobois, 2019. [En ligne]. Disponible sur: https://franceboisforet.fr/wp-content/uploads/2019/06/ENQUETE_CONSTRUCTIONBOIS_JUIN_2019.pdf
- [23] Bouygues Construction, « Bouygues Bâtiment France Europe s'engage à utiliser 30 % de bois français dès 2021 et 50 % en 2025 », 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://mediaroom.bouygues-construction.com/bouygues-batiment-france-europe-sengage-a-utiliser-30-de-bois-francais-des-2021-et-50-en-2025/>
- [24] Cerema, « RE2020 - Présentation de la réglementation environnementale 2020 », Webinaire du 25/05/2021, 2021. [En ligne]. Disponible sur:

https://www.cerema.fr/system/files/documents/2021/05/210525_presentation_re2020_dreal_paca.pdf

- [25] FastCarb, « FastCarb - Les projets nationaux dans le rétro », 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://fastcarb.fr/2022/01/10/les-pn-dans-le-retro-fastcarb-vous-propose-son-bilan-2021/>
- [26] The Shift Project, « Plan de transformation de l'économie française : focus sur la forêt et le bois », 2020. Consulté le: août 31, 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/04/TSP-PTEF-VI-FL-Foret.pdf>
- [27] « ESANE 2018 - Principales caractéristiques au niveau sous-classe [Base de données] », *INSEE*.
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3560241?sommaire=3560277>

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

www.theshiftproject.org

Contacts :

Éric Bergé

Chef de projet Industrie
eric.berge@outlook.com

Maxime Efoui-Hess

Coordinateur du projet Industrie
maxime.efoui@theshiftproject.org

Ilana Toledano

Responsable presse et communication
ilana.toledano@theshiftproject.org

