

# Projet de recherche et développement



*Stockage de CO<sub>2</sub> par carbonatation du béton recyclé*

## RAPPORT DE RECHERCHE / LIVRABLE

# Stratégies de décarbonation : neutralité et comptabilité carbone, les enjeux pour les acteurs de la filière béton

### Auteurs / Organismes :

Marin Pellan, Denise Almeida, Mathilde Louërat  
CSTB, Direction Energie Environnement

### Thème de rattachement :

Evaluation économique et environnementale

FCARB/R/014A

LC/22/FCARB/066

Novembre 2022

Site internet : [www.fastcarb.fr](http://www.fastcarb.fr)

Plateforme collaborative : [www.omnispace.fr/fastcarb](http://www.omnispace.fr/fastcarb)

Président : Raoul de PARISOT

Directeur : Jean-Michel TORRENTI

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

## Sommaire

<b>Résumé</b> .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>Listes des abréviations</b> .....	<b>3</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>4</b>
Comptabilité carbone .....	4
Neutralité carbone et décarbonation .....	5
<b>1 Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>2 La neutralité carbone</b> .....	<b>7</b>
2.1 Net Zero Initiative (NZI) .....	8
2.2 Science Based Target Initiative (SBTi) .....	9
2.3 Lien entre NZI, SBTi et neutralité carbone .....	9
<b>3 Stratégies de décarbonation</b> .....	<b>11</b>
3.1 Potentiel de réduction sur la chaîne de valeur .....	11
3.2 Feuilles de route de la filière ciment .....	11
3.3 Zoom sur la carbonatation accélérée .....	12
<b>4 Enjeux de comptabilité carbone dans la chaîne de valeur du ciment</b> .....	<b>13</b>
4.1 La carbonatation dans les inventaires d'émissions et les déclarations environnementales de produits .....	13
4.2 Enjeux méthodologiques pour la CUCS.....	14
4.3 Comptabilité carbone pour la carbonatation accélérée.....	14
<b>5 Conclusion</b> .....	<b>15</b>
<b>6 Sources</b> .....	<b>16</b>

Figure 1 – Illustration de la comptabilité carbone définie dans le GHG Protocol (WBCSD and WRI 2012b) .....	4
Figure 2 - Emissions de CO <sub>2</sub> dans la fabrication du ciment (ADEME 2021c) .....	7
Figure 3 - Tableau de bord (Carbone 4 and Net Zero Initiative 2021) .....	8
Figure 4 - Trajectoires de décarbonation sectorielles dans la SDA (Pineda et al. 2015).....	9
Figure 5 – Stratégies de décarbonation de l'industrie cimentière dans le scénario de référence (ADEME 2021c).....	12
Figure 6 - Comptabilité carbone et réduction liée à la carbonatation accélérée, du ciment jusqu'au bâtiment.....	15

## Listes des abréviations

---

ACV – Analyse du Cycle de Vie

ACT – *Assessing Low Carbon Transition*

CDASC – Captage direct dans l'air et stockage du dioxyde de carbone

CDP - *Carbon Disclosure Project*

CSC - Captage et stockage du dioxyde de carbone

CUC - Captage et utilisation du dioxyde de carbone

CUSC - Captage, utilisation et stockage du dioxyde de carbone

DEP – Déclaration Environnementale Produit

ETP - *Energy Technology Perspectives*

IEA – *International Energy Agency*

GBR - Granulats de béton recyclés

GBRC – Granulats de béton recyclés carbonatés

GES – Gaz à effet de serre

GIEC - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

NZI – *Net Zero Initiative*

PTS – Plan Transition Sectoriel

*SBTi – Science-Based Target Initiative*

*SDA – Sectoral Decarbonization Approach*

SNBC – Stratégie Nationale Bas Carbone

WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*

WRI - *World Resources Institute*

## Glossaire

Les définitions liées à la comptabilité carbone sont issues du GHG Protocol (WBCSD and WRI 2012b), ainsi que de la Base Carbone ADEME (ADEME and Ministère de la Transition Écologique 2022).

Pour les stratégies de décarbonation et la neutralité carbone, les termes sont issues du rapport 1.5°C du GIEC (IPCC 2018), du 'Net-zero jargon' de la 'Science-Based Target Initiative' (SBTi 2021).

### Comptabilité carbone

**Emissions évitées** | Réductions d'émissions induites par les activités, produits et/ou services d'une personne morale, lorsque ces réductions se réalisent en dehors de son périmètre d'activité. Elles sont évaluées au regard d'un scénario de référence.

**Scope 1** (ou « émissions directes ») | Regroupent toutes les émissions fixes et mobiles contrôlés par une organisation.

**Scope 2** (ou « émissions indirectes associées à l'énergie ») | Regroupent les émissions associées aux consommations d'électricité, de chaleur ou de vapeur d'une organisation.

**Scope 3** (ou « émissions indirectes ») | Correspond à toutes les émissions générées par l'activité d'une organisation, mais qui provient de sources contrôlées par d'autres entités. Dans la norme ISO 14064-1 :2018, les émissions de scope 3 sont divisées en émissions liées au transport, aux produits achetés, aux produits vendus, et aux autres émissions indirectes. Dans le GHG Protocol, les termes d'émissions **upstream** et **downstream** sont également utilisés en référence aux émissions se situant respectivement en amont et en aval de la chaîne de valeur de l'entité reportrice.

La figure 1 illustre les définitions ci-dessus :

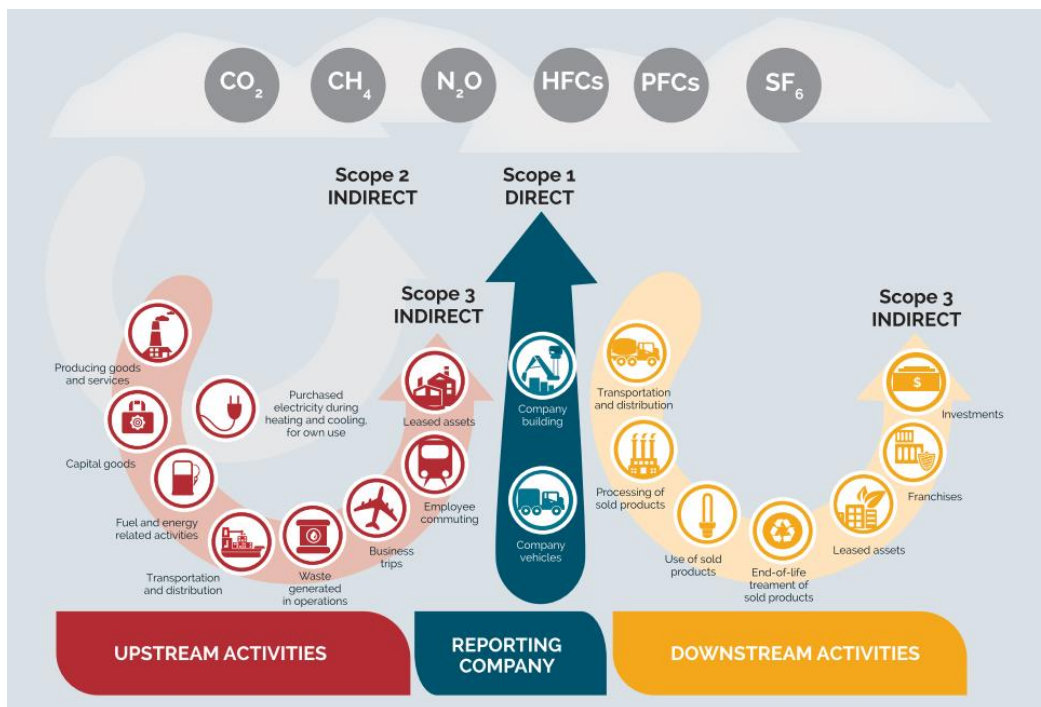


Figure 1 – Illustration de la comptabilité carbone définie dans le GHG Protocol (WBCSD and WRI 2012b)

## Neutralité carbone et décarbonation

**Captage direct dans l'air et stockage du dioxyde de carbone (CDASC)** – en anglais, **direct air carbon dioxide capture and storage (DACCS)** : « Procédé chimique consistant à piéger le CO<sub>2</sub> directement dans l'air ambiant en vue de son stockage. Également appelé captage direct dans l'air et stockage (CDAS) ».

→ *Pour les cimentiers, les procédés de CDASC sont des opportunités de financer des projets d'émissions négatives en dehors de leurs chaînes de valeur.*

**Captage et stockage du dioxyde de carbone (CSC)** – en anglais, **carbon dioxide capture and storage (CCS)** : « Processus consistant à extraire (piéger) un courant gazeux de dioxyde de carbone relativement pur des sources d'émission industrielles et énergétiques, à le conditionner, le comprimer et le transporter vers un site de stockage afin de l'isoler de l'atmosphère pendant une longue période. Voir aussi Captage et utilisation du dioxyde de carbone (CUC), Bioénergie avec captage et stockage du dioxyde de carbone (BECSC) et Piégeage ».

→ *Le CSC a une place centrale dans les stratégies des cimentiers et feuille de route filières. Voir la partie « Stratégies de décarbonation ».*

**Captage et utilisation du dioxyde de carbone (CUC)** – en anglais, **carbon dioxide capture and utilisation (CCU)** : « Processus consistant à capter le dioxyde de carbone et à l'utiliser dans la production d'un bien. Si le CO<sub>2</sub> est stocké dans le nouveau produit pendant une période significative à l'échelle de temps du climat, on parle de captage, utilisation et stockage du dioxyde de carbone (CUSC). C'est seulement alors, et seulement en conjugaison avec l'absorption récente de CO<sub>2</sub> atmosphérique, que le CUSC se traduit par une élimination du dioxyde de carbone ».

→ *La carbonatation accélérée se situe dans cette catégorie. On peut parler de CUSC car l'échelle du temps est significative, il n'y a pas de relargage du CO<sub>2</sub> qui est piégé dans le temps.*

**Décarbonisation ou décarbonation** – en anglais, **decarbonization** : « Démarche dans laquelle s'engagent les pays, les personnes et d'autres entités afin de mettre un terme à la consommation de carbone fossile. Il s'agit souvent d'abaisser les émissions de carbone liées à la production d'électricité, aux procédés industriels et aux transports. »

→ *La carbonatation accélérée peut contribuer à la décarbonation de l'industrie cimentière mais n'est pas le levier majeur. Il existe un panel de leviers envisagé, détaillé dans la partie II « Stratégies de décarbonation ».*

**Élimination du dioxyde de carbone (EDC)** – en anglais, **carbon dioxide removal (CDR)** : « Activités anthropiques qui permettent d'éliminer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et de le stocker, de manière durable, dans des réservoirs géologiques, terrestres ou océaniques, ou dans des produits. Sont compris dans ces activités la valorisation anthropique, qu'elle soit actuelle ou potentielle, des puits biologiques ou géochimiques et le captage direct dans l'air et le stockage, mais en est exclu le piégeage naturel de CO<sub>2</sub> qui n'est pas causé directement par des activités humaines ».

**Émissions négatives** – en anglais, **negative emissions** : « Élimination de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère par une action humaine délibérée, qui s'ajoute à l'élimination réalisée par les processus naturels du cycle du carbone ».

→ *Des méthodologies sont actuellement en cours de rédaction pour reconnaître la carbonatation accélérée comme une technologie menant à des émissions négatives (The Gold Standard Foundation 2022).*

**Piégeage du carbone** – en anglais, **carbon sequestration** : « Stockage du carbone dans un puits de carbone ».

→ *Dans le cas de la carbonatation accélérée, on peut parler de piégeage car le CO<sub>2</sub> est durablement incorporé (ou stocké) dans le béton.*

**Puits** – en anglais, *sink*: « Réservoir (naturel ou artificiel, qu'il s'agisse du sol, de l'océan ou des plantes) dans lequel est stocké un gaz à effet de serre, un aérosol ou un précurseur de ces composés. Selon les termes de l'article 1.8 de la CCNUCC, un puits désigne « tout processus, toute activité ou tout mécanisme [...] qui élimine de l'atmosphère un gaz à effet de serre, un aérosol ou un précurseur de gaz à effet de serre ».

- *La carbonatation naturelle est considérée comme un puits dans le Global Carbon Budget (Friedlingstein et al. 2022). Mais ce n'est pas le cas pour les inventaires nationaux d'émissions transmis aux Nations Unies.*
- *La carbonatation accélérée piège durablement le CO<sub>2</sub> dans le béton, qui peut être considéré comme un puits étant donné l'échelle temporelle longue.*

## 1 Introduction

Le secteur du ciment représente 7% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> (IEA 2020). En France, le secteur émet environ 10 MtCO<sub>2</sub>eq, soit 12,5% des émissions industrielles nationales et 2% des émissions nationales totales (ADEME 2021c).

Actuellement, le ratio de CO<sub>2</sub> par tonne de ciment est d'environ 0.6tCO<sub>2</sub>/t de ciment. Le secteur est considéré comme un secteur difficile à décarboner (*'hard to abate' sector* (Davis et al. 2018)). Cette terminologie est utilisée pour regrouper les secteurs avec des besoins en températures élevés, de fortes émissions de procédés, des infrastructures à longue durée de vie et des coûts d'investissements importants (IEA 2020).

Ci-dessous, la figure 2 illustre le processus de fabrication du ciment :

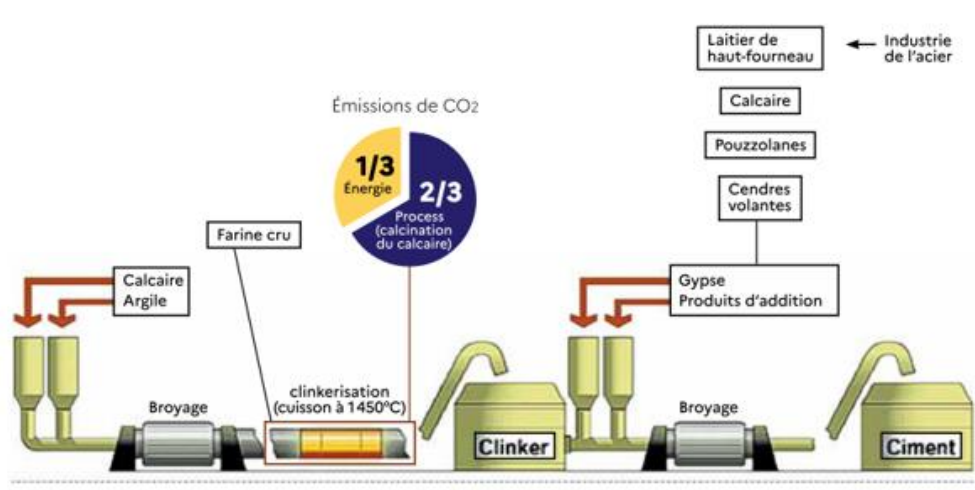


Figure 2 - Emissions de CO<sub>2</sub> dans la fabrication du ciment (ADEME 2021c)

Deux tiers des émissions relèvent du procédé de décarbonatation du calcaire, et un tiers à l'utilisation d'énergie, qui est couvert à 90% par des énergies fossiles (IEA 2021).

La carbonatation naturelle, qui correspond à la réaction chimique inverse, permet de capter du CO<sub>2</sub> atmosphérique sous forme de carbonate de calcium. En cela, elle peut être considérée comme participant à l'augmentation des puits de carbone en captant une partie des émissions de procédé (cf. glossaire).

## 2 La neutralité carbone

La **neutralité carbone** est définie par l'Article 4 de l'Accord de Paris comme un état « d'équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre » (Nations Unies 2015).

Cet équilibre se situe à l'échelle planétaire. Les Etats signataires doivent coordonner leurs actions pour atteindre cet objectif à l'horizon 2050 en mettant en place des politiques adéquates à l'échelle nationale.

En France, l'atteinte de la neutralité carbone est entérinée dans la loi 'Energie Climat' (Legifrance 2019). La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) sert quant à elle de boussole pour orienter et suivre la décarbonation des différents secteurs économiques (Ministère de la Transition Écologique et Solidaire 2020).

Deux grands leviers sont nécessaires pour atteindre la neutralité carbone : réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), qui doit constituer la priorité, et augmenter la séquestration du CO<sub>2</sub> par des puits biologiques ou technologiques.

L'objectif de neutralité carbone n'a donc un sens uniquement à l'échelle planétaire et dans ses déclinaisons nationales. D'après l'ADEME, il ne peut se décliner à d'autres échelles, comme



des territoires, des organisations, un produit ou encore un service. Ainsi, les acteurs économiques ne doivent pas se revendiquer, ni s'envisager « neutre » en carbone (ADEME 2021b).

Néanmoins, les acteurs économiques peuvent **contribuer** à l'objectif de neutralité carbone par leurs actions. Pour cela, ils doivent mettre en place des stratégies de décarbonation compatibles avec l'accord de Paris. Plus précisément dans le cadre des entreprises, la recherche d'une neutralité carbone statique et isolée doit laisser place à une contribution dynamique visant la neutralité à l'échelle planétaire. Pour réorienter les efforts dans ce sens, il existe plusieurs cadres de référence destinés aux organisations, notamment la Net Zero Initiative (NZI) et la Science Based Target Initiative (SBTi).

## 2.1 Net Zero Initiative (NZI)

La *Net Zero Initiative* (NZI), portée par Carbone 4 et initiée en juin 2018, propose un cadre méthodologique comptable et pratique pour la contribution des organisations à la neutralité carbone. Le référentiel distingue trois piliers qui doivent constituer les fondements de l'action climat des organisations :

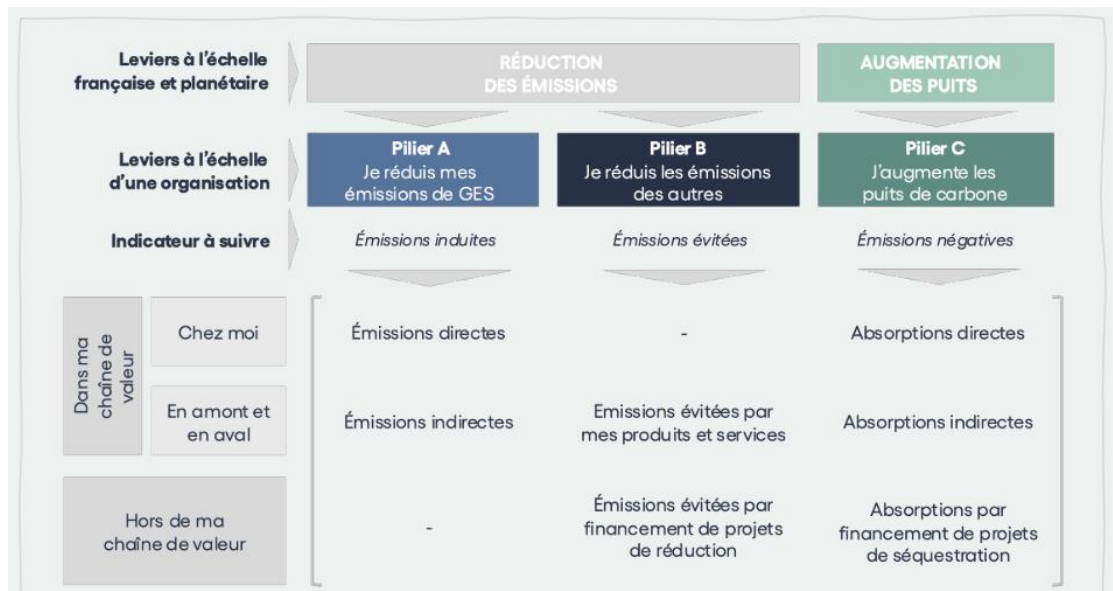


Figure 3 - Tableau de bord (Carbone 4 and Net Zero Initiative 2021)

- **Pilier A** : Réduire ses propres émissions, qu'elles soient directes ou indirectes.
- **Pilier B** : Contribuer à réduire les émissions d'autres acteurs, en proposant des produits et services bas carbone (sous conditions), et/ou en finançant des projets hors de la chaîne de valeur. Ce pilier a fait l'objet d'une étude détaillée (Carbone 4 and Net Zero Initiative 2022).
- **Pilier C** : Contribuer à augmenter les puits de carbone, par actions directes dans la chaîne de valeur ou en finançant des projets de séquestration.

Les différents piliers font l'objet d'une **comptabilité distincte**. Ainsi, les acteurs ne peuvent se déclarer « neutres » à travers un raisonnement arithmétique, c'est-à-dire en sommant ou soustrayant les émissions liées aux piliers A, B et C. Ce raisonnement permet de mettre en lumière les gisements de réduction au sein et en dehors de la chaîne de valeur des organisations, mais aussi de montrer le réel impact d'une activité en matière de GES. Enfin, la neutralité carbone réapparaît ici comme un objectif planétaire et systémique, et il est donc caduc de vouloir chercher à atteindre sa propre neutralité.



## 2.2 Science Based Target Initiative (SBTi)

La *Science Based Target Initiative* (SBTi) est pilotée par le *Carbon Disclosure Project* (CDP), le *Worldwide Fund for Nature* (WWF) et le *World Resource Institute* (WRI). Elle a pour vocation à aligner les objectifs de réduction des GES des acteurs économiques avec les objectifs climatiques.

En pratique, les organisations soumettent des cibles de réduction de GES. Celles-ci sont jugées « *science-based* » si le niveau de réduction est en accord avec la cible de l'accord de Paris, i.e. limiter la hausse des températures en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels.

Il existe deux méthodes principales pour fixer les trajectoires : la méthode d'*Absolute Contraction*, qui s'inspire d'une trajectoire tout secteur confondu (i.e. 1,5°C ou 2°C) et la *Sectoral Decarbonation Approach* (SDA) (Pineda et al. (2015), Krabbe et al. (2015)), qui utilise des trajectoires de décarbonation sectoriels issues du modèle *Energy Technology Perspectives* (ETP) de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA). Dans la SDA, les trajectoires sont différenciées en fonction des potentiels et coûts de décarbonation des différents secteurs à l'échelle mondiale ainsi que de leurs croissances respectives. La figure suivante représente les trajectoires de réduction d'émissions par secteurs de 2011 à 2050 :

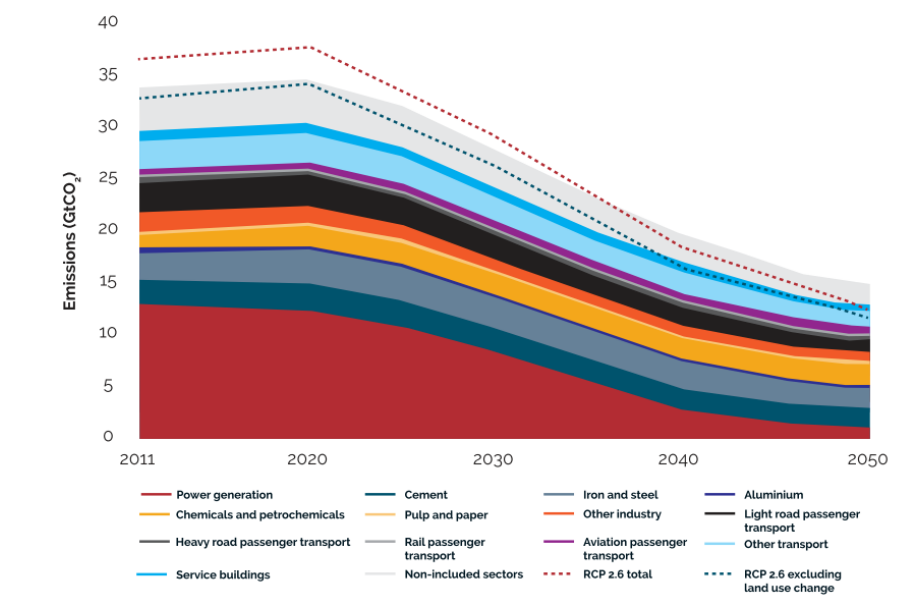


Figure 4 - Trajectoires de décarbonation sectorielles dans la SDA (Pineda et al. 2015)

Des trajectoires de réduction en intensité carbone sont également disponibles, en divisant les trajectoires de décarbonation et les niveaux d'activité utilisés par le modèle ETP. Pour le secteur du ciment, il est exprimé en unité physique (en tonne de ciment), et passe de 0,6tCO<sub>2</sub>/t en 2011, à 0,54 tCO<sub>2</sub>/t en 2030 puis 0,38 tCO<sub>2</sub>/t en 2050 dans le scénario « B2DS » de l'IEA.

En plus des trajectoires SDA, la SBTi prépare des méthodologies et outils spécifiques à certains secteurs, dont le ciment (SBTi 2022b). Les livrables finaux sont attendus pour octobre 2023.

## 2.3 Lien entre NZI, SBTi et neutralité carbone

L'utilisation de référentiels permet de guider les acteurs économiques vers des trajectoires compatibles avec la neutralité carbone définie par les Accords de Paris. Cela permet d'éviter de revendiquer une neutralité en silo et d'établir des trajectoires compatibles avec les engagements climatiques mondiaux. Au 31 décembre 2021, plus de 2200 entreprises ont entrepris des démarches avec la SBTi, dont plus de 1000 ont reçu une approbation de leur cible de réduction (SBTi 2022a).

En plus de ces référentiels, la constitution de feuilles de route de décarbonation par filière permet de fédérer les acteurs d'une chaîne de valeur autour des différents leviers de décarbonation opérationnels. Les Plans de Transition Sectoriels (PTS) pilotés par l'ADEME jouent ce rôle. La stratégie de réduction des émissions de GES de l'industrie du ciment a un impact direct sur la feuille de route de décarbonation de la chaîne de valeur du cycle de vie des bâtiments. Cette feuille de route vise à réduire toutes les émissions de GES tout au long du cycle de vie du bâtiment, y compris les composants (produits de construction, comme le béton, par exemple), les nouvelles constructions, les rénovations et les opérations. La feuille de route spécifique à l'industrie du ciment est détaillée dans la section suivante.

## 3 Stratégies de décarbonation

### 3.1 Potentiel de réduction sur la chaîne de valeur

Plusieurs études insistent sur les potentiels de réduction disponibles sur l'ensemble de la chaîne de valeur, de la filière ciment aux acteurs de la construction. En effet, si les stratégies de décarbonation visant les émissions amont sont mieux quantifiées, il existe un fort potentiel de réduction via une meilleure efficacité matière (Pamenter and Myers 2021), qui serait d'environ 38% à l'horizon 2050 (Favier et al. 2018). Dans ce sens, la comptabilité carbone, et notamment le développement d'un inventaire des émissions de scope 3, encourage la quantification des émissions et des potentiels de décarbonation en dehors de la chaîne de valeur (WBCSD and WRI 2012a), qui peuvent être vus comme des opportunités de réduction d'émissions (Hertwich and Wood 2018).

Une approche de décarbonation plus systémique peut également avoir des bénéfices économiques. De plus, cela permettrait de ne pas faire reposer trop fortement les trajectoires de décarbonation sur des solutions technologiques encore peu opérationnelles et industrialisées à ce jour. Ainsi, il faudrait développer des stratégies de réduction qui tendent à répartir l'effort de décarbonation, plutôt que le concentrer trop fortement sur la partie production de ciment.

Le ciblage sur la partie amont peut cependant s'expliquer par la concentration de l'industrie cimentière, où le nombre d'acteurs est restreint, par rapport au secteur du bâtiment qui est plus fragmenté et où les capacités d'investissement peuvent être plus réduits (Habert et al. 2020).

Enfin, des réductions de la demande peuvent s'opérer via la réglementation dans l'aval de la chaîne de valeur. C'est le cas avec la mise en place de seuils d'émissions grises pour les bâtiments. Ceci inciterait voire obligerait d'optimiser la teneur en béton des bâtiments et infrastructures. Ainsi, la nouvelle réglementation environnementale des bâtiments (RE2020) s'inscrit dans cette logique avec des seuils carbone dégressifs jusqu'en 2031. Si en 2022, les seuils peuvent être atteints avec des bétons classiques, il est estimé que 30% de l'offre actuelle pourrait passer les seuils en 2025, et aucune en 2050 ((The Shift Project 2022), (IFPEB and Carbone 4 2020)). Cela oblige les filières amont (ciment et béton) à développer des offres plus décarbonées (IFPEB, Carbone 4, and CSTB 2022) .

### 3.2 Feuilles de route de la filière ciment

Les feuilles de route des filières ciment-béton font apparaître un certain nombre de leviers de décarbonation, qui ont également été cités par les acteurs lors des entretiens. Le Plan de Transition Sectoriel (PTS) de l'industrie cimentière les regroupe en cinq grandes mesures (ADEME 2021c):

- Rénover l'usine de production à travers les meilleures technologies disponibles pour réduire les consommations d'énergie (du procédé de chauffage). C'est une mesure d'efficacité énergétique.
- Augmenter le recours à des combustibles alternatifs. Le scénario de référence prévoit un taux de substitution (des énergies fossiles en énergies décarbonées, principalement biomasse, ENR thermiques et déchets) moyen de 95% en 2030, contre environ 40% aujourd'hui.
- Baisser le taux de clinker, de 78% aujourd'hui à 66% en 2030 puis 58% en 2050.
- Implémenter une série de mesures incrémentales, correspondant à 7 technologies pouvant améliorer très marginalement l'outil de production (air de combustion enrichi en oxygène, cyclones à faible de perte de charge, etc).
- Concevoir des installations de CSC permettant de capturer, purifier et concentrer le CO<sub>2</sub> pour le transporter dans des lieux de stockage.

Ci-dessous, les potentiels de réduction des cinq mesures sont présentés jusqu'en 2050 et comparés à la trajectoire de décarbonation du secteur « Industrie » de la SNBC :

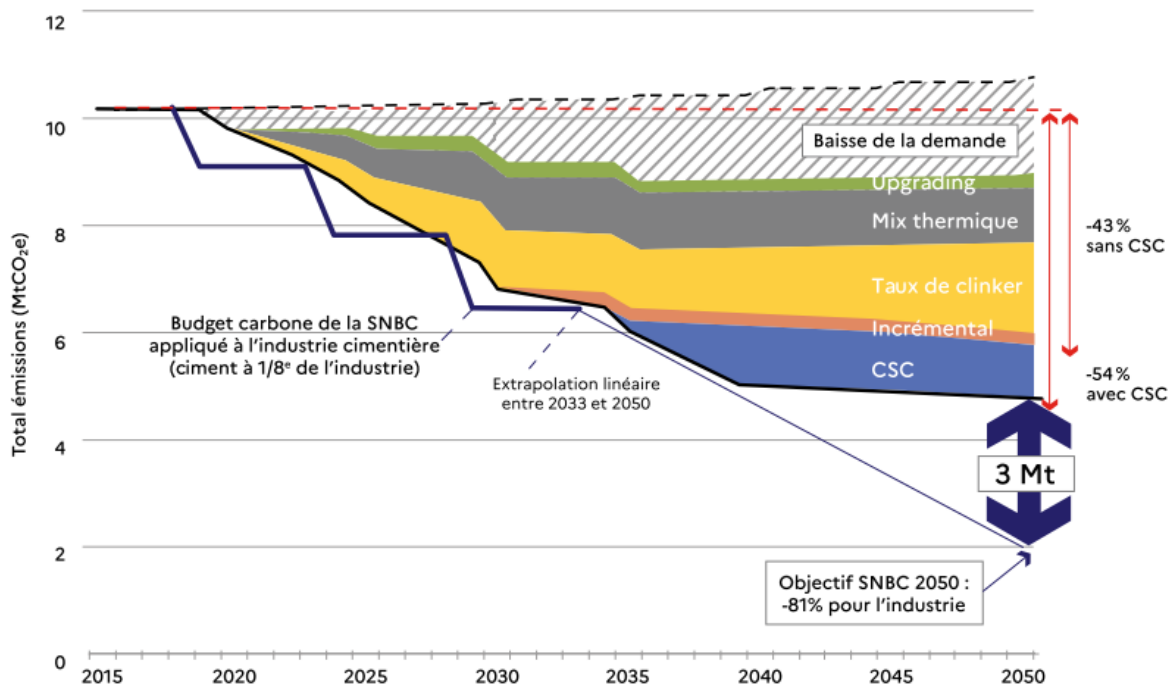
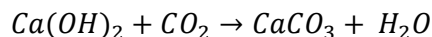


Figure 5 – Stratégies de décarbonation de l'industrie cimentière dans le scénario de référence (ADEME 2021c)

Les niveaux de décarbonation correspondent au scénario de référence, avec un taux de décarbonation de -54% de 2015 à 2050 et une baisse de la demande de -13% sur la même période. Comme indiqué sur la figure 5, cela ne permet pas d'atteindre l'objectif de -81%. Il est atteint par deux autres scénarios contrastés : l'un ciblant la sobriété avec une forte baisse de la demande nationale de ciment, l'autre se concentrant sur les solutions de CSC, ce qui a une incidence sur les coûts.

### 3.3 Zoom sur la carbonatation accélérée

La carbonatation naturelle correspond à la réaction chimique inverse de la décarbonatation intervenant dans la fabrication du clinker. En contact avec le béton qui contient des oxydes de calcium, le CO<sub>2</sub> atmosphérique est stocké sous forme de carbonate de calcium, la réaction chimique étant la suivante :



Actuellement, la carbonatation intervient à 80% durant la phase de vie des bâtiments et infrastructures et à 20% lors des traitements de fin de vie des bétons (Cao et al. 2020). En fin de vie, la carbonatation peut être augmentée et accélérée via le concassage du béton, ce qui augmente la surface de contact avec le CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ces granulats peuvent ensuite être soumis à un taux de CO<sub>2</sub> élevé via des installations industrielles.

La carbonatation accélérée n'est toutefois qu'une des stratégies de décarbonation des cimentiers. Les technologies sont encore en phase de démonstrateurs, la méthodologie ACT lui attribuant un TRL (*Technology Readiness Level*) de 1 à 4 sur une échelle de 10 (ADEME and CDP 2021). Ce levier devient important à partir de l'horizon 2030, ce qui est cohérent avec les feuilles de route de filières de Habert et al. (2020) qui le classent dans les solutions de long terme.

## 4 Enjeux de comptabilité carbone dans la chaîne de valeur du ciment

### 4.1 La carbonatation dans les inventaires d'émissions et les déclarations environnementales de produits

La carbonatation est considérée comme un puits de carbone et est calculé dans le *Global Carbon Project*. Entre 1930 et 2019, environ 21GtCO<sub>2</sub> ont été absorbées selon Guo et al. (2021), représentant environ la moitié des émissions de procédé sur la même période. En 2020, 0,8 GtCO<sub>2</sub> a été absorbée (Friedlingstein et al. 2022), représentant 3,5% des absorptions totales. Cependant, la carbonatation n'est pas incluse dans les inventaires nationaux d'émissions de GES (Andersson et al. 2019) et est par conséquent absent dans la SNBC.

La norme EN 16757 :2017 portant sur les règles de catégorie de produits complémentaires de la norme EN 15804 prévoit les règles spécifiques aux déclarations environnementales de produits (DEP) de produits en béton. Les impacts environnementaux sont déclarés par étapes de vie, regroupées en quatre modules :

- Module A : production et installation du produit
- Module B : utilisation du produit
- Module C : fin de vie
- Module D : bénéfices et charges au-delà des frontières du système

Selon cette norme, les impacts lors des étapes d'utilisation et de fin de vie peuvent inclure la **carbonatation naturelle** du béton, qui doit être comptabilisée dans la phase (module) où elle se produit. En plus de cela, selon la norme « *certaines éléments préfabriqués en béton peuvent également être soumis à la carbonatation lors de l'étape de production (par exemple carbonatation induite, stockage de longue durée avant livraison)* ».

La quantité de CO<sub>2</sub> absorbée varie en fonction du type de béton (porosité des granulats, type de ciment, rapport eau/ciment), des conditions environnementales d'utilisation (exposition, humidité) et du scénario de fin de vie (surface des granulats, temps de stockage, humidité). C'est pourquoi, si la prise en compte de la carbonatation naturelle peut être justifiée par le déclarant, il est nécessaire de préciser les hypothèses prises (basées sur des pratiques courantes et statistiques) pour effectuer les calculs de ces quantités.

Pour le module D, la norme EN 16757:2017 précise quatre scénarios possibles (représentatifs de la réalité et aussi à justifier) pour la prise en compte de bénéfices et charges dans une seconde vie de ce produit :

- Réutilisation des éléments récupérés en béton dans de nouveaux ouvrages de construction ;
- Utilisation de débris de béton, par exemple, dans la restauration d'un terrain ;
- Concassage/recyclage du béton : (a) le granulats de béton recyclé (GBR) remplace la matière primaire sans traitement de déchet ultérieur et (b) le GBR remplace les granulats naturels dans le béton frais.

Les impacts liés aux bénéfices et charges du module D sont considérés à partir du moment où le produit n'a plus un statut de déchet allant jusqu'au moment où la matière remplace la production primaire.

Les deux normes (EN15804 et EN 16757) ne fournissent pas de détails sur la prise en compte de la **carbonatation accélérée** dans les DEP. Si ce procédé est appliqué au béton concassé non utilisé dans une seconde vie, si cela est justifié, les émissions atmosphériques séquestrées seraient prises en compte dans le module C, comme pour la carbonatation

naturelle. En revanche, si le GBR est soumis à la carbonatation accélérée visant le remplacement d'une matière première d'origine naturelle, le GBR carbonaté (GBRC) serait considéré comme une matière secondaire. Selon la norme EN15804, « *pour l'utilisation de matières secondaires (...), la frontière du système entre le système étudié et le système précédent (fournissant les matières secondaires) est définie par le moment où les extrants du système précédent, par exemple matériaux, produits, éléments de construction ou énergie, atteignent le statut de fin de déchet* ». Ainsi, étant donné que le GBR utilisé dans le processus de carbonatation accélérée n'est plus considéré comme un déchet, les impacts environnementaux associés à la carbonatation accélérée (transport du CO<sub>2</sub> le cas échéant, l'infrastructure, etc.), ainsi que l'absorption de CO<sub>2</sub> seraient imputés au module A de l'évaluation environnementale du produit qui utilise le GBRC comme matière secondaire.

La source des émissions injectées dans le carbonateur (c'est-à-dire, s'il s'agit de CO<sub>2</sub> atmosphérique, issu de combustion fossile, biogénique, etc.) est donc importante pour quantifier les impacts environnementaux attribués au produit étudié, pour ne pas avoir de double comptage des bénéfices et des charges. Par exemple, si les émissions de combustion de l'industrie cimentière sont capturées et stockées dans le GBRC, les potentiels bénéfices associés à la capture de CO<sub>2</sub> ne peuvent pas être comptabilisés en même temps dans la production de ciment et dans le cycle de vie du produit utilisant le GBRC.

## 4.2 Enjeux méthodologiques pour la CUCS

Le captage, l'utilisation et le stockage de carbone (CUCS) permet de contribuer à l'objectif de neutralité carbone, sous réserve de favoriser l'utilisation de CO<sub>2</sub> biogénique et en utilisant des sources d'énergie décarbonée. Afin que le bénéfice soit réel, il faut également l'orienter vers des produits à longue durée de vie. Pour analyser la chaîne de valeur technologique et statuer sur ses impacts environnementaux, une analyse du cycle de vie (ACV) doit être menée (ADEME 2021a).

En termes de comptabilité carbone, il est notamment primordial de pouvoir statuer sur une **méthode d'allocation entre l'acteur émetteur de CO<sub>2</sub>, et celui qui l'utilisera et le valorisera dans un produit**, afin d'éviter un double comptage des réductions d'émissions. Il paraît également intéressant de se pencher sur les intérêts des acteurs de la chaîne de valeur du captage et l'utilisation du carbone (réglementaire, économique).

Selon la SBTi, la carbonatation naturelle ne doit pas être comptée comme un levier de réduction d'émissions de scope 1, 2 ou 3. Pour la carbonatation accélérée, plusieurs cas de figures sont présentés (SBTi 2022b) :

- Cas 1 : l'entreprise cimentière capture le CO<sub>2</sub> et réalise le procédé de carbonatation accéléré sur site.
- Cas 2 : l'entreprise cimentière capture le CO<sub>2</sub> puis le transporte pour réaliser le procédé de carbonatation accélérée sur un autre site lui appartenant
- Cas 3 : l'entreprise cimentière capture le CO<sub>2</sub> puis le vend à une autre entité
- Cas 4 : une entreprise de béton achète du CO<sub>2</sub> pour l'utiliser dans un procédé de carbonatation accéléré.

Selon la SBTi, seul le cas 1 peut être validé en tant que réduction d'émissions par les cimentiers, le cas 2 devant faire l'objet de travaux futurs, et les cas 3 et 4 ne rentrant pas dans le périmètre. Seul le cas 1 ne pose pas de difficultés méthodologiques pour la comptabilité carbone. Les cas 3 et 4 mettent en lumière la difficulté d'allocation des bénéfices entre plusieurs entités. Des travaux futurs devront statuer du bénéfice climatique de telles mesures, notamment en fonction de la source de CO<sub>2</sub> utilisée.

## 4.3 Comptabilité carbone pour la carbonatation accélérée

Le GHG Protocol propose un outil de calcul sous format Excel pour le secteur du ciment (WBCSD and CSI 2005). Les émissions directes sont réparties en trois catégories : les émissions directes liées aux matières premières (qui incluent les émissions de procédé liées



au clinker), les émissions directes des fours (utilisation d'énergie fossile) et les autres émissions directes (véhicules, bâtiments, etc.). Les émissions indirectes sont liées à l'achat d'électricité, de chaleur ou de vapeur, ainsi que de l'achat de clinker.

L'initiative *Assessing Low Carbon Transition* (ACT) renseigne sur la comptabilité carbone de la filière ciment en divisant les émissions en scope 1, 2 et 3 (ADEME and CDP 2021), division similaire à celle du GHG Protocol :

- Scope 1 : émissions de procédé liées à la calcination du calcaire, installations fixes de combustion (fours notamment), et sources mobiles de combustion (véhicules de transport).
- Scope 2 : émissions liées à l'achat d'électricité, de chaleur ou de vapeur.
- Scope 3 : émissions liées à l'achat de matériaux, aux transports des matières premières et déchets (y compris émissions fugitives liées aux décharges).

L'accent est mis sur la production du clinker, qui est la partie la plus émissive. Si le producteur de ciment produit son propre clinker, les émissions seront reportées dans son scope 1 ; au contraire s'il achète le clinker à un fournisseur, les émissions seront reportées dans son scope 3.

Pour la filière ciment, la carbonatation accélérée peut donc permettre de réduire les émissions de scope 1, correspondant au CO<sub>2</sub> injecté dans les granulats de béton recyclé, qui aurait été rejeté dans l'atmosphère le cas échéant. La figure 6 illustre le potentiel de réduction et la comptabilité carbone associée, du ciment jusqu'au bâtiment.

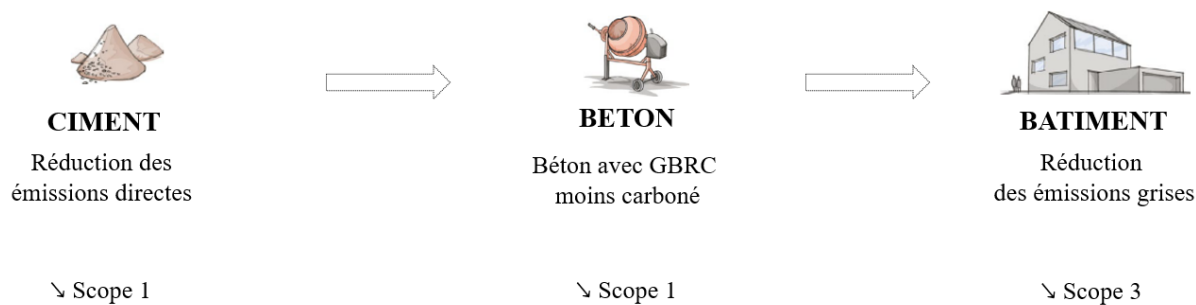


Figure 6 - Comptabilité carbone et réduction liée à la carbonatation accélérée, du ciment jusqu'au bâtiment

Ainsi, la carbonatation accélérée permet simultanément de baisser le scope 1 du ciment et du béton. In fine, les émissions grises (ou « *embodied* ») des bâtiments sont réduites.

## 5 Conclusion

Les enjeux climatiques nécessitent des stratégies de réduction d'émissions drastiques dans les prochaines décennies. Les Etats doivent coordonner leurs actions pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, engagement pris lors des Accords de Paris sur le climat. Les acteurs économiques doivent contribuer à cet objectif en établissant des stratégies fondées sur la science, à l'aide de méthodologies reconnues comme la *Science-Based Target Initiative* (SBTi) et la *Net Zero Initiative* (NZI).

La filière ciment est une des industries les plus fortement émettrice de GES et a un rôle majeur dans l'atteinte des objectifs climatiques. Les feuilles de route sectorielles permettent de représenter les différents leviers de décarbonation et leurs potentiels de réduction associés à l'horizon 2050. La carbonatation accélérée est un des leviers actionnables mais représente à court terme un potentiel de réduction limité.



## 6 Sources

- ADEME. 2021a. "Avis d'expert : Valorisation Du CO<sub>2</sub>, Quels Bénéfices ? Sous Quelles Conditions ?"
- . 2021b. "Les Avis de l'ADEME : La Neutralité Carbone."
- . 2021c. "Plan de Transition Sectoriel de l'industrie Cimentière En France : Rapport Final."
- ADEME, and CDP. 2021. "ACT Sector Methodology : Cement."
- ADEME, and Ministère de la Transition Écologique. 2022. "Méthode Pour La Réalisation Des Bilans d'émissions de Gaz à Effet de Serre, Version 2."
- Andersson, R, H Stripple, T Gustafsson, and C Ljungkrantz. 2019. "Cement and Concrete Research Carbonation as a Method to Improve Climate Performance for Cement Based Material." *Cement and Concrete Research* 124 (July): 105819. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105819>.
- Cao, Zhi, Rupert J. Myers, Richard C. Lupton, Huabo Duan, Romain Sacchi, Nan Zhou, T. Reed Miller, Jonathan M. Cullen, Quansheng Ge, and Gang Liu. 2020. "The Sponge Effect and Carbon Emission Mitigation Potentials of the Global Cement Cycle." *Nature Communications* 11 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17583-w>.
- Carbone 4, and Net Zero Initiative. 2021. "Net Zero Initiative 2020-2021."
- . 2022. "Calculer et Valoriser Ses Émissions Évitées : Le Guide Pilier B." <https://doi.org/10.5040/9781501365171.2639>.
- Davis, Steven J., Nathan S. Lewis, Matthew Shaner, Sonia Aggarwal, Doug Arent, Inês L. Azevedo, Sally M. Benson, et al. 2018. "Net-Zero Emissions Energy Systems." *Science* 360 (6396). <https://doi.org/10.1126/science.aas9793>.
- Favier, Aurélie, Catherine De Wolf, Karen Scrivener, and Guillaume Habert. 2018. "A SUSTAINABLE FUTURE FOR THE EUROPEAN CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY." <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010025751>.
- Friedlingstein, Pierre, Matthew W Jones, Michael O Sullivan, Robbie M Andrew, Dorothee C E Bakker, Judith Hauck, Corinne Le Quéré, Glen P Peters, and Wouter Peters. 2022. "Global Carbon Budget 2021." *Earth System Science Data*.
- Guo, Rui, Jiaoyue Wang, Longfei Bing, Dan Tong, Philippe Ciais, Steven J Davis, Robbie M Andrew, Fengming Xi, and Zhu Liu. 2021. "Global CO<sub>2</sub> Uptake by Cement from 1930 to 2019," no. 1: 1791–1805.
- Habert, Guillaume, S.A Miller, V.M John, J.L Provis, A Favier, A Horvath, and K.L Scrivener. 2020. "Environmental Impacts and Decarbonization Strategies in the Cement and Concrete Industries." *Nature Reviews Earth & Environment* 1 (November). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>.
- Hertwich, Edgar G., and Richard Wood. 2018. "The Growing Importance of Scope 3 Greenhouse Gas Emissions from Industry." *Environmental Research Letters* 13 (10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae19a>.
- IEA. 2020. "Energy Technology Perspectives 2020." *Energy Technology Perspectives 2020*. <https://doi.org/10.1787/ab43a9a5-en>.
- . 2021. "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector."
- IFPEB, and Carbone 4. 2020. "Bref Filière Béton."
- IFPEB, Carbone 4, and CSTB. 2022. "Quels Enseignements de La Conversion de l'Observatoire E+ C- Avec Les Indicateurs de La RE2020 ?"

- IPCC. 2018. "Annexe I: Glossaire." *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change*,.
- Krabbe, Oskar, Giel Linthorst, Kornelis Blok, Wina Crijns-Graus, Detlef P. Van Vuuren, Niklas Höhne, Pedro Faria, Nate Aden, and Alberto Carrillo Pineda. 2015. "Aligning Corporate Greenhouse-Gas Emissions Targets with Climate Goals." *Nature Climate Change* 5 (12): 1057–60. <https://doi.org/10.1038/nclimate2770>.
- Legifrance. 2019. "LOI N° 2019-1147 Du 8 Novembre 2019 Relative à l'énergie et Au Climat (1) - Légifrance." 2019. 2019. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFARTI000039355964>.
- Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. 2020. "Stratégie Nationale Bas Carbone - La Transition Écologique et Solidaire Vers La Neutralité Carbonne - Synthèse," 1–32.
- Nations Unies. 2015. "Accord de Paris." *21ème Conférence Des Parties*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.006>.
- Pamenter, Sarah, and Rupert J. Myers. 2021. "Decarbonizing the Cementitious Materials Cycle: A Whole-Systems Review of Measures to Decarbonize the Cement Supply Chain in the UK and European Contexts." *Journal of Industrial Ecology* 2012: 1–18. <https://doi.org/10.1111/jiec.13105>.
- Pineda, Alberto Carrillo, Pedro Faria, Cynthia Cummis, Heidi Huusko, Irma Paola Delgado, Nate Aden, and Nicole Labutong. 2015. "Sectoral Decarbonization Approach (SDA): A Method for Setting Corporate Emission Reduction Targets in Line with Climate Science," no. May: 103. <https://sciencebasedtargets.org/wp-content/uploads/2015/05/Sectoral-Decarbonization-Approach-Report.pdf>.
- SBTi. 2021. "Net-Zero Jargon Buster - a Guide to Common Terms." 2021. <https://sciencebasedtargets.org/blog/net-zero-jargon-buster-a-guide-to-common-terms>.
- . 2022a. "Annual Progress Report 2021," no. June.
- . 2022b. "Cement Science-Based Target Setting Guidance," 0–46.
- The Gold Standard Foundation. 2022. "Carbon Sequestration through Accelerated Carbonation of Concrete Aggregate."
- The Shift Project. 2022. "Décarboner La Filière Ciment - Béton."
- WBCSD, and CSI. 2005. "CO2 Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry," no. June.
- WBCSD, and WRI. 2012a. "Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard - Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard."
- . 2012b. "The GHG Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard." *Greenhouse Gas Protocol*, 116.