



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

PLAN DE TRANSITION SECTORIEL DE L'INDUSTRIE CIMENTIERE EN FRANCE



EXPERTISES

CIMENT

Premiers résultats
technico-économiques
Rapport de synthèse

FÉVRIER
2021



Avec la contribution
du programme
LIFE de l'Union
Européenne



Sommaire

1. CONTEXTE ET RÉSUMÉ	4
1.1. De la Stratégie Nationale Bas Carbone au Plan de Transition Sectoriel	4
1.2. L'industrie cimentière française en quelques chiffres	6
1.3. La décarbonation de l'industrie cimentière : des premiers éléments déterminants	7
2. HORIZON 2050, QUELLES TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION ?	10
2.1. Le procédé de fabrication du ciment : essentiel à une première compréhension des enjeux de décarbonation de la filière	10
2.2. L'enjeu de clarifier l'itinéraire technologique et les scénarios de demande	11
2.3. Des solutions technologiques encore insuffisantes pour une décarbonation satisfaisante à horizon 2050	14
2.4. Des investissements massifs à décider dès à présent, pas seulement pour développer des technologies innovantes !	16
2.5. Modélisation du parc cimentier français et coût de production	17
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	19
SIGLES ET ACRONYMES	19

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Référence **Projet LIFE Finance ClimAct** : LIFE 18/IPC/FR/000010 (Action C71. Plans de Transition Sectoriels)
Coordination technique - **ADEME** : Elliot MARI, Sylvain SOURISSEAU, Alix BOUXIN
Direction/Service : Direction Entreprises et Transitions Industrielles/Service Industrie

L'ADEME tient à remercier les personnes suivantes pour leur participation et leur implication tout au long de cette première phase d'étude sur le Plan de Transition Sectoriel de l'industrie cimentière en France :

Laure HÉLARD, Nicolas MOUCHNINO (SFIC)
Laurent TRUCHON, François REDRON, Patrick GUIRAUD (CIMBÉTON)
Jean-Marc POTIER (SNBPE)
Pierre BULTEZ, Sylvain CODRON (EQJOM)
Éric BOURDON, Gilles du MANOIR (VICAT)
Jean-François BRICAUD, Patrick MÉZIÈRE (CIMENTS CALCIA)
Florent DUBOIS, Maud TARNOT, Christophe BOUF (LAFARGEHOLCIM)
Sylvain MATHONNET, Rachel BAUDRY, Aïcha EL KHAMLI CHI (ADEME)

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME. E. Mari, S. Sourisseau, A. Bouxin, C. Borde, G. Daill, S. Padilla, T. Gourdon, 2021. Plan de Transition Sectoriel de l'industrie cimentière en France : Premiers résultats technico-économiques – Rapport de synthèse. 20 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Crédits photo : couverture Shutterstock

Création graphique : senñse - 645

Impression : Imprimé en France par Goubault Imprimeur, certifié ISO 14001 et Imprim'Vert
Ce document est imprimé sur du papier 100% PEFC.

Brochure réf. 011384 - ISBN print : 979-10-297-1716-1 – ISBN web : 979-10-297-1717-8
Dépôt légal : ©ADEME Éditions, février 2021

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

1. Contexte et résumé

1.1. De la Stratégie Nationale Bas Carbone au Plan de Transition Sectoriel

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) définit la trajectoire qu'entend prendre la France pour atteindre la neutralité carbone en 2050, engagement qu'elle a pris suite à la 21^e conférence des parties (COP 21) de la convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC). Pour l'industrie française, cette trajectoire se traduit par un objectif de diminution de 81% des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) par rapport à 2015. Même si quelques orientations sont mises en avant dans la littérature sur la décarbonation de l'industrie (ex. : privilégier les énergies décarbonées et l'économie circulaire), leurs contenus et leurs coûts sur le plan opérationnel ne sont pas détaillés. Pourtant, les industriels ont besoin d'une visibilité à moyen terme pour réaliser leurs investissements. En effet, comme les équipements de l'industrie ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années, les investissements d'aujourd'hui auront des conséquences jusqu'en 2050. C'est dans ce cadre temporel pour les industriels que s'inscrivent les Plans de Transition Sectoriels. Pour les pouvoirs publics, il s'agit également de pouvoir proposer des politiques d'accompagnement efficaces qui favorisent la prise de décision quant aux investissements nécessaires pour atteindre l'objectif de -81% d'émissions de GES à l'horizon 2050 dans l'industrie

L'objectif de ce document est de livrer les premiers résultats du Plan de Transition Sectoriel appliqué au secteur cimentier.

En co-construisant ces Plans de Transition Sectoriels (PTS) avec les acteurs-clés du secteur, **l'ADEME souhaite offrir de la visibilité à la fois aux industriels et aux investisseurs mais aussi aux pouvoirs publics pour atteindre l'objectif fixé dans la SNBC.** Le projet s'inscrit donc dans la continuité des travaux effectués pour la SNBC en divisant l'industrie lourde en 9 secteurs (représentés en Figure 1) afin de proposer des solutions de décarbonation spécifiques aux problématiques industrielles de chaque secteur.

À la différence de la grande majorité des travaux issus de la littérature nationale, européenne ou internationale qui abordent essentiellement la transition industrielle d'un point de vue technologique, le projet adopte une vision à 360° afin de considérer les aspects de marchés, coûts, financements et emplois. Intégrés dans un programme européen LIFE¹ intitulé Finance ClimAct², ces plans de transition s'appuient sur une analyse croisée du déploiement des technologies de décarbonation, du coût que cela représente notamment pour anticiper les besoins de financement et les effets sur la compétitivité, et de l'impact de l'évolution du marché en termes de demande et de concurrence à l'horizon 2050. Les effets sur l'emploi et les éventuelles évolutions de compétences nécessaires pour s'adapter à la transition du secteur sont également discutés dans le cadre des PTS, de même que le sujet de l'ancrage territorial et du degré de dépendance d'un territoire vis-à-vis du secteur industriel étudié.

In fine, ce travail doit aboutir à la formulation de plans d'actions « public-privé » pour accélérer la transition de ces secteurs clés.

Figure 1. Les 9 secteurs de l'industrie allant faire l'objet d'un PTS.



Projet
Finance ClimAct
 avec le financement

30 personnes à temps plein sur le projet
18 millions d'euros de budget
5 ans



¹ Le programme LIFE est un programme de financement européen pour l'environnement et l'action pour le climat créé en 1992. La période 2014-2020 présentait un budget de 3,4 Mds EUR.

² <https://presse.ademe.fr/2019/12/finance-climact-mobilisation-pour-un-plan-daction-sur-la-finance-durable.html?hilitte=%27FINANCE%27%2C%27CLIMACT%27>

Partenaires du projet

1.2. L'industrie cimentière française en quelques chiffres

16.5

millions de tonnes

Production de ciment en 2018

(-23% depuis 10 ans) soit environ 0,5% de la production mondiale et environ 9% de la production européenne, pour une consommation nationale d'environ 18,6 millions de tonnes (Mt).

27 sites de production et 5 groupes industriels

LafargeHolcim, Ciments Calcia, Eqiom, Vicat et Imerys Aluminates (anciennement Kerneos qui produit du ciment alumineux pour des applications spécifiques).

Entre 2010 et 2016, le chiffre d'affaires de l'industrie cimentière oscillait autour de 2.5 milliards d'euros courants (Mds EUR).

La consommation d'énergie représente dans ce secteur environ 30% du coût de production.

Les importations de clinker

(produit intermédiaire entrant dans la composition du ciment et responsable de la totalité des émissions de CO₂ d'une cimenterie), à peu près constantes jusqu'en 2013,

ONT ÉTÉ MULTIPLIÉES PAR 5 À 6 ENTRE 2013 ET 2018

principalement en provenance d'Espagne et de pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. En 2018, le solde net d'importations de clinker représentait environ 5% du clinker utilisé en France métropolitaine.

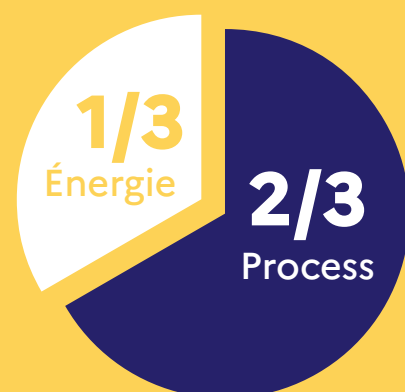
Commerce extérieur de ciment

la France importe presque 3 fois plus de ciment qu'elle n'en exporte. Le solde net d'importations, soit 1,9 Mt en 2018, représente environ 10% de la consommation nationale, valeur constante depuis 10 ans. Les échanges de ciment se font principalement avec des pays frontaliers comme l'Espagne, la Belgique ou l'Italie.

5 000

emplois directs en moyenne depuis 2010 répartis sur l'ensemble du territoire et 18 000 emplois indirects.

Origine des émissions de l'industrie cimentière



Difficilement abattables par des mesures « classiques » de changement de mix énergétique

63%

de la consommation de ciment

provient du bâtiment et 37% des travaux publics.

Environ 10 millions de tonnes CO₂eq émises chaque année, soit **12,5% DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DE L'INDUSTRIE** et 2% des émissions totales en France.

1.3. La décarbonation de l'industrie cimentière : des premiers éléments déterminants ●

Une analyse qui croise itinéraire technologique...

Une première étape du projet est de construire un itinéraire technologique combinant différents leviers de décarbonation de façon cohérente et réaliste, tout en quantifiant les impacts sur la consommation énergétique, les émissions spécifiques du ciment et le coût de production.

À ce stade de l'analyse, seules les technologies matures et/ou facilement identifiées comme un enjeu de décarbonation important ont été modélisées. Les potentiels de décarbonation associés à d'autres leviers plus innovants (tel que l'électrification ou les clinkers alternatifs) le seront dans la suite des travaux.



→ Alexey Rezvykh/Shutterstock.com

Le potentiel de la technologie de Capture et Stockage du Carbone (CSC), sur laquelle le secteur mise beaucoup pour décarboner son industrie, a également été pris en compte. Dans la mesure où il s'agit d'une technologie encore très coûteuse et dont le déploiement à long terme en France n'est pas encore établi, les résultats de cette synthèse sont systématiquement présentés avec et sans CSC.

...et évolution de la demande en ciment...

Pour évaluer le niveau des émissions totales du secteur, l'itinéraire technologique a été couplé à deux scénarios d'évolution de la production de ciment à horizon 2050. Ceux-ci ont été obtenus avec un outil de modélisation permettant d'estimer les niveaux de demande des secteurs consommateurs, et donc d'obtenir des trajectoires de production de matériaux (outil « PEPITO », voir section 2.2.). Le premier scénario correspond à une évolution tendancielle type BAU (« Business As Usual ») dans lequel la demande de ciment augmenterait légèrement jusqu'en 2050 principalement du fait de la hausse de la démographie. Le second scénario dit « SNBC/ADEME » est un scénario de baisse de la demande (à travers une contrainte réglementaire sur le nombre de constructions neuves) qui a été modélisé conformément aux hypothèses issues de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et/ou aux visions 2050 de l'ADEME (scénario SNBC/ADEME).

...pour en déduire les impacts CO₂ et les enjeux économiques

Tableau 1. Résumé des premiers résultats du Plan de Transition Sectoriel de l'industrie cimentière en France

Scénario de demande	% évolution de la demande de ciment en 2050 vs 2015	Application de l'itinéraire technologique « mature »		
		% réduction des émissions du secteur du ciment en 2050 vs 2015	CAPEX (indépendant des scénarios de demande)	Évolution du coût total de production
BAU	+5%	-32% sans CSC	3,3 Mds EUR sans CSC	-10 à +20% sans CSC selon le cas de départ
		-44% avec CSC		
SNBC/ADEME	-15%	-43% sans CSC	4,4 Mds EUR avec CSC	+40 à 70% avec CSC selon le cas de départ
		-54% avec CSC		

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS :

• **Nécessité d'innover pour atteindre les objectifs de décarbonation :** les leviers technologiques modélisés ne suffisent pas.

• **Criticité économique de la solution CSC :** les mécanismes de marché sont aujourd'hui insuffisants pour rendre cette technologie rentable.

• **Impact important de la demande en ciment :** l'évolution du marché de la construction neuve conditionnera en grande partie la décarbonation du secteur

DU POINT DE VUE TECHNOLOGIQUE, CE PREMIER CONSTAT S'EXPLIQUE ESSENTIELLEMENT PAR 3 RAISONS

- 1.** Deux tiers des émissions proviennent du procédé de production (décarbonation du calcaire) et ne peuvent donc pas être abattues par des technologies d'efficacité énergétique ou de changement de mix énergétique.
- 2.** Le déploiement du CSC est contraint par les faibles possibilités de stockage de CO₂ sur le territoire français ou en offshore (avec les connaissances scientifiques actuelles), rendant seulement 20% du parc français de cimenteries potentiellement éligible à cette technologie pour un coût loin d'être négligeable.

- 3.** En pratique, la décarbonation du mix thermique des cimenteries ne se fait pas à 100% : il demeure toujours une certaine fraction de carbone d'origine fossile dans les combustibles de substitution.

Les enjeux autour des aspects technologiques résident donc dans **la nécessité d'investir massivement dans les solutions matures et notamment dans l'intégration d'autres types de substituts au clinker**. À cet égard, les argiles calcinées apparaissent comme une solution intéressante dans un nouveau mix-matières de ciment qui permettrait de réduire la production de clinker.

D'autre part, il semble indispensable d'amplifier la recherche de solutions innovantes sur la réduction des émissions de process. Par exemple, le recyclage des déchets du BTP pour une réintroduction des fines de béton sous forme de matière première dans la fabrication de nouveaux liants hydrauliques³ ou bien pour mener une recarbonation accélérée du béton avant réutilisation comme granulats⁴, pourrait non seulement participer à la décarbonation de la filière, mais répondrait également aux enjeux de structuration de filières d'économie circulaire.

En effet, les cimenteries du parc français consomment de l'ordre de 20% d'énergie de plus que les meilleures cimenteries actuelles (cf. détails en partie 3.5.1). Sachant que l'énergie représente environ 1/3 des émissions de l'industrie cimentière, un gain en efficacité énergétique de 15 à 20% se traduirait par une baisse des émissions de l'ordre de 5 à 7% à l'échelle d'une cimenterie. Mobiliser des financements pour permettre aux cimenteries d'être aux standards des Meilleures Technologies Disponibles (MTDs) peut être considérée comme une première

La rénovation du parc industriel cimentier apparaît à la fois comme un levier de décarbonation important car déployable à court terme mais aussi comme une condition indispensable à tout projet d'innovation.

étape indispensable et sans regret. Cela permettra notamment de décarboner le mix thermique en intégrant plus de combustibles de substitution.

Concernant la demande en ciment, le contexte dans lequel la filière cimentière va évoluer dans les prochaines années représente également un enjeu clé. **La demande en béton et plus particulièrement le rythme de constructions neuves conditionnera très fortement la production de ciment** dans les années à venir, et *in fine* la trajectoire de décarbonation de la filière. L'effort à fournir en terme de réduction d'émissions de CO₂ via les technologies sera plus faible avec une demande en diminution (ex. : scénario SNBC/ADEME), plutôt qu'en augmentation (ex. : scénario BAU). Dans un tel contexte, des réflexions stratégiques seront à mener, tant de la part des entreprises afin de répondre aux futures attentes du marché, que de la part des pouvoirs publics afin de faciliter la transition vers un ciment moins carboné, mais néanmoins

toujours indispensable pour le secteur du BTP. Ainsi, plusieurs actions pourront avoir un fort impact sur la transition du secteur cimentier, au niveau national (ex. : réglementation environnementale du bâtiment, commande publique, normalisation de nouveaux types de ciments, etc.) comme local (politique locale d'urbanisme, limitation de l'artificialisation des sols, etc.). Des réflexions seront à mener avec les industriels pour imaginer la cimenterie du futur et son nouveau modèle économique (« hub de valorisation de déchets », nouveaux services d'accompagnements aux clients finaux pour un usage optimal du béton dans les ouvrages, etc.), compatibles avec une trajectoire bas carbone.



→ Photo de VICAT/Peille-Intérieur four

Pour aller plus loin...

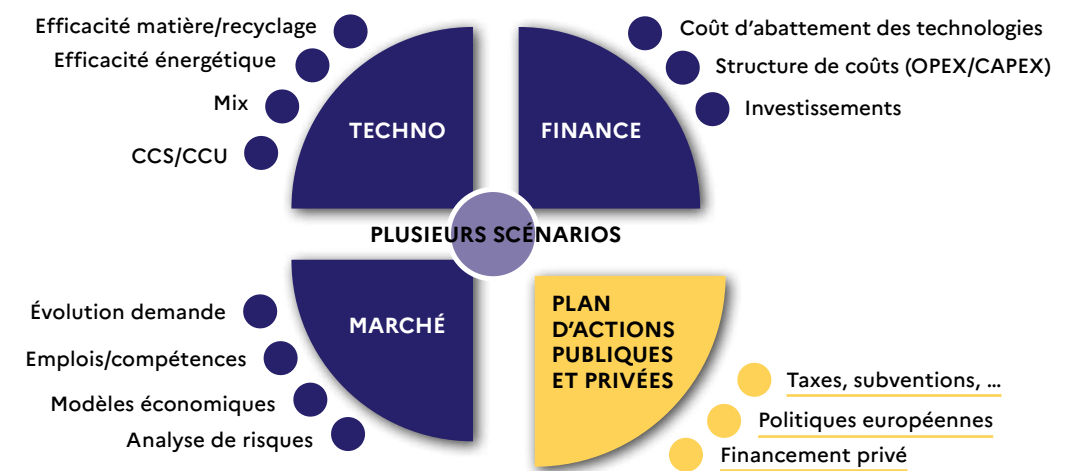
L'objectif de la SNBC de -81% n'étant pas atteint avec les technologies et leviers envisageables à court et moyen terme, d'autres leviers nécessitent d'être imaginés et activés dans les prochaines années. Plusieurs axes de travail ont été identifiés au fil des échanges avec les industriels, en particulier sur l'innovation (ex. : quel potentiel attendre de l'utilisation du CO₂ et des nouveaux liants dans la stratégie de décarbonation ?) et sur l'évolution de la demande en béton, afin de pouvoir proposer de nouveaux itinéraires, plus ambitieux.

Enfin, les barrières à l'activation des leviers de décarbonation (investissement, innovation, développement de filières, déploiement d'infrastructures) seront abordées avec les industriels, leurs clients, les pouvoirs publics, les ONG et les financiers, dans le but de proposer un plan d'actions public-privé permettant d'engager l'ensemble des parties prenantes du secteur dans la transition de l'industrie cimentière.

Les potentielles évolutions du secteur étant nombreuses, la construction de ce plan d'actions se fera sur la base d'une réflexion par scénarios. Plusieurs scénarios seront construits en parallèle de la mise à jour des visions prospectives à 2030-2050 de l'ADEME qui ont pour but d'imaginer des chemins de décarbonation possibles et cohérents entre tous les secteurs, dont l'industrie cimentière. Chacun de ces scénarios permettra de faire émerger des enjeux spécifiques et des recommandations d'actions à mener.

Les résultats du Plan de Transition Sectoriel, incluant le plan d'actions, seront publiés d'ici début 2021.

Figure 2. La vision à 360° d'un PTS pour éclairer la transition bas-carbone du secteur



³ Le projet Recybeton (2012-2018) avait pour ambition la valorisation des déchets du BTP dans le béton mais des expériences ont également été menées pour une intégration des recyclats dans le ciment. Pour plus d'informations : <https://www.pnrecybeton.fr/>

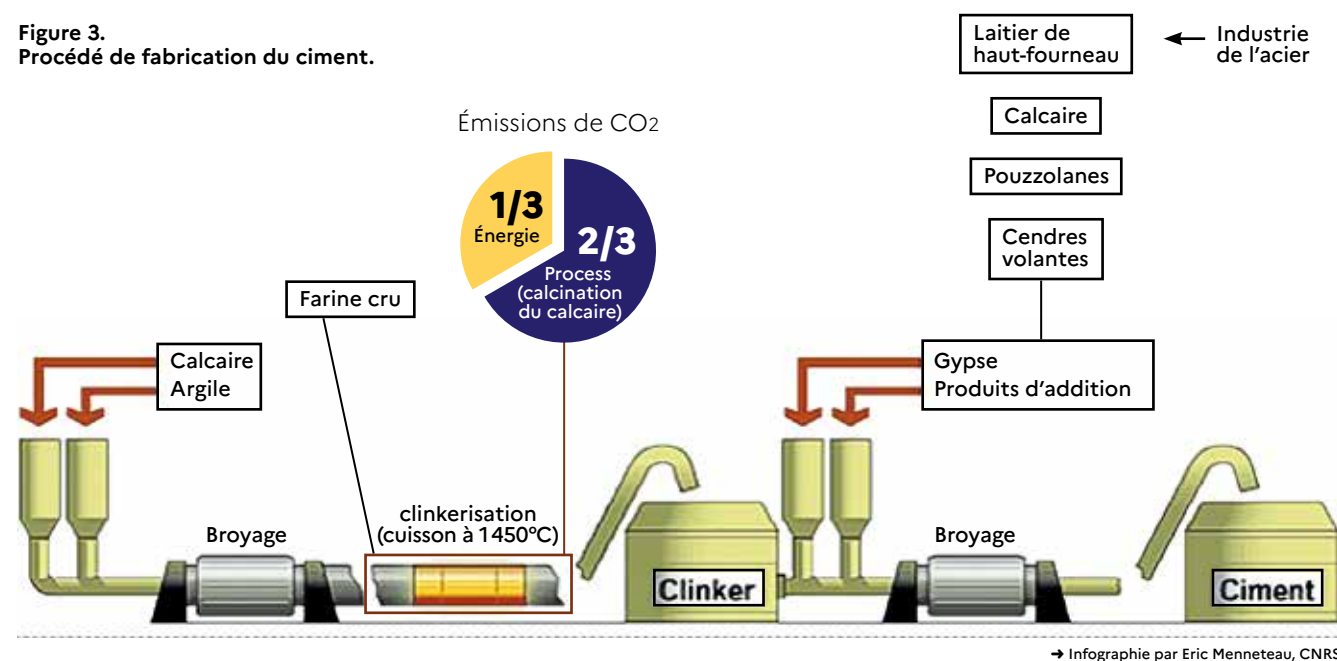
⁴ Le projet FastCarb démarré en 2018 a pour ambition de stocker le CO₂ de manière accélérée dans des granulats de béton recyclés : <https://fastcarb.fr/>

2. Horizon 2050, quelles trajectoires de décarbonation ?

2.1. Le procédé de fabrication du ciment : essentiel à une première compréhension des enjeux de décarbonation de la filière

Le procédé de fabrication du ciment Portland ordinaire tel qu'illustré sur la Figure 3 peut se résumer en deux grandes parties : la fabrication du clinker et la préparation du ciment à partir de clinker et d'autres constituants.

Figure 3. Procédé de fabrication du ciment.



Le clinker est un constituant de couleur gris foncé qui peut être considéré comme le principe actif : c'est lui qui confère les propriétés de liant hydraulique au ciment, c'est-à-dire qui durcit au contact de l'eau. Le clinker est obtenu par cuisson d'un mélange préalablement broyé de calcaire (80%) et d'argile (20%) qui sont des matières premières relativement abondantes et bien réparties géographiquement. C'est d'ailleurs en partie la raison pour laquelle l'industrie cimentière est très localisée et le ciment est un produit qui voyage peu. La cuisson a lieu dans un four rotatif à 1450°C et représente la grande majorité de la consommation énergétique d'une cimenterie. C'est au niveau de cette étape qu'ont lieu la quasi-totalité des émissions d'une cimenterie : environ 1/3 sont dues à la consommation d'énergie thermique et 2/3 sont dues à la réaction chimique de calcination du calcaire au cours de laquelle le calcaire (de formule chimique CaCO_3) est dissocié en chaux (CaO) et en CO_2 . Une fois le clinker formé, il est refroidi en sortie de four et la chaleur dégagée est réutilisée ailleurs dans le procédé.

Une fois le clinker formé, celui-ci est broyé et mélangé avec d'autres constituants pour produire des ciments aux propriétés voulues. Ces constituants secondaires peuvent être soit des coproduits industriels (comme le laitier de haut-fourneau qui est un sous-produit de l'industrie de l'acier ou les cendres volantes issues de centrales à charbon), soit des matériaux présents à l'état naturel (tel que le calcaire et la pouzzolane naturelle). La préparation du ciment à partir de clinker peut être réalisée indépendamment sur des stations de broyage. Il s'agit d'ailleurs d'une tendance qui s'observe depuis quelques années : certains acteurs importent du clinker venu de l'étranger (notamment de pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient) et produisent du ciment pour le marché français dans des stations de broyage généralement situées près des zones portuaires. Cette pratique peut être clairement considérée comme une forme de fuite de carbone.

2.2. L'enjeu de clarifier l'itinéraire technologique et les scénarios de demande

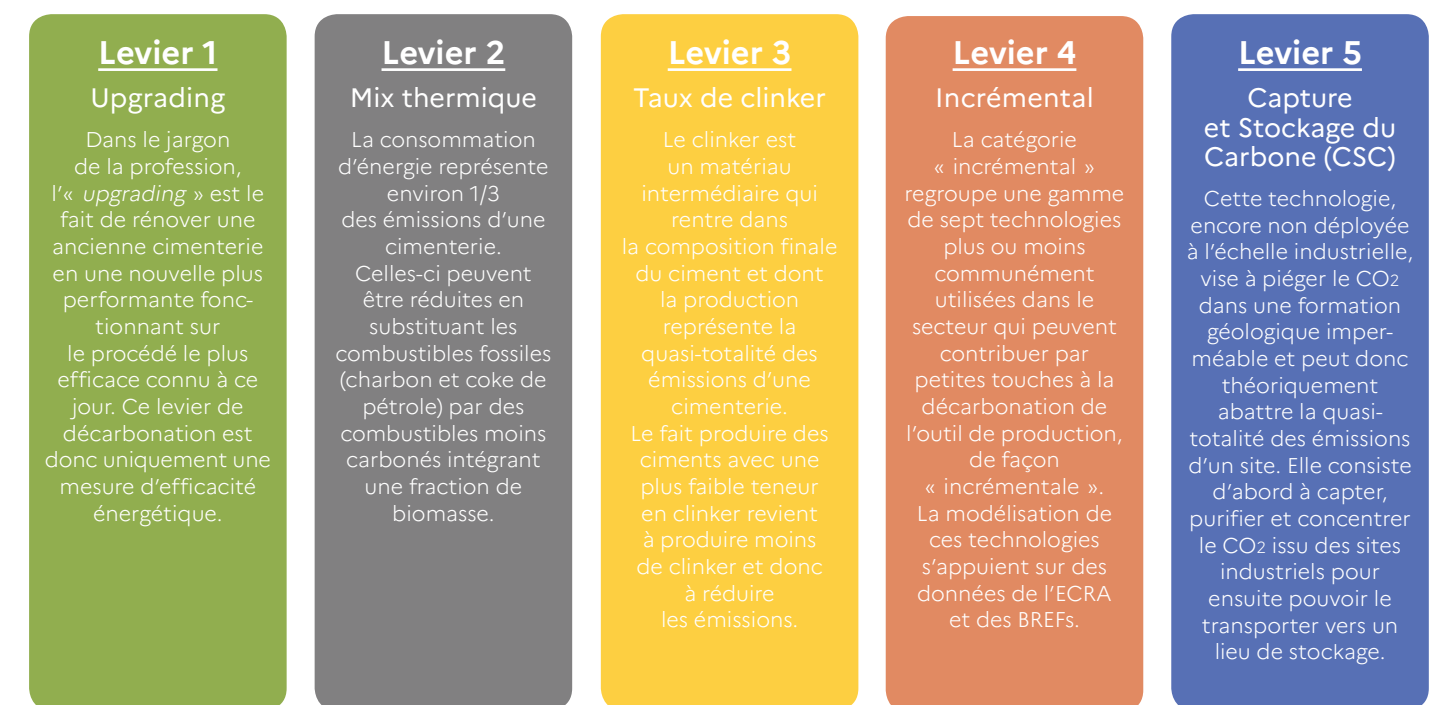
Un itinéraire technologique basé sur des technologies matures...

La modélisation de différentes technologies de transition a permis la construction d'un itinéraire technologique cohérent et réaliste illustrant les enjeux de décarbonation de l'industrie cimentière. En concertation avec les acteurs concernés, les principaux leviers de décarbonation applicables à l'industrie cimentière, présentés Figure 4, ont été identifiés et modélisés dans un outil Excel. Le montant des investissements nécessaires à la mise en place de ces leviers ainsi que leur impact sur le coût de production du ciment ont également été estimés dans l'outil.

...couplé avec deux scénarios de demande en ciment

Avec 9,5 millions de tonnes de ciment consommées en 2014 en France, le secteur de la construction neuve représente 53% de la demande (18 Mt consommées en 2014 tous secteurs confondus). La Figure 5 présente les flux de matières entre l'extraction du calcaire et de l'argile nécessaires à la production de clinker et la consommation finale de béton selon les différents usages. Outre l'importance des constructions neuves pour la filière, c'est aussi et surtout la faible part du ciment dans le béton qui ressort, en comparaison des sables et granulats.

Figure 4. Principaux leviers de décarbonation de l'industrie cimentière^{5,6}.



⁵ ECRA (European Cement Research Academy) : https://ecra-online.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/CSI_ECRA_Technology_Papers_2017.pdf

⁶ BREF (Best Available Techniques Reference Document) : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/CLM_BREF_042013.pdf



→ Photo de VICAT/Combustibles alternatifs - Stockage pneus entiers-grappin

Outil PEPITO : Perspective d'Évolution de la Production Industrielle pour une Trajectoire 0 carbone

PEPITO¹¹ est un outil de modélisation Excel développé en partenariat avec l'ASSOCIATION NEGAWATT qui a pour but d'évaluer les niveaux de demande en matériaux issus des 9 secteurs industriels les plus énérgo-intensifs (acier, aluminium, ciment, verre, dichlore, ammoniac, éthylène, papier/carton et sucre) à partir de scénarios d'évolution des marchés consommateurs de ces matériaux (mécanique, électricité, textile, transport... Ces scénarios sont obtenus à partir d'hypothèses faites sur un jeu de plus de 200 paramètres à horizon 2050 (démographique, taux de recyclage, consommation en biens d'équipement par habitant, nombre de kilomètres parcourus en véhicule...). L'outil PEPITO peut être mis à disposition gratuitement sur demande à l'adresse mail : transition.industrie@ademe.fr

L'évolution du rythme de constructions d'ici à 2050 constitue donc un enjeu important pour l'industrie cimentière. À titre illustratif, il a été estimé qu'une réduction de 10% du nombre de constructions neuves (maisons individuelles et logements collectifs) provoquerait une baisse d'environ 3% de la production de ciment (toutes choses égales par ailleurs, sans modification des systèmes constructifs et des pratiques actuelles). Au-delà du bâtiment, la projection de la demande a également consisté à prendre en compte l'évolution du nombre de kilomètres de routes et des capacités d'énergie renouvelable installées.

Deux scénarios visant à décrire plus généralement un contexte de transition dans lequel s'appliquerait un itinéraire technologique, ont donc été considérés⁷.

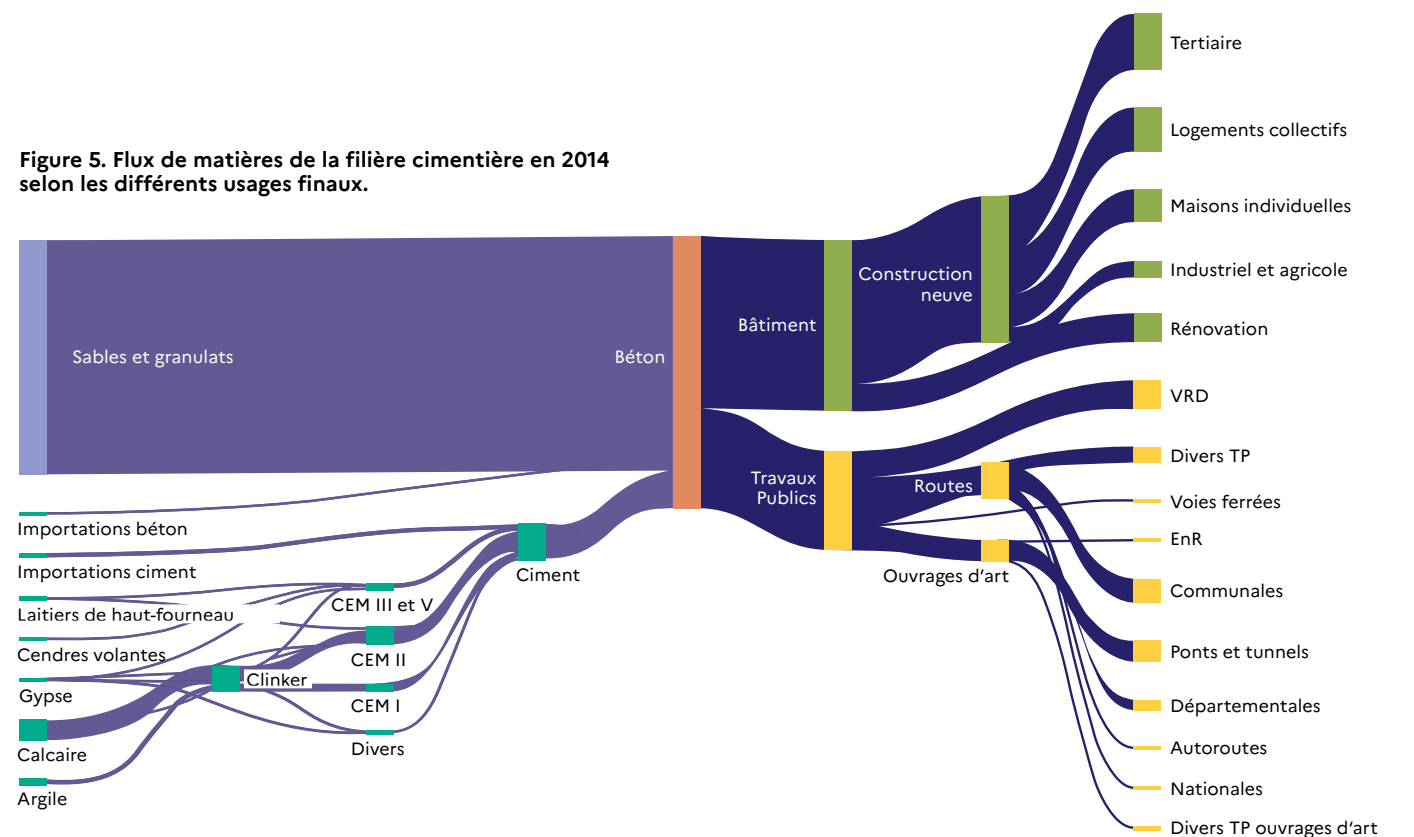
Ces scénarios de demande ont été modélisés à l'aide de l'outil PEPITO (voir encadré ci-contre).

• La production de ciment du **scénario Business As Usual (BAU)** traduit l'absence de contrainte réglementaire sur le nombre de constructions neuves, sur les kilomètres de routes ou sur une accélération plus importante des énergies renouvelables (éolien essentiellement), entraînant ainsi une hausse des besoins en béton. C'est en effet sur le béton, que la demande se porte *in fine*. Les secteurs du bâtiment et des travaux publics sont les seuls secteurs consommateurs. Dans ce scénario, l'absence d'évolution du cadre réglementaire ou d'orientation politique s'applique également aux éventuels substituts au béton, et les parts de marché (82% pour le béton et 3,3% pour le bois pour les logements collectifs) se maintiennent donc au même niveau en 2050 qu'en 2014 (année de référence pour la modélisation de la demande). Le taux de ciment dans le béton est également maintenu constant autant dans le bâtiment que dans les travaux publics. De la même manière, le ratio production/consummation se maintient car il n'y a pas d'évolution au niveau des importations de ciment en France.

• À l'inverse, au sein du **scénario SNBC/ADEME**, un volontarisme plus important de la part des pouvoirs publics est considéré. Il se traduit essentiellement par une contrainte réglementaire sur le nombre de constructions neuves et en particulier une baisse progressive du nombre de constructions de maisons individuelles pour atteindre

-50% à horizon 2050 par rapport à 2014 (calcul ADEME issu de l'hypothèse SNBC). Cette hypothèse traduit une baisse du nombre de constructions chaque année (flux) et non du nombre de maisons individuelles (stock). En effet, sur la dernière décennie, selon l'INSEE⁸, le rythme de hausse du nombre de logements a augmenté environ deux fois plus rapidement que celui de la démographie. Pour faire face à la hausse de la démographie d'ici à 2050, les constructions supplémentaires devront par ailleurs être mieux fléchées sur de la résidence principale plutôt que sur de la résidence secondaire⁹. De la même manière, les logements dits « vacants »¹⁰ seront identifiés et mobilisés pour une mise sur le marché. Ces premières analyses « macro » pourront être affinées au regard des potentielles disparités territoriales, lorsque les Plans de Transition Sectoriels seront déclinés dans les territoires. La part de marché du bois comme matériau alternatif dans la construction neuve est en hausse dans le tertiaire et le logement collectif (respectivement 10% et 20% en 2050) où il vient concurrencer le béton. Il est toutefois à noter que le béton devrait vraisemblablement demeurer un matériau de choix pour certains types de construction où la substitution est limitée. Compte tenu de sa part marginale dans la consommation de béton, le développement des énergies renouvelables, et notamment de l'éolien, ne suffit pas à compenser la diminution des besoins de béton, et donc de ciment.

Figure 5. Flux de matières de la filière cimentière en 2014 selon les différents usages finaux.



⁸ Étude INSEE « 374 000 logements supplémentaires chaque année entre 2010 et 2015 » (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3572689#titre-bloc-14>)

⁹ L'étude de l'INSEE montre également que la part qu'occupent les résidences principales dans cette croissance du parc observée sur la dernière décennie a diminué au profit des logements vacants et des résidences secondaires.

¹⁰ Les logements vacants représentaient en 2018 selon l'INSEE 8,4% des 36,3 millions de logements du parc immobilier en France métropolitaine (<https://www.insee.fr/fr/statistiques/3676693?sommaire=3696937>)

¹¹ Transition industrielle - Prospective énergie matière : vers un outil de modélisation des niveaux de production (<https://www.ademe.fr/transition-industrielle-prospective-energie-matiere-vers-outil-modelisation-niveaux-production>)

2.3. Des solutions technologiques encore insuffisantes pour une décarbonation satisfaisante à horizon 2050 ●

Dans un scénario tendanciel d'évolution de la demande (scénario BAU¹²) de ciment d'ici à 2050, principalement indexé sur la hausse de la démographie¹³, les émissions totales de l'industrie du ciment augmenteraient de l'ordre de 5% par rapport à 2015. Si dans ce scénario l'ensemble des leviers de décarbonation identifiés étaient mis en œuvre (*upgrading*, changement de mix thermique, diminution du taux de clinker et améliorations incrémentales), cela engendrerait une baisse des émissions de l'ordre de 30%, hors technologie de Captage et de Stockage de Carbone (CSC).

L'itinéraire proposé est parallèle à la trajectoire des émissions par la SNBC, au moins jusqu'à 2040, mais ne l'atteint pas.

Cette dernière donne un objectif de réduction de 35% des émissions pour l'industrie entre 2015 et 2030. Même en incluant la technologie CSC qui ne pourrait être, selon l'ADEME, envisagée que sur 5 cimenteries¹⁴, la baisse des émissions globale serait de 44% d'ici à 2050 par rapport à 2015 (Figure 6). Ainsi, seulement la moitié du chemin serait parcourue, puisqu'il resterait encore un peu moins de 4 MtCO₂e à abattre pour atteindre l'objectif de la SNBC en 2050.

En revanche, le nouveau plan européen en matière d'énergie et de climat présenté en septembre 2020 par la Commission Européenne¹⁵ donne un objectif de réduction de 25% des émissions pour l'industrie entre 2015 et 2030 ce qui se traduit par des émissions annuelles de 7,7 MtCO₂e en 2030 pour l'industrie cimentière. **Cet objectif européen, moins ambitieux que celui de la SNBC pour l'industrie, est atteint en 2030 avec l'itinéraire technologique proposé.**

Dans un second scénario où la baisse de la demande est modélisée conformément aux hypothèses issues de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) et des visions 2050 de l'ADEME (scénario SNBC/ADEME – ralentissement du rythme de construction neuve), les émissions totales du secteur du ciment devraient diminuer d'environ 15% à travers cette unique hypothèse de baisse de la demande. Si, en plus, l'ensemble des leviers de décarbonation identifiés étaient mis en œuvre, cela engendrerait une réduction par rapport à 2015 de 43% des émissions sans CSC et de 54% avec CSC (Figure 7).

Dans ce scénario, l'évolution des émissions du secteur est fidèlement alignée avec la trajectoire définie par la SNBC, jusqu'à 2040 où un décrochage apparaît du fait de l'absence de solutions technologiques supplémentaires. L'objectif européen à 2030 est par ailleurs largement atteint et dépassé.

¹² Scénario de référence Business As Usual (BAU)

¹³ Les hypothèses associées aux scénarios d'évolution de la demande sont détaillées dans les annexes.

¹⁴ Avis ADEME sur le Captage et Stockage du Carbone en France :

<https://www.ademe.fr/avis-lademe-captage-stockage-geologique-co2-csc-france>

¹⁵ https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/eu-climate-action/docs/com_2030_ctp_en.pdf

Figure 6. Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur cimentier à horizon 2050 Scénario BAU.

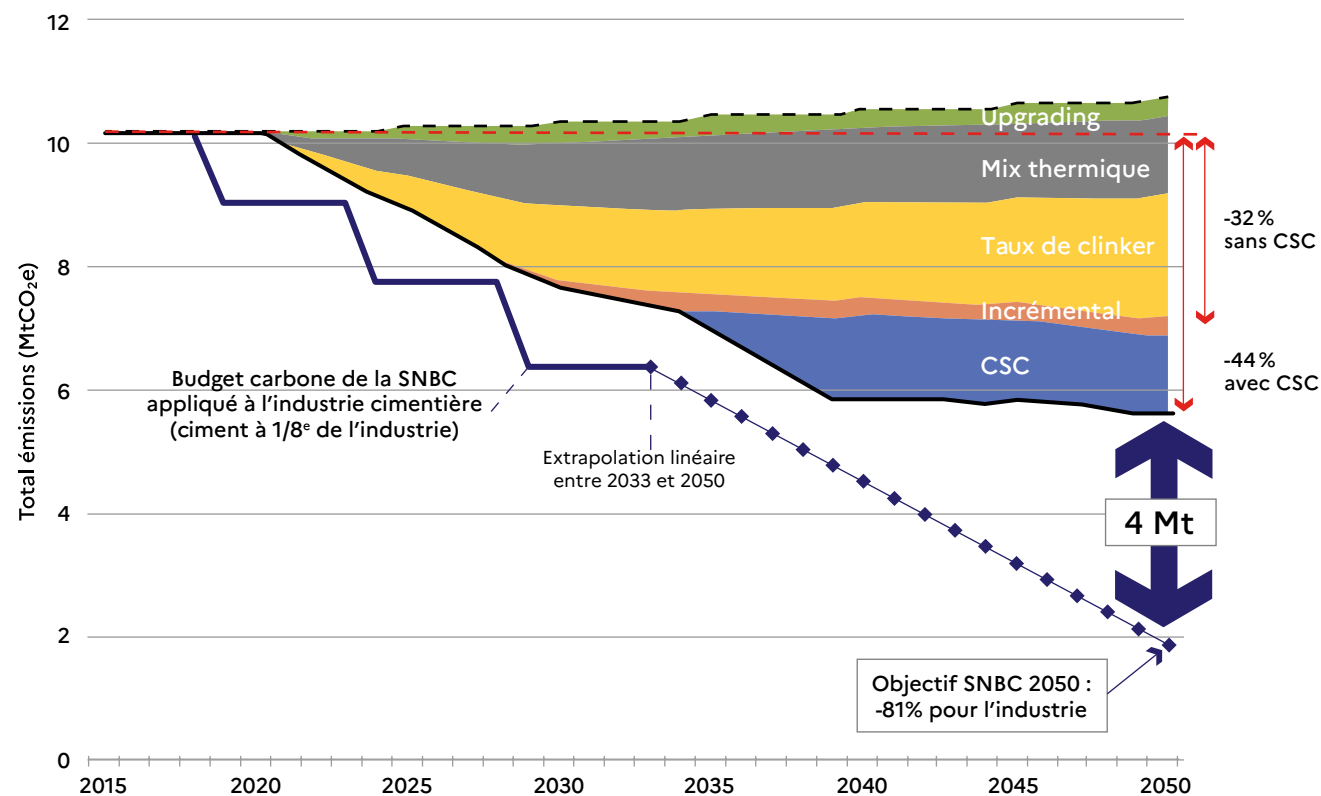
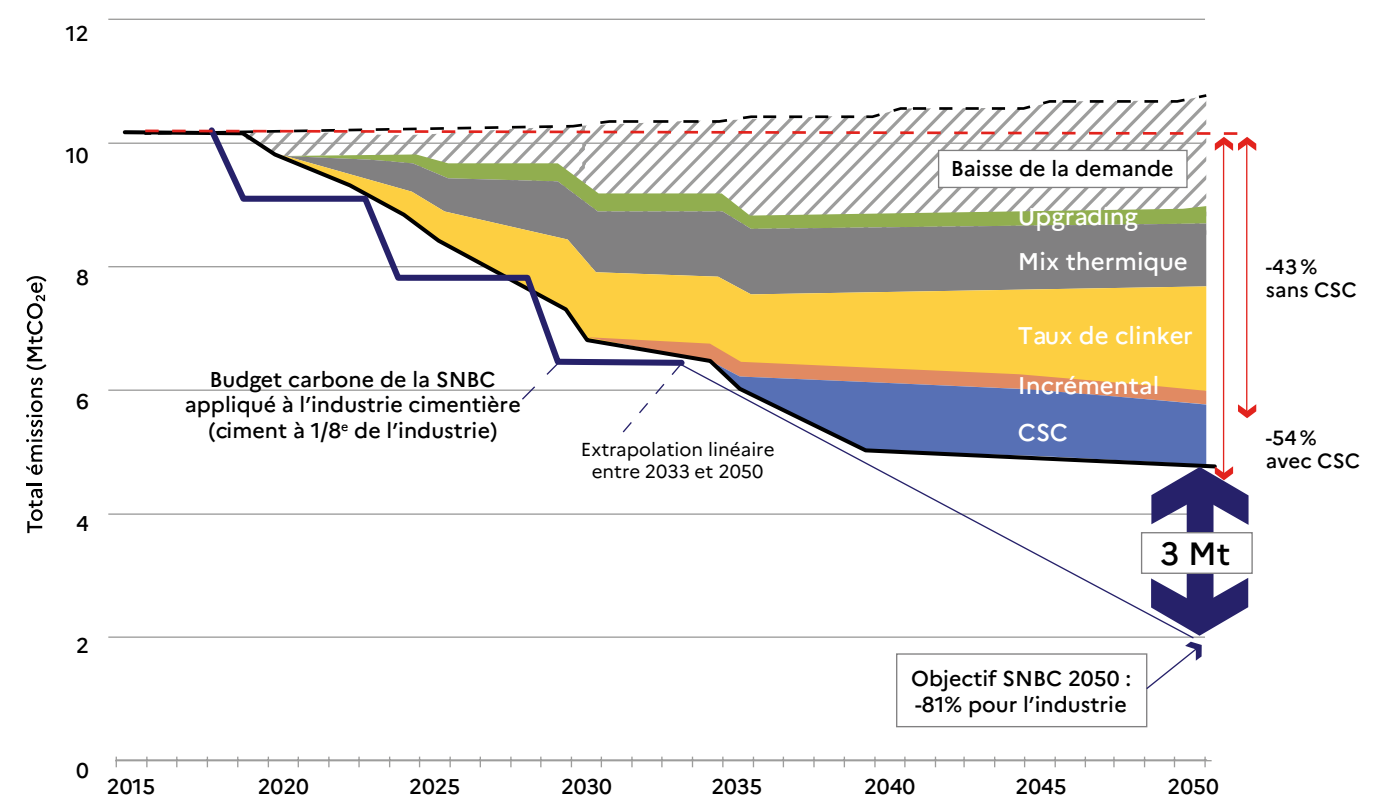


Figure 7. Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur cimentier à horizon 2050 Scénario SNBC/ADEME.



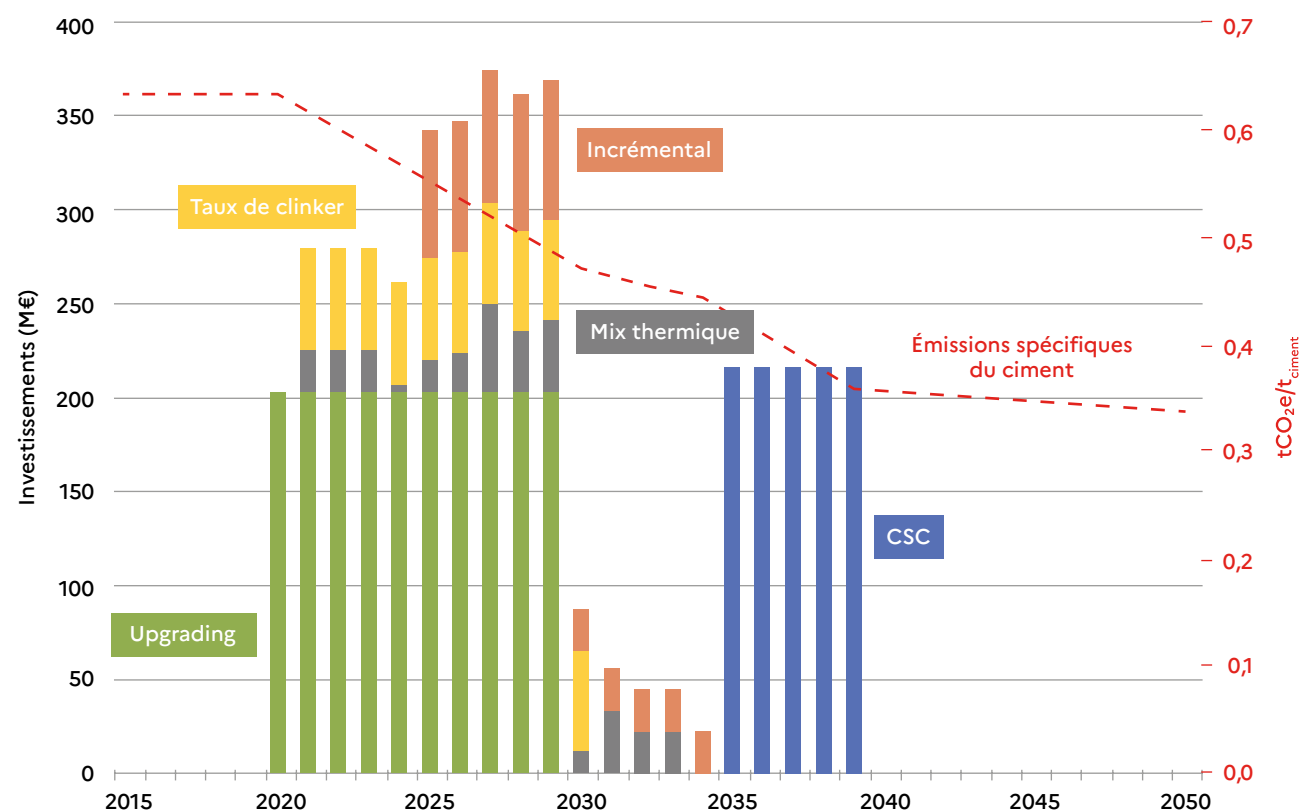
2.4. Des investissements massifs à décider dès à présent, pas seulement pour développer des technologies innovantes ! ●

Les investissements nécessaires pour mettre en place ces leviers de décarbonation (indépendamment de l'évolution de la demande) ont été chiffrés à environ **3,3 Mds EUR sans CSC sur l'ensemble du parc cimentier français** (Figure 8). 60% de ces investissements servent à la remise à niveau des cimenteries, pour la mise en place de nouveau fours aux performances proches des MTDs¹⁶. De plus, ces technologies matures sont déployables à court terme : la chronique d'investissement est donc très concentrée dans les prochaines années. Par ailleurs, si l'on rajoute les investissements nécessaires à la mise en place du CSC (uniquement la partie captage pour les usines « éligibles » et non les parties transport et stockage), le montant total des investissements est estimé à hauteur d'environ **4,4 Mds EUR**. En attendant le déploiement du CSC à partir de 2035, la période 2030-2035 présente donc un « creux » ou un ralentissement des investissements.

Pour mettre ces chiffres en perspective, les « investissements corporels bruts moyens » sur la période 2013-2017 du secteur de la fabrication de ciment, chaux et plâtre (code NAF 23.5) s'élevaient à 172 MEUR/an¹⁷ soit environ 5,2 Mds EUR en cumulé sur 30 ans. Ainsi, en faisant l'hypothèse que le secteur du ciment capture l'essentiel des investissements du regroupement sectoriel NAF, l'itinéraire modélisé semble cohérent avec l'ampleur des investissements de l'industrie du ciment.

Les deux enjeux majeurs, en première approche, seraient de maintenir l'ampleur des investissements tout en accélérant ces derniers sur une période de 10 ans et non 30 ans.

Figure 8. Chronique d'investissements sur le parc cimentier et évolution des émissions spécifiques avec CSC (hors coût du capital).



¹⁶ Meilleures techniques disponibles (MTD) identifiées au sein des documents européens BREF : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/CLM_BREF_042013.pdf

¹⁷ Estimé sur la base de données INSEE : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4226063?sommaire=4226092>

2.5. Modélisation du parc cimentier français et coût de production ●

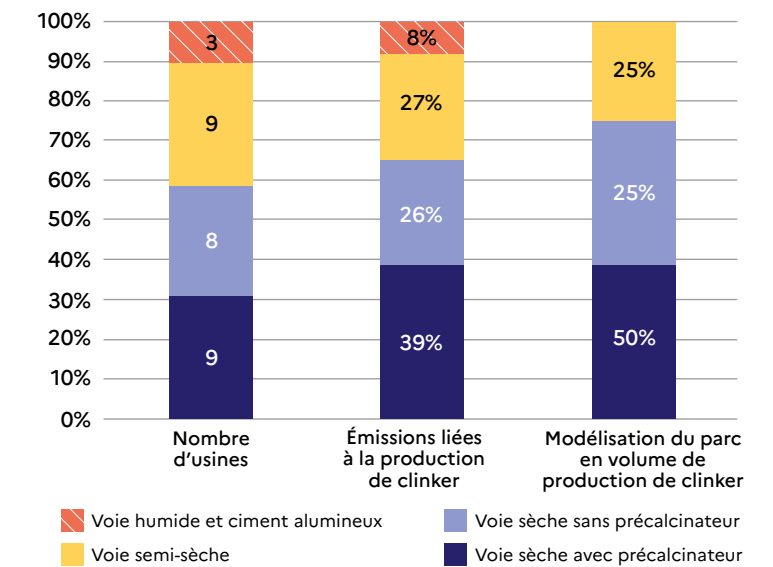
Sur la base de la structure du parc cimentier actuel, majoritairement représenté par trois grandes voies de fabrication du clinker, trois usines de références ont été modélisées (Figure 9). Ces usines virtuelles illustrent les trois procédés de fabrication du ciment les plus couramment employés en France : une usine de fabrication en **voie sèche avec précalcinateur**, une usine de fabrication en **voie sèche sans précalcinateur** et une usine de fabrication en **voie semi-sèche**.

La construction des usines de référence s'est faite à partir de l'exploitation des données des cimenteries françaises (source : audits énergétiques et plans de performance énergétique des sites). Chaque usine de référence est décrite par ses équipements, ses grandes phases de préparation du ciment, ses consommations spécifiques d'énergie (thermique et électrique) et son mix thermique. Le troisième diagramme en barre de la Figure 9 représente le parc cimentier français tel qu'il a été modélisé en première approximation.

Les leviers de décarbonation s'appliquent de manière différente sur chaque usine de référence. Les scénarios de décarbonation impactent donc de manière hétérogène les coûts de production du ciment (voir Tableau 2). Un exemple sur une usine en voie semi-sèche est donné en Figure 10.

Si les investissements en capital dépendent peu du niveau de production des usines et donc du scénario de demande, il est important de montrer leur impact sur le coût de production à travers la notion de « CAPEX amorti », correspondant au coût de financement et à l'amortissement ramené à la production annuelle.

Figure 9. Nombre de cimenteries et émissions liées à la production de clinker par voie de fabrication en 2015.

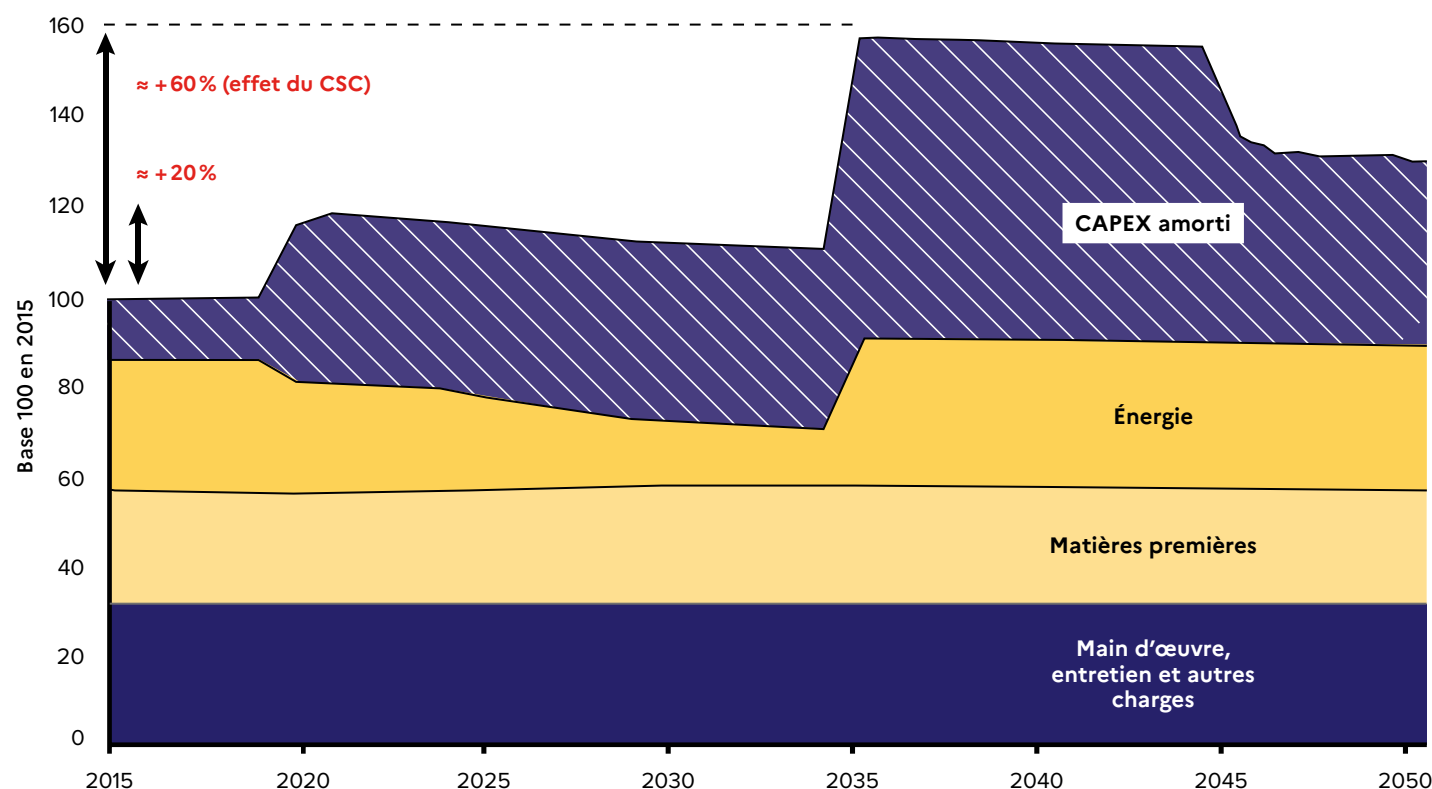


+ 50 %
Ordre de grandeur de l'impact attendu du captage du CO₂ sur le coût de production

Tableau 2. Principaux résultats obtenus pour chaque usine de référence.

	Usine de référence	% de décarbonation entre 2015 et 2050	Investissement total/usine	% d'augmentation du coût de production
Sans CSC	Voie sèche avec précalcinateur	-25%	≈ 45 M EUR	≈ -10%
	Voie sèche sans précalcinateur	-33%	≈ 205 M EUR	≈ +15%
	Voie semi-sèche	-28%	≈ 200 M EUR	≈ +20%
Avec CSC	Voie sèche avec précalcinateur	-95%	≈ 245 M EUR	≈ +45%
	Voie sèche sans précalcinateur	-95%	≈ 405 M EUR	≈ +55%
	Voie semi-sèche	-95%	≈ 400 M EUR	≈ +65%

Figure 10. Exemple de l'évolution du coût de production dans un itinéraire avec CSC sur une usine de type voie semi-sèche.



Il en ressort que l'application de l'itinéraire technologique sur une usine du type «voie sèche avec précalcinateur» sans la technologie CSC, ferait diminuer le coût de production de la tonne de ciment (présenté hors coût du carbone qui est supposé constant pour le moment) de l'ordre de 10% (Tableau 2). Cette diminution résulte principalement de la baisse du poste énergie qui est elle-même au premier ordre liée à (1) l'intégration croissante de combustibles de substitution considérés comme moins chers et à (2) la baisse de la production de clinker (qui se répercute aussi toutefois sur une légère augmentation du poste matières premières). Ainsi, il apparaît que la transition telle que modélisée par cet itinéraire technologique peut constituer une opportunité économique pour les usines fonctionnant déjà sur un procédé en voie sèche avec précalcinateur. La situation est néanmoins sensiblement différente pour les usines du type «voie sèche sans précalcinateur» et «voie semi-sèche» : l'opération d'upgrading qu'elles subissent en premier lieu a pour effet d'augmenter brusquement le coût de production de l'ordre de 20% à travers le poste «CAPEX amorti» (c'est l'effet «marche d'escalier» observable en 2020). Une fois l'investissement supposé amorti au bout de 25 ans (donc en 2045) dans le modèle, le coût de production repasse à peu près au niveau de celui de l'usine en voie sèche avec précalcinateur.

En revanche, l'application de l'itinéraire technologique incluant le CSC, toujours selon un scénario de demande BAU, fait augmenter le coût de production de la tonne de ciment de 40 à 60% selon le type d'usine, puisque se rajoutent les investissements de captage et de purification de la technologie CSC (CAPEX) ainsi que les dépenses d'exploitation associées, en particulier des consommations d'énergie supplémentaires liées à la pénalité énergétique de la technologie de captage (Figure 10). Dans le cas des usines de type «voie sèche sans précalcinateur» et «voie semi-sèche», cet itinéraire technologique avec du CSC permet d'illustrer un enjeu important concernant le financement : plus l'opération d'upgrading sera réalisée tôt et plus vite elle sera amortie, moins le coût cumulé au moment de la mise en œuvre du CSC en 2035 sera à supporter longtemps dans le coût de production.

Plus les usines qui restent à rénover seront rapidement identifiées comme stratégiques pour l'avenir, car potentiellement éligibles au CSC, et plus la décision de l'upgrading sera prise tôt, plus la transition sera économiquement encaissable pour le secteur au moment de la mise en œuvre du CSC.

¹² Meilleures techniques disponibles (MTD) identifiés au sein des documents européens BREF : https://aida.ineris.fr/sites/default/files/directive_ied/CLM_BREF_042013.pdf

¹³ Estimé sur la base de données INSEE : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4226063?sommaire=4226092>

¹⁴ Les aspects méthodologiques associés aux usines de référence sont détaillés en dans les annexes.

Index des tableaux et figures

TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé des premiers résultats du plan de transition sectoriel de l'industrie cimentière en France 7
 Tableau 2 : Principaux résultats obtenus pour chaque usine de référence 17

FIGURES

Figure 1 : Les 9 secteurs de l'industrie allant faire l'objet d'un PTS 4
 Figure 2 : La vision à 360° d'un PTS pour éclairer la transition bas-carbone du secteur 9
 Figure 3 : Procédé de fabrication du ciment 10
 Figure 4 : Principaux leviers de décarbonation de l'industrie cimentière 11
 Figure 5 : Flux de matières de la filière cimentière en 2014 selon les différents usages finaux 13
 Figure 6 : Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur cimentier à horizon 2050 – scénario BAU 14
 Figure 7 : Évolution des émissions de gaz à effet de serre du secteur cimentier à horizon 2050 – scénario SNBC/Ademe 15
 Figure 8 : Chronique d'investissements sur le parc cimentier et évolution des émissions spécifiques avec CSC (hors coût du capital) 16
 Figure 9 : Nombre de cimenteries et émissions liées à la production de clinker par voie de fabrication en 2015 17
 Figure 10 : Exemple de l'évolution du coût de production dans un itinéraire avec CSC sur une usine de type voie semi-sèche 18

Sigles et acronymes

- ADEME** - Agence de la Transition Écologique
- AIE** - Agence Internationale de l'Énergie
- BAU** - Business As Usual
- BTP** - Bâtiments Travaux Publics
- CAPEX** - Capital Expenditure
- CSC** - Capture et Stockage du Carbone
- CSR** - Combustibles Solides de Récupération

- DIB** - Déchets Industriels Banaux
- ECRA** - European Cement Research Academy
- MTDs** - Meilleures Techniques Disponibles
- PTS** - Plan de Transition Sectoriel
- SNBC** - Stratégie Nationale Bas Carbone
- VRD** - Voiries et Réseaux Divers

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME – l'Agence de la transition écologique – nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Les collections de l'ADEME

- ILS L'ONT FAIT**
L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.
- EXPERTISES**
L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.
- FAITS ET CHIFFRES**
L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.
- CLÉS POUR AGIR**
L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.
- HORIZONS**
L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



CIMENT

Premiers résultats technico-économiques

L'industrie cimentière fait face à de forts enjeux technologiques et économiques pour atteindre les objectifs de décarbonation de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) – qui fixe une réduction de -81% des émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à 2015 pour l'ensemble de l'industrie française. Le procédé de fabrication du matériau est intensif en énergie et générateur d'émissions de gaz à effet de serre difficilement abattables. Avec la modélisation effectuée et sur la base des technologies identifiées, une réduction de 54% des émissions de gaz à effet de serre est atteignable dans le meilleur des cas. D'autres solutions devront donc émerger si le secteur doit respecter l'objectif de -81% de décarbonation fixé par la SNBC pour l'industrie, surtout pour la période 2030-2050. La décarbonation nécessitera des investissements massifs dans l'outil productif, dans l'innovation et dans les infrastructures sur le territoire. Pour tenir une trajectoire de décarbonation en ligne avec les accords de Paris, la réglementation doit accompagner l'évolution du parc industriel et donner une stratégie à moyen terme pour assurer la viabilité des investissements à plus long terme et amplifier la participation des institutions financières.

011384

