

## La biomimétique

Les nombreux succès rencontrés par cette approche ont poussé à faire évoluer le biomimétisme en une discipline plus formalisée en la dotant d'outils méthodologiques pour un transfert efficace des connaissances entre les disciplines, principalement entre la biologie et la technologie. Ces méthodologies sont regroupées sous le terme : biomimétique (Norme ISO 18458). Elles ont pour but de faciliter la coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation afin de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution recherchée. Les processus biomimétiques suivent deux types d'approches. Soit ils sont initiés par une connaissance ou une découverte biologique, l'approche est dite « biology push », soit ils sont utilisés comme processus de résolution de problèmes et l'approche est dite « technology pull ». En raison des applications industrielles potentielles plus importantes, la deuxième approche est davantage structurée, développée et employée mais la première approche reste plus intuitive et directe.

La résolution de problème au sein de la biomimétique propose le processus itératif suivant :

**Étape 1** - Analyse du problème

**Étape 2** - Abstraction du problème technique

**Étape 3** - Transposition à la biologie

**Étape 4** - Identification des modèles biologiques potentiels

**Étape 5** - Sélection du/des modèle(s) pertinent(s)

**Étape 6** - Abstraction des stratégies biologiques

**Étape 7** - Transposition à la technologie

**Étape 8** - Implémentation et test dans le contexte initial

Le biomimétisme à travers la biomimétique a le potentiel de satisfaire au besoin d'innover des entreprises, de sortir des silos, de trouver des ruptures scientifiques et technologiques. La biomimétique intervient en complément des méthodes classiques d'idéation et de créativité.

A travers le monde, en particulier en Allemagne, au Japon, en Chine et aux Etats-Unis, la recherche et l'innovation biomimétique est très organisée et financée par des grands groupes et les états. En France, la filière biomimétisme commence seulement à se structurer. Les acteurs se regroupent, de grandes entreprises investissent, des startups émergent, et un organisme, le CEEBIOS (Centre d'études et d'expertises dédié au déploiement du biomimétisme en France), fédère l'ensemble des acteurs pour développer la filière. La Biomim'expo, événement unique au monde, qui a vu le jour en 2015, rassemble chaque année en France des experts, des entreprises et des acteurs scientifiques dans tous les secteurs d'activités du biomimétisme. Cependant, les industriels sont en attente croissante de compétences dans ce domaine. La formation autour de cette thématique repose aujourd'hui sur des initiatives isolées et, contrairement à nos voisins européens, la France dispose de peu de cursus diplômants. Ce besoin sera certainement comblé avec la pression grandissante des entreprises et l'engouement fort des étudiants.



# 4

## VERS UNE INDUSTRIE DÉCARBONÉE

# 1. REPÈRES : LA DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE

## Une industrie de moins en moins polluante

Depuis sa création, l'industrie est considérée comme polluante. Parmi les pollutions engendrées, la pollution de l'air liée à la consommation de carbone est prépondérante. Les usines sont souvent citées comme source de création de CO<sub>2</sub> ou autres gaz à effet de serre.

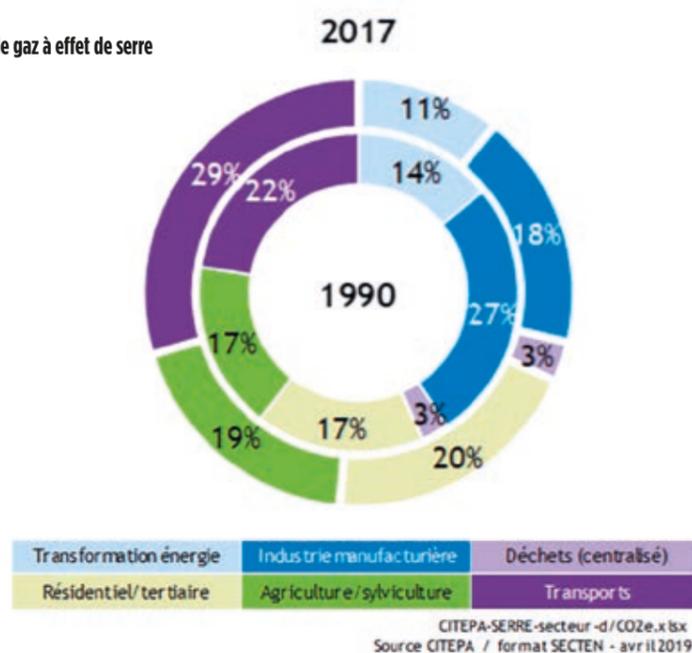
L'industrie, selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) contribue à hauteur de 21% aux émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde. Ce chiffre reste global et ne permet pas de savoir quelles activités industrielles sont les plus émettrices de CO<sub>2</sub> et de gaz à effet de serre. En France, le centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique, le CITEPA, a pour objet l'étude des émissions dans l'atmosphère. Dans son rapport Secten, le CITEPA présente les émissions de polluants de gaz à effet de serre dans l'air pour la France Métropolitaine. Ceci permet une lecture des émissions de CO<sub>2</sub> et de gaz à effet de serre selon un découpage correspondant aux entités économiques traditionnelles.

Selon le rapport Secten, l'industrie manufacturière était responsable en 2017 de 18% des émissions de gaz à effet de serre en France Métropolitaine. Cependant, depuis 1990, l'industrie manufacturière a réduit de 44% ses émissions avec notamment -67% pour la métallurgie des métaux non ferreux et -60% pour l'industrie chimique.

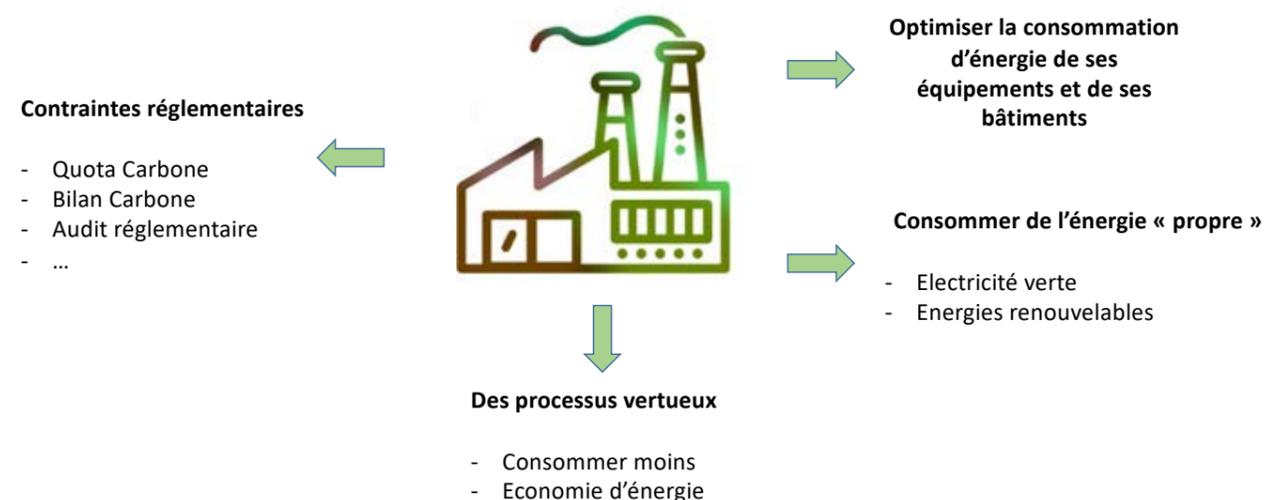
## Une pression réglementaire

Afin d'inciter les entreprises à réduire leur production de GES, différents outils ont été mis en place. En 2005, le marché européen du carbone était créé afin d'inciter les usines les plus polluantes à prendre conscience de l'importance du sujet en mettant en place un système contraignant d'achat et de ventes de quotas. D'autres outils, comme le Bilan Carbone ou l'audit réglementaire ont vu le jour. Ces outils, dont la mise en œuvre est obligatoire pour les grandes structures, sont aussi à la disposition de tous. Ils permettent à chaque entreprise quelle que soit sa taille de mesurer ses émissions de GES et de bâtir un plan d'actions afin d'en réduire les émissions.

Evolution de la répartition des émissions de gaz à effet de serre (hors UTCATF) en France métropolitaine



## Contraintes et opportunités des entreprises face à la décarbonation



## Consommer moins, consommer mieux

Les différentes contraintes réglementaires amènent donc les entreprises à améliorer leur efficacité énergétique. Plusieurs pistes sont envisageables pour cela. Une étude de l'ADEME, en partenariat avec le CEREN, EDF et GRDF a analysé la consommation d'énergie des processus industriels et a identifié les plus énergivores :

- l'évaporation ;
- le séchage ;
- la distillation ;
- les autres opérations d'élimination d'eau ;
- le chauffage de liquide et de gaz ;
- le chauffage ou réchauffage de métaux ;
- la fusion ;
- les traitements thermochimiques ;
- les traitements thermiques et autres opérations thermiques.

Se concentrer sur la consommation d'énergie liée à ces processus est donc une évidence. Mais d'autres éléments sont également énergivores et doivent être optimisés: l'efficacité énergétique des bâtiments, l'optimisation d'un parc véhicule... Un exemple parmi d'autres est la possibilité de remplacer des équipements traditionnels, souvent vieillissants, par des équipements électriques alimentés par une énergie « verte ». L'objectif de la France est de passer à une industrie électrifiée à 70% de sa consommation en 2050 par rapport à 25% actuellement.

## 2. LE MARCHÉ EUROPÉEN DU CARBONE

Article rédigé avec la collaboration de Caroline Mini, Cheffe de projet senior, La Fabrique de l'industrie

### Le marché européen du carbone

La Commission européenne a mis en place un marché européen du carbone afin de lutter contre le réchauffement climatique. Ce système a été déployé en 2005 avec la phase 1 regroupant 27 pays et concernait alors les industries les plus énergivores comme la production d'électricité, les raffineries et les aciéries. Il s'est ensuite étendu à d'autres secteurs et d'autres pays européens lors de la phase 2 (2008-2012). C'est depuis un outil important pour converger vers la neutralité carbone. Faisant suite à la création du marché européen, de nombreux pays ou groupements de pays ont ouvert leur marché d'échange de quotas, un des derniers étant la Chine en 2021.

#### Les phases de création des marchés de carbone

	Phase I (2005-2007)	Phase II (2008-2012)	Phase III (2013-2020)
Pays	UE 25 + Roumanie et Bulgarie en 2007	UE 27+ Norvège, Liechtenstein et Islande	UE 28 (Croatie)+ Norvège, Liechtenstein et Islande
Gaz	CO <sub>2</sub> seul	CO <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> O opt in	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O et PFC
Secteurs	Électricité et chaleur, raffineries, acier, fer, ciment et chaux, verre, céramique, pâte à papier	Mêmes secteurs et aviation à compter de 2012	Même secteurs + métaux ferreux et non ferreux, aluminium de première fusion et d'affinage, acide nitrique, acide adipique, acide glyoxylique, ammoniac, poussière de soude, hydrogène, produits pétrochimiques

Source : Commission européenne

Le marché du carbone est un outil climatique important dans la maîtrise des émissions de CO<sub>2</sub> afin d'atteindre l'engagement européen de « zéro émission nette » de gaz à effet de serre en 2050. Il permet de réduire les émissions de l'industrie intensive en énergie et des producteurs d'électricité. Les marchés du carbone se définissent comme

un lieu d'échange de droits d'émissions de gaz à effet de serre. Ce sont des systèmes d'achats et de ventes de quotas d'émissions ou système de permis d'émissions échangeables (Emissions Trading Schemes - ETS).

### Quelles entreprises sont concernées ?

En France, comme le montre le diagramme ci-dessous, les émissions couvertes par le système d'échange de quotas d'émission (SEQUE) sont principalement issues de cinq grands secteurs d'activités (production d'électricité, sidérurgie, cimenterie, industrie chimique et raffinage). Au niveau européen, plus de la moitié des émissions en Europe proviennent du secteur de la production d'électricité.

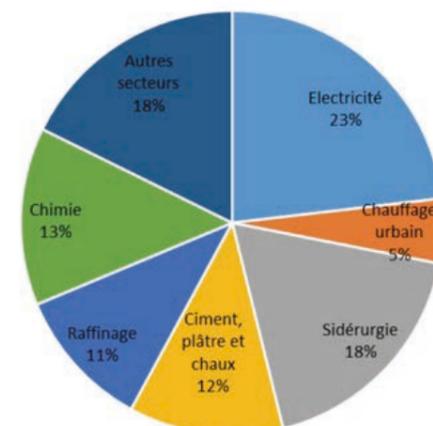
Le marché européen du carbone ne concerne pas toutes les entreprises, mais seulement celles considérées comme étant les plus productrices de gaz à effet de serre. Plus de 11 000 centrales électriques et sites industriels rentrent alors dans le périmètre réglementaire. Ces entreprises concernées couvrent 45% des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe.

### Comment ça marche ?

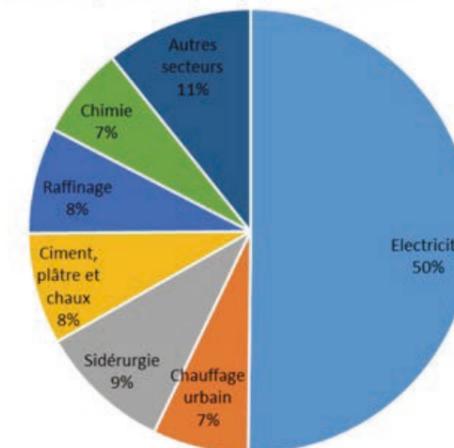
La Commission européenne définit une production annuelle globale de CO<sub>2</sub> qui pourra être émise par les 11 000 installations industrielles concernées. Par exemple, une aciérie génère 1,8 tonne de CO<sub>2</sub> pour 1 tonne d'acier produite. Cette quantité globale est ensuite divisée en quotas, un quota étant équivalent à 1 tonne de CO<sub>2</sub>.

Les quotas sont alors redistribués en partie à titre gratuit aux entreprises exposées à un risque élevé de fuite de carbone, dont l'activité pourrait être délocalisée hors Europe à cause des contraintes climatiques, et le reste est mis en vente aux enchères sur le marché européen du carbone.

Emissions par secteur, France, Total = 101 Mt



Emissions par secteur, Europe, Total = 1748 Mt



Source : www.ecologie.gouv.fr/marches-du-carbone

La Commission européenne définit un plafond total d'émissions réparti en quotas. Ce plafond diminue progressivement pour atteindre l'objectif de réduction d'émissions défini au niveau européen. Sur une période donnée, l'entreprise doit restituer à l'autorité publique la quantité exacte de quotas correspondant à ses émissions. Elle peut alors acheter des quotas si elle a émis plus que la quantité de quotas reçue ou en vendre si elle a réduit ses émissions. Le marché fonctionne par un système d'enchères : plus il y a de la demande, plus le prix augmente.

Les échanges de quotas peuvent s'opérer sous différentes formes :

- Sur des places de marché, comme à la bourse
- en achetant ou en vendant via un intermédiaire
- de gré à gré, c'est-à-dire directement entre un acheteur et un vendeur

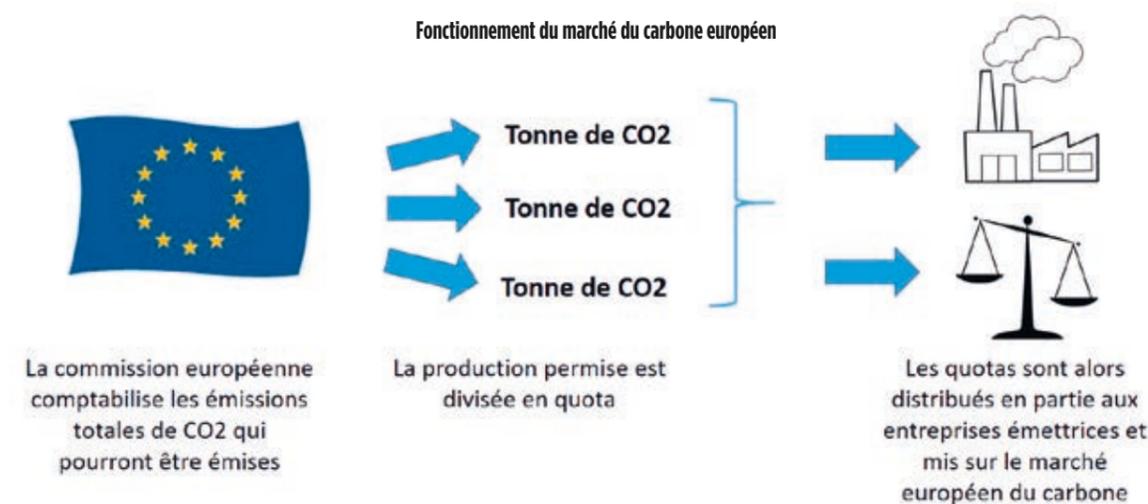
Ce système ne peut fonctionner que si des règles précises sont mises en place. Le marché du carbone est donc réglementé selon trois piliers présentés sur

le site du Ministère de la transition écologique :

- un registre comptable où les émissions et la conformité de chaque installation sont enregistrées ;
- un système de mesure de rapportage et de vérification des émissions robuste pour s'assurer que les données d'émissions sont exactes ;
- un système de pénalités pour s'assurer que les règles, et donc l'intégrité environnementale du mécanisme de marché, sont bien respectées.

Une entreprise soumise au marché du carbone peut alors consommer sur une année le nombre de quotas exacts qui lui a été attribué. Si l'entreprise émet moins que ce qui lui a été attribué, en produisant moins ou en mettant en place des actions de réduction d'émissions, elle peut revendre sur le marché les quotas d'émission restants. Si en revanche, l'entreprise a émis plus que le nombre de quotas initialement prévu, elle se doit d'acheter la différence.

#### Fonctionnement du marché du carbone européen



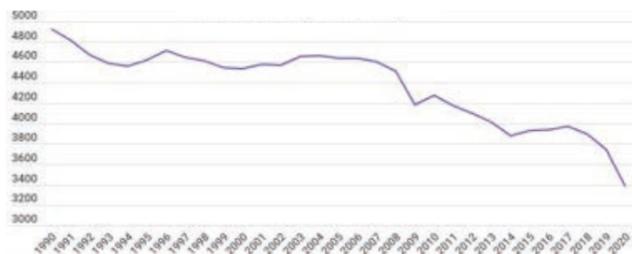
Ce système incite donc les entreprises à consommer moins ou à investir durablement sur l'amélioration de l'ensemble de ses équipements. Mais pour qu'il soit vraiment efficace et contraignant au regard de l'objectif de 2050, le plafond annuel de quotas est revu à la baisse tous les ans. L'Union européenne a ainsi baissé en 2020 de -21% le nombre total des quotas par rapport aux émissions de 2005 (soit -1,74% par rapport à 2019).

## L'impact sur la décarbonation

L'intérêt de ce système sur la décarbonation est évident. Il incite les entreprises, si elles ne veulent pas payer de quotas supplémentaires, à minimiser leur production de gaz à effet de serre en investissant dans des processus plus responsables. D'une manière globale, les émissions de gaz à effet de serre ont largement diminué ces dernières années comme le montre le graphique ci-dessous.

En se référant seulement aux installations fixes soumises au système d'échange, on constate une diminution entre 2005 et 2016 des émissions dans la plupart des pays de l'UE (source : Ministère de la transition écologique).

Evolution des émissions de gaz à effet de serre de 1990 à 2020 dans l'UE à 27 (en Mt CO<sub>2</sub>)

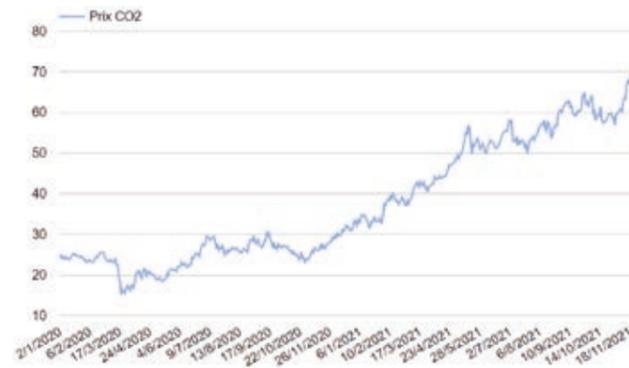


Source : Agence européenne de l'environnement

## L'impact sur la compétitivité des entreprises

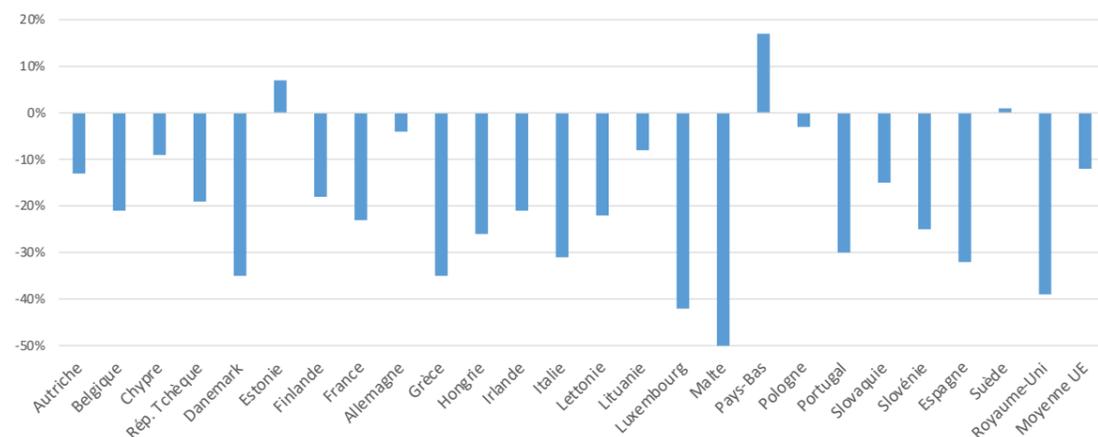
Le marché du carbone vise à inciter les entreprises à investir afin de ne pas payer des quotas. Plus la tonne de carbone coûtera cher, plus cela pourrait impacter la compétitivité des entreprises. Le marché du carbone se limitant aux frontières européennes pourrait à terme encourager certaines entreprises à s'installer dans un autre pays, non soumis au prix du carbone. C'est ce que souligne Caroline Mini et Matthieu Glachant dans la note publiée par La Fabrique de l'industrie : « Ces quotas d'émissions s'appliquent aujourd'hui aux entreprises européennes et ne concernent donc pas les biens manufacturés hors d'Europe. Ainsi, quand le carbone coûtera plus cher, les prix des produits européens augmenteront aussi mais pas ceux du reste du monde si la régulation n'est pas planétaire. Cela provoquera un déséquilibre de compétitivité entre les entreprises européennes et extra-européennes. ». De plus, ils soulignent que sous une barre de 100 euros la tonne de carbone, l'impact sur la compétitivité et l'emploi reste limité. Cependant, le prix de la tonne selon certaines prévisions devrait monter jusqu'à 250 euros en 2030.

Evolution du prix du de la tonne de CO<sub>2</sub> (€/tonne)



Source : energiedev.fr

Variation des émissions des secteurs soumis au marché carbone par pays entre 2005 et 2016



## La compensation carbone

Les entreprises soucieuses de tendre vers un bilan carbone neutre ne peuvent pas toujours modifier leurs équipements ou leurs processus afin de mettre en place leur ambition. Elles ont alors la possibilité de contrebalancer leurs émissions de GES par la réalisation de projets amenant des réductions équivalentes à leurs émissions. C'est le principe de la compensation carbone. C'est un outil dont la mise en place est relativement aisée.

L'ADEME précise les règles à suivre lors de la mise en place d'une compensation carbone :

- Règle n°1 : Faire et rendre public un bilan des émissions GES, réductions et compensations
- Règle n°2 : Choisir des projets de compensation labellisés
- Règle n°3 : Privilégier des projets présentant des approches « développement durable »
- Règle n°4 : Définir une juste combinaison de projets soutenus sur le sol national et de projets soutenus à l'international
- Règle n°5 : Communiquer de manière responsable

De nombreux groupes français et internationaux ont mis en place ce type d'actions. Par exemple, Air France en partenariat avec EcoAct, un des acteurs historiques de la compensation carbone, s'est engagé sur plusieurs projets. La compagnie aérienne indique qu'à partir de janvier 2020, ses vols en France métropolitaine sont neutres en carbone. Les émissions produites lors de ses vols sont compensées par une contribution à des projets certifiés concernant la reforestation ou la préservation de la biodiversité en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie (source : site officiel Air France).

## POUR ALLER PLUS LOIN | 🔍

- [www.la-fabrique.fr](http://www.la-fabrique.fr)  
La Fabrique de l'industrie a publié un ensemble de ressources disponibles sur le sujet :
  - La Note « Quand le carbone coûtera cher »
  - Le Cube (4 pages) « Prix du carbone et compétitivité : vrai ou faux débat ? »
  - L'article de blog qui comprend les 3 vidéos accessibles aux publics novices sur la question du marché européen du carbone : « Comprendre les effets de la tarification du carbone sur les entreprises »
  - Conférence « Transition bas carbone et compétitivité industrielle : défis et opportunités », organisée avec l'OFCE et Mines ParisTech-PSL pour débattre des conditions d'une transition bas carbone de l'industrie européenne et de ses effets sociaux et économiques. Vous y trouverez notamment les présentations PDF des intervenants et la vidéo complète de la conférence
- [www.ecologie.gouv.fr/marches-du-carbone](http://www.ecologie.gouv.fr/marches-du-carbone)  
Le site du ministère de la transition écologique propose de nombreuses analyses et explications sur le marché du carbone

# 3. LE CAPTAGE DE CO<sub>2</sub>

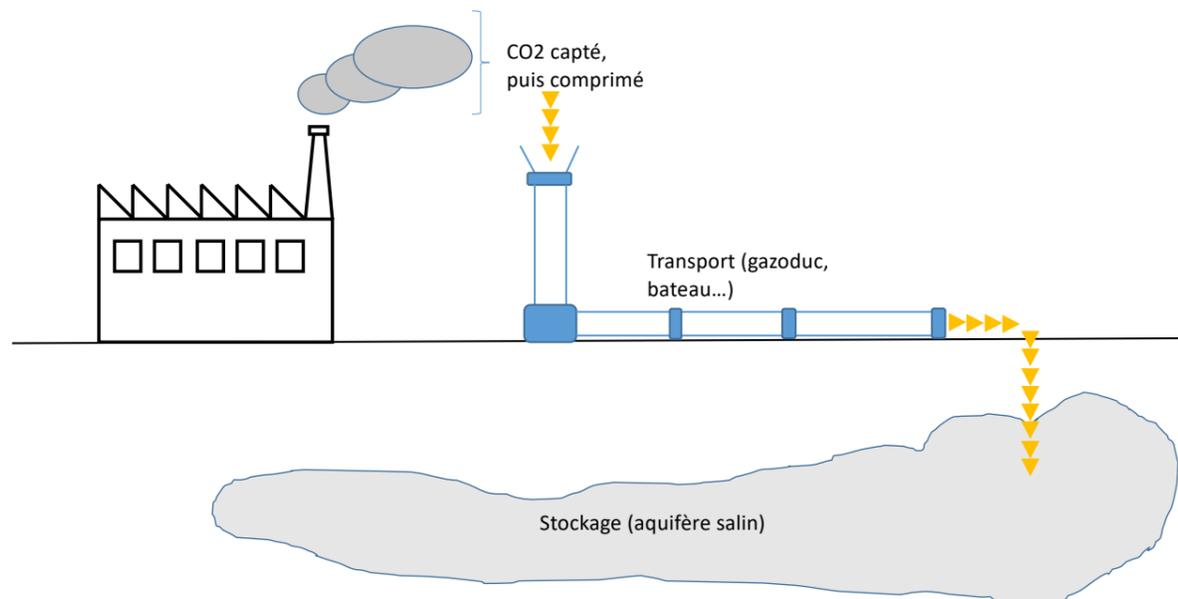
## Principe du captage

Le captage du CO<sub>2</sub> consiste à séparer le CO<sub>2</sub> produit à la source de production. On parle de technologie du captage-stockage du CO<sub>2</sub> (en anglais CCS, Carbon Capture and Storage) lorsque le gaz capté est ensuite stocké. Dans un processus industriel produisant des fumées, le CO<sub>2</sub> est mélangé à d'autres éléments comme la vapeur d'eau ou l'azote. La première solution consiste à séparer le CO<sub>2</sub>, qui représente souvent moins de 20% des gaz émis, des autres éléments. Pour cela, il existe différentes techniques selon les caractéristiques de la fumée à traiter et du processus industriel. La technique employée consiste alors à séparer le CO<sub>2</sub> des autres éléments à l'aide de solvants. La seconde solution consiste à agir en amont du processus en utilisant de l'oxygène pur pour la combustion. Utilisé en remplacement de l'air, cela permet d'obtenir en sortie de processus un gaz concentré en CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> obtenu à l'issue du captage est alors comprimé pour permettre son transport via des gazoducs. Le lieu de stockage peut être distant de plusieurs centaines de kilomètres du lieu du captage.

## Les défis du stockage

Une fois acheminé, le CO<sub>2</sub> est alors stocké généralement dans le sous-sol. On utilise alors des aquifères, réservoirs géologiques poreux ou fissurés. La majorité des réservoirs actuellement utilisés sont des aquifères salins situés au fond des océans. La durée de stockage sera longue, plusieurs décennies. Ces réservoirs doivent donc encore démontrer leur efficacité sur le très long terme. Il faudra notamment prouver qu'ils sont sans danger pour leur environnement immédiat. En France, selon l'ADEME, seuls trois sites sont susceptibles de stocker durablement du CO<sub>2</sub> : Dunkerque, le Havre et Lacq dans les Pyrénées-Atlantiques.

Principe du captage et stockage du CO<sub>2</sub>



## Intérêt pour les industriels

Le captage-stockage du CO<sub>2</sub> est un dispositif permettant à certaines industries d'envisager de réduire massivement leurs émissions de gaz. Pour atteindre l'objectif de 2050, cette technologie de captage devrait être développée à grande échelle. En 2021, seulement quelques grands projets ont déjà été mis en place, loin des objectifs nécessaires de plusieurs milliers d'installations. Les principaux industriels intéressés sont les compagnies pétrolières et gazières ainsi que les industries lourdes (cimenterie, sidérurgie...) qui considèrent le captage comme un impératif pour leurs entreprises. Afin d'atteindre les objectifs de réduction de CO<sub>2</sub>, une filière entière doit être pensée en intégrant les installations de captage, les infrastructures de transport ainsi que les équipements de stockage. De plus, le CO<sub>2</sub> ainsi stocké peut être valorisé notamment comme matière première pour différentes industries.

POUR ALLER PLUS LOIN | 🔍

- [www.club-co2.fr](http://www.club-co2.fr)  
Association spécialisée sur le captage, le stockage et la valorisation du CO<sub>2</sub>
- [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)  
Fiche « Les avis de l'ADEME » sur le captage et le stockage géologique du CO<sub>2</sub>
- [www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)  
Le site de l'IFP Energies nouvelles, organisme public dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement

## Des grands projets de capture de CO<sub>2</sub> annoncés dans le monde

33 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées dès 2025.



2021-S1 : Nacero va investir 7 milliards USD pour créer une nouvelle usine de transformation du gaz en essence à partir de capture de carbone, à Penwell, au Texas (États-Unis).

L'usine de Penwell qui, une fois en service, utilisera une charge d'alimentation composée d'essence naturelle à faible coût, de biométhane capté dans les fermes et les décharges, et de gaz torché atténué du bassin permien pour produire 100 000 b/j de composants d'essence finis prêts à être mélangés aux qualités commerciales américaines.

Nacero - qui a choisi cette technologie pour ses résultats éprouvés dans une unité d'échelle identique exploitée depuis 2019 au Turkménistan - a déclaré qu'elle permettra à l'usine de réduire à la fois le coût de production et l'empreinte carbone du cycle de vie du carburant de transport de 50 % par rapport au carburant traditionnel dérivé du pétrole, ainsi que d'éliminer 1 milliard de tonnes d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère au cours de ses 30 premières années d'exploitation.

3 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées dans une aciérie.



2020-S2 : L'aciériste indien Tata Steel prévoit de mettre en place un projet de capture et d'élimination du carbone ("EVEREST") dans son aciérie près d'IJmuiden, en Hollande du Nord (Pays-Bas).

L'entreprise sidérurgique prévoit de capturer le CO<sub>2</sub> de ses hauts fourneaux ici et de le transporter pour le stocker dans des champs de gaz vides sous la mer du Nord.

1,8 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées dans une cimenterie en 2030.



2021-S1 : L'entreprise allemande CEMENTA, avec le financement attendu du gouvernement suédois, prévoit de rendre sa cimenterie de Slite, Gotland (Suède), 100% neutre en CO<sub>2</sub> grâce au captage et le stockage du carbone (CSC).

1,5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> évitées dans une centrale à gaz en 2026.



2020-S1 : SSE Thermal et le norvégien Equinor prévoient de créer une nouvelle centrale électrique au gaz de 900 MW ("Peterhead CCS Power Station") équipée d'une technologie de capture du carbone à Peterhead, en Écosse (Royaume-Uni).

Le CO<sub>2</sub> libéré lors de la combustion du gaz naturel sera capté et pourra être transporté vers le site de stockage de CO<sub>2</sub> Acorn, en cours de développement à 100 km des côtes écossaises de la mer du Nord.

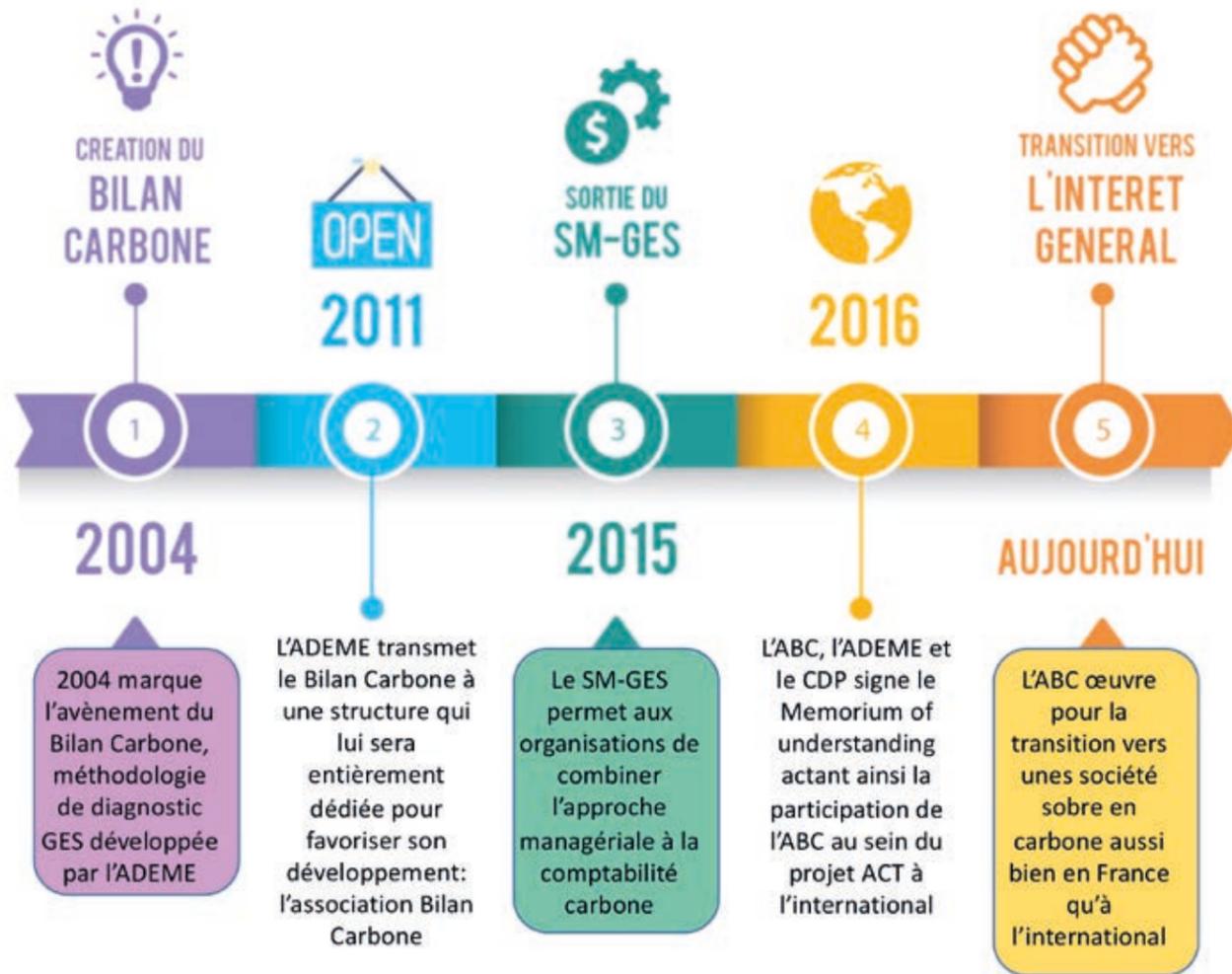
Source: Trendeo 2021

## 4. UN OUTIL DE DIAGNOSTIC POUR LES ENTREPRISES : LE BILAN CARBONE

### Origine du Bilan Carbone

Le Bilan Carbone est un ensemble de méthodes, d'outils et de documents élaborés au début des années 2000 par Jean-Marc Jancovici. Il est diffusé au début par l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie) et est largement déployé. Face à ce succès, l'utilisation de cette méthodologie et son développement ont été confiés à l'Association Bilan Carbone, qui en est la structure porteuse en

France et à l'international. Le Bilan Carbone est depuis enrichi régulièrement en mettant notamment en avant le besoin pour les entreprises d'établir une stratégie plus globale de leur réduction de gaz à effet de serre. De nouvelles versions sont alors régulièrement diffusées.



Source : Association Bilan Carbone

### Principe et enjeux du Bilan Carbone

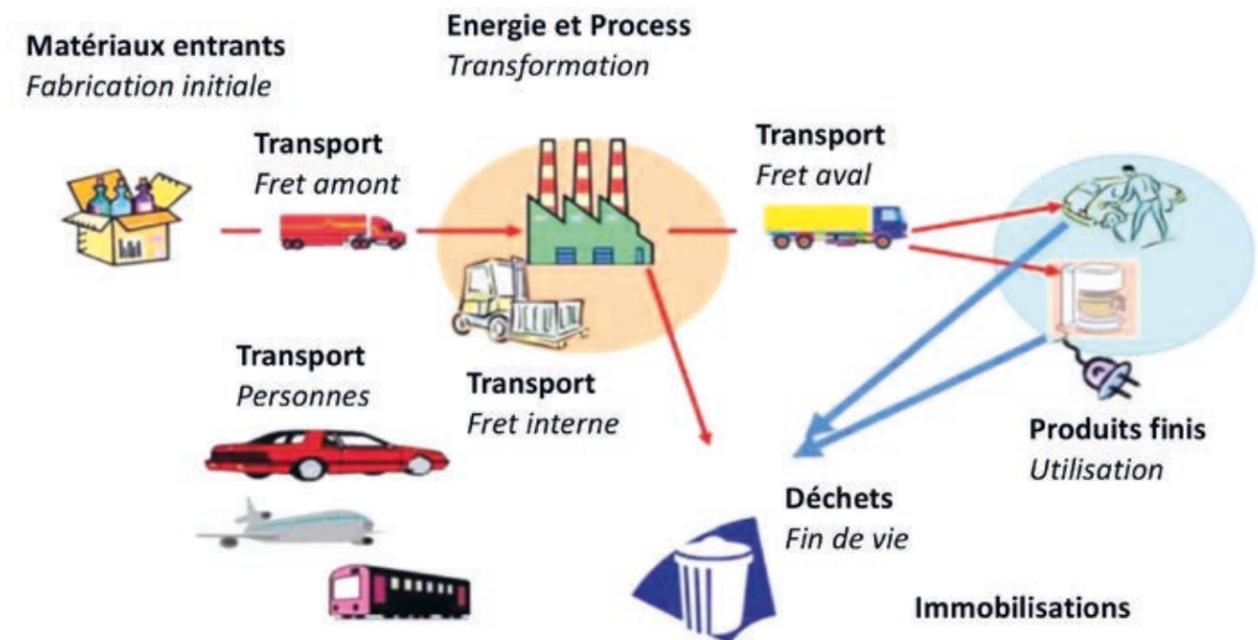
Le Bilan Carbone a été conçu pour établir une évaluation des émissions directes ou induites d'une entité. Cette entité peut revêtir différentes formes : une entreprise, un bâtiment, une activité, un territoire, un individu... Une cartographie des flux d'énergie et de matière doit permettre de définir le périmètre de l'audit. L'objectif est de comptabiliser les émissions de gaz à effet de serre produites par cette entité. L'émission de six gaz est ainsi évaluée : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane, le protoxyde d'azote, l'hydrofluorcarbure, le perfluorcarbure et l'hexafluorure de soufre. Une base de données de facteur d'émission permet de convertir les activités répertoriées en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent. Cet audit réalisé permet ensuite d'établir un plan d'actions efficace de la consommation énergétique en proposant des réductions de consommation, des remplacements d'équipements, des optimisations

fiscales liées à l'écologie. Il permet in fine d'établir la vulnérabilité d'une activité face au challenge d'une énergie fossile dont le prix va croître inexorablement dans les prochaines décennies.

Les principes du Bilan Carbone tels qu'énoncés par l'association Bilan Carbone sont les suivants :

- **Cohérence** : la démarche est centrée sur les besoins
- **Exactitude** : les biais et les incertitudes de la démarche sont réduits au maximum
- **Exhaustivité** : la démarche cherche à couvrir un maximum d'émissions
- **Pertinence** : la démarche s'intéresse aux émissions pertinentes pour l'organisation
- **Transparence** : la démarche doit être suffisamment transparente pour permettre une prise de décision éclairée
- **Vérification** : la démarche doit aboutir à des résultats vérifiables

Exemple de périmètre de bilan carbone



Source : Association Bilan Carbone

## Les obligations des entreprises

L'article 26 du texte de la loi Grenelle II oblige les entreprises de plus de 500 salariés, les personnes morales de droit public de plus de 250 personnes ainsi que les collectivités territoriales de plus de 50 000 habitants à établir un bilan de gaz à effet de serre. Cependant, concernant les entreprises, les 500 salariés doivent dépendre de la même entité juridique. Un groupe dont les filiales n'excéderaient pas les 500 salariés serait ainsi exempt de cette obligation. Cette obligation est à renouveler tous les 4 ans. Des amendes sont prévues en cas de non-respect de la loi.

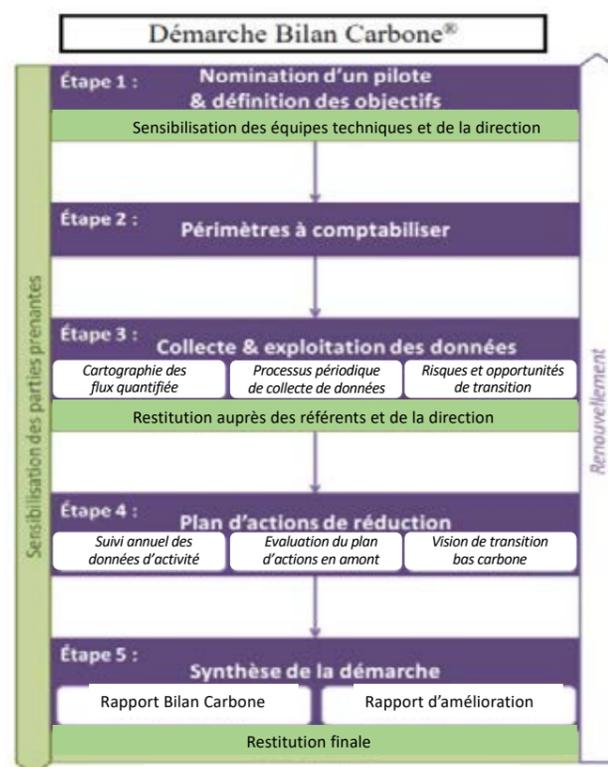
Outre l'obligation législative, plusieurs autres leviers peuvent inciter les entreprises à réaliser cet audit. Tout d'abord, cet outil peut devenir le socle stratégique de l'entreprise en terme d'optimisation énergétique. Ensuite, s'engager dans cette démarche peut être un projet fédérateur pour l'ensemble des salariés en interne. C'est aussi un outil de communication en externe vis-à-vis de ses fournisseurs, ses clients et ses donneurs d'ordre afin d'engager l'image de l'entreprise sur la voie de la transition écologique.

### POUR ALLER PLUS LOIN | 🔍

- [www.bilans-ges.ademe.fr](http://www.bilans-ges.ademe.fr)  
Le centre de ressources de l'ADEME concernant les bilans de gaz à effet de serre
- [www.associationbilancarbone.fr](http://www.associationbilancarbone.fr)  
Le site de l'association Bilan Carbone
- [www.ecologie.gouv.fr/mieux-evaluer-lempreinte-carbone-des-entreprises-et-des-organisations](http://www.ecologie.gouv.fr/mieux-evaluer-lempreinte-carbone-des-entreprises-et-des-organisations)  
Le site concernant les législations en vigueur

## La démarche du Bilan Carbone

Le Bilan Carbone s'appuie sur une démarche structurée schématiquement représentée par l'association Bilan Carbone (association ABC). La première phase définit un pilote ou éventuellement une équipe qui dirigera le projet. C'est durant cette première phase que sont aussi définis les objectifs. L'identification du périmètre arrivera lors d'une deuxième phase. La troisième étape est bien sûr la plus chronophage puisqu'il s'agit de définir et quantifier en termes de production de tonnes de CO<sub>2</sub> toutes les activités répertoriées. Cela amènera dans la quatrième phase à la rédaction du plan d'actions, support de la stratégie bas carbone de l'entreprise. La dernière phase est la synthèse du processus.



Source : Association Bilan Carbone

## 5. ENGIE SOLUTIONS, UN ACTEUR DE LA DÉCARBONATION

Echange avec Raphaël Bouédo, Directeur du développement Industrie, région Grand Ouest, Engie Solutions

### Pouvez-vous nous présenter Engie Solutions ?

Engie Solutions est une filiale d'Engie, un des leaders mondiaux de la production d'énergie. Engie Solutions se positionne auprès des industriels dans la transition énergétique en prenant en compte les aspects digitalisation et industrie 4.0. Notre objectif est d'accompagner les industriels vers une industrie plus sobre, plus compétitive et respectueuse de l'environnement. Nous assistons donc nos clients sur des projets de décarbonation. Aller vers une économie neutre en carbone doit cependant être compatible avec une amélioration de la compétitivité des entreprises. Les aspects d'attractivité de nos villes, le confort des lieux de vie et de travail sont aussi pris en compte. Les enjeux que nous nous fixons se résument en trois axes : consommer moins de ressources, passer à l'énergie verte et réinventer les environnements de vie et de travail.

### Quelles entreprises accompagnez-vous en priorité ?

Les entreprises de plus de 250 salariés sont soumises à un audit réglementaire énergétique qu'elles doivent présenter régulièrement à la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement). Engie Solution intervient généralement avant cet audit réglementaire et accompagne ensuite les entreprises dans la mise en place du plan d'actions. Nous imaginons avec elles des solutions afin de réduire leur empreinte carbone. L'audit est ensuite réalisé par un organisme agréé comme l'AFNOR suivant le cahier des charges de la DREAL.

### Sur quel périmètre intervenez-vous ?

Nous intervenons sur les équipements et les bâtiments de l'entreprise. Les parcs véhicules sont aussi pris en compte. Nous permettons à nos clients

de définir une cartographie précise des énergies utilisées et de leurs consommations. Cela permet d'établir un plan de progrès. Les actions engagées doivent avoir un retour sur investissement entre 24 et 36 mois. Il y a deux axes de travail qui sont retenus : optimiser en essayant de consommer moins ou basculer sur une consommation d'énergie verte, le gaz vert ou l'électricité verte. Ces énergies coûtent certes plus cher mais engagent durablement l'entreprise sur une politique zéro carbone.

### Quelles actions préconisez-vous ?

Le plan d'actions est bien sûr fait en adéquation avec les équipements de l'entreprise. Nous pouvons leur proposer des actions de conception, de réalisation ou de maintenance des équipements. Ces actions sont axées sur l'amélioration de l'efficacité et la performance des bâtiments, des installations et des process en matière de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre, de productivité et de durée de vie. Lorsque cela est nécessaire, nous nous engageons sur la fourniture d'une énergie verte avec une continuité de service et un prix fixe sur plusieurs années. Ce prix est garanti par Engie via les études d'optimisation de process, notamment sur les parcs de chaudières.

### Pouvez-vous nous donner des exemples concrets ?

Par exemple, si l'entreprise utilise un équipement électrique dans son process, il y a la possibilité de le remplacer par un équipement pneumatique. Nous pouvons aussi préconiser de remplacer l'électricité par de l'électricité « verte » c'est-à-dire produite par une énergie renouvelable. Cela peut être une source photovoltaïque, de la cogénération, de l'utilisation de la biomasse. Engie solutions propose des solutions énergétiques sur-mesure incluant production, distribution, stockage et approvisionnement en énergie verte.

## Quels sont les financements possibles pour ce type de projet ?

Le plan France Relance, engagé en 2020, possède un pilier de 30 milliards d'euros pour la transition écologique. Il permet notamment de financer certains projets de décarbonation des sites industriels. L'ADEME propose aussi des aides financières sur des projets concernant la réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES), le développement des énergies renouvelables et de l'économie circulaire.



### L'audit réglementaire énergétique

L'audit réglementaire énergétique a été mis en place en 2015. Cet audit doit être réalisé par toutes les entreprises de plus de 250 salariés et doit être renouvelé tous les quatre ans. Les entreprises certifiées ISO 50001 sont exonérées de cette réglementation. Le résultat de cet examen permet aux entreprises auditées de définir leur stratégie d'efficacité énergétique pour l'ensemble de leurs activités. Il cible notamment le patrimoine bâti de l'entreprise et sa capacité de répondre aux exigences de plus en plus contraignantes en matière d'efficacité énergétique.

Lors de l'audit, les gisements d'économie sont identifiés et permettent de cibler les investissements nécessaires afin de réduire la consommation d'énergie. Plusieurs options se proposent à l'entreprise concernant ses bâtiments : vente, démolition, changement d'usage, projet d'optimisation énergétique...

Selon la réglementation, l'audit fournit :

- une analyse du système constructif ;
- une connaissance fine du bâti et de son fonctionnement ;
- une hiérarchisation des travaux à engager ;
- une articulation avec les travaux de mise aux normes ;
- un plan pluriannuel des travaux ;
- un calendrier de mise en œuvre.

Il est possible pour une entreprise de réaliser jusqu'à 30% d'économies et de dépasser 50% pour la part de la consommation liée au bâtiment (données du ministère de la transition écologique).

## 6. MICHELIN GRAVANCHES, UNE USINE À ZÉRO ÉMISSION DE CO<sub>2</sub>

Echange avec Sophie Lesage, Responsable environnement prévention, Site Michelin de Gravanches et Frédéric Trontin, Responsable technique, Site Michelin de Gravanches

« Demain, chez Michelin, tout sera durable. »



Le site industriel de Gravanches (63) de l'équipementier Michelin est spécialisé dans la fabrication de pneumatiques auto et moto à ultra hautes performances. Un projet est mené afin de devenir un site à zéro émission de carbone. Depuis 2019, il est le premier site du groupe à ne plus émettre de CO<sub>2</sub>.



### Comment est né ce projet ?

Le groupe mène une politique environnementale ambitieuse depuis de nombreuses années. Il s'est engagé à diminuer son empreinte environnementale jusqu'à obtenir une neutralité à horizon 2050 en considérant les enjeux tout au long du cycle de vie du produit. Il y a notamment un objectif fort de zéro émission de CO<sub>2</sub> pour les sites industriels. Le groupe suit un indicateur spécifique appelé MEF (Michelin environmental footprint) qui permet à chaque site de mesurer ses consommations de ressources, ses émissions dans l'air notamment de CO<sub>2</sub> et ses déchets. Ce projet s'inscrit donc bien dans la politique environnementale du groupe.

### Comment parvenez-vous à ne plus émettre de CO<sub>2</sub> ?

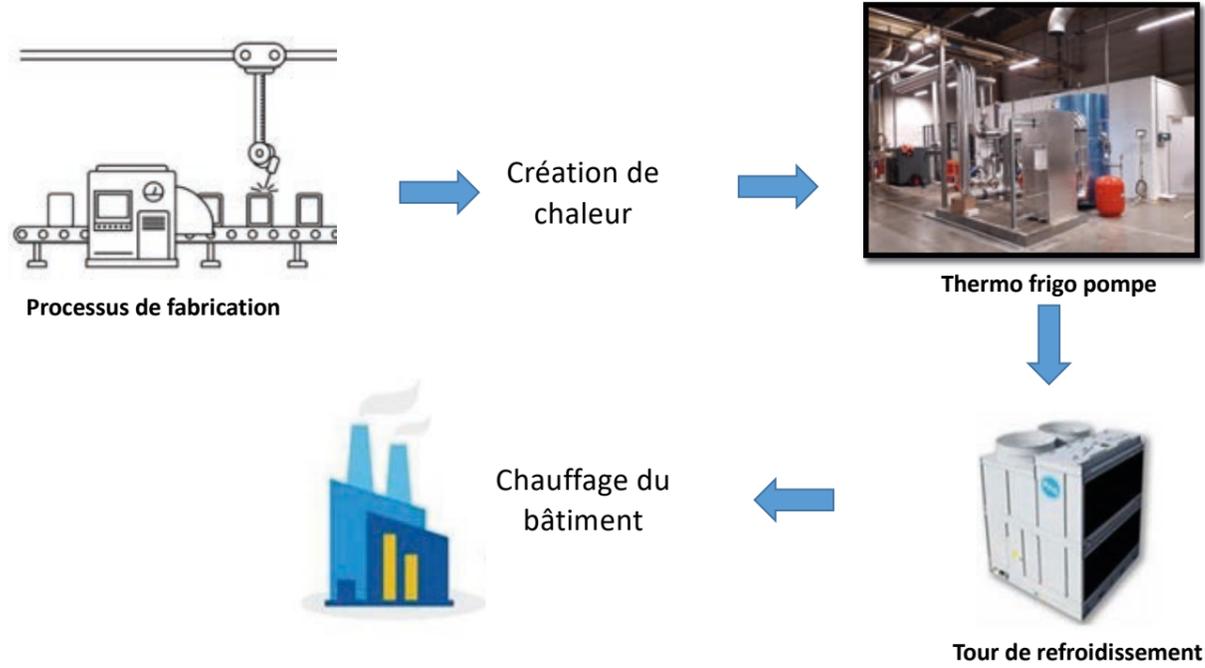
Le site dispose d'un procédé de fabrication 100% électrique. Nous avons réalisé une première action pour que cette énergie électrique soit verte, c'est-à-dire produite à partir de sources d'énergies renouvelables. Le gaz était utilisé exclusivement pour le chauffage des bâtiments. La consommation de CO<sub>2</sub> de l'usine était donc principalement due au chauffage des ateliers. Une chaudière au gaz

était jusqu'à présent utilisée. Le principe de ce projet est d'utiliser la chaleur générée par l'outil de production pour chauffer l'atelier. La chaleur émise par les équipements de production est réutilisée pour chauffer les locaux. Cela permet de passer la consommation annuelle de gaz de 600 tonnes à 6 tonnes.

### Le principe est-il bien d'utiliser la chaleur créée par les équipements de production ?

Effectivement, notre processus de fabrication est exothermique. Il dégage donc de la chaleur. Auparavant, cette chaleur n'était pas exploitée. L'installation d'une thermofrigopompe permet désormais de favoriser la réutilisation des calories existantes pour chauffer les locaux. Cette innovation a été possible car les équipements fonctionnent exclusivement à l'électricité.

Principe de chauffage de bâtiment via un équipement industriel



Quels sont les acteurs de ce projet ?

Le commanditaire était le Directeur du site de Gravanches. Une équipe a été montée pour suivre ce projet avec comme chef de projet l'animateur Progrès Energie Site. C'est la personne qui gère la transition écologique du site. ENGIE Cofely a aussi participé à ce projet en apportant son expertise technique. ENGIE est d'ailleurs toujours propriétaire de la thermofrigopompe installée.

Quel est le bilan du projet ?

Le projet dans sa globalité est un investissement de 600 k€. Cette installation innovante permet un gain de 600 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. C'est aussi une économie annuelle de 3500 m<sup>3</sup> d'eau. Au final, ce projet permet d'économiser 20 k€ par an pour le site. Avec cette nouvelle installation, l'usine devient un site avec un seuil neutre de production de carbone.

Quelles sont les perspectives pour le groupe Michelin ?

Ce projet a été possible sur Gravanches parce que le parc industriel fonctionne à l'électricité. Les presses électriques devront d'abord se généraliser. Les thermofrigopompe ont un potentiel évident dans la mise en place des objectifs environnementaux du groupe.

# 7. TRANSFORMER L'INDUSTRIE

## Une stratégie française

L'industrie française supprime des emplois depuis des décennies, plus de 200 000 emplois supprimés depuis 2010. Cependant, depuis 2017, des signes de réindustrialisation sont à noter. Le solde entre les fermetures et les ouvertures d'usines redevient positif. Dans ce contexte, la France s'est fixée comme objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050 avec un objectif intermédiaire en 2030. Ce plan dévoilé en 2015 a été baptisée « Stratégie nationale bas carbone ». La place de l'industrie dans ce plan

est un sujet à risque. C'est une source d'opportunités en créant de la valeur via des innovations, mais c'est aussi de potentiels fermetures de sites jugés trop pollués et dont la mise en conformité serait trop coûteuse. Différentes réflexions sont menées sur le sujet. Ci-dessous, une liste de recommandations présentée au Conseil Général de l'économie en février 2021 concernant la décarbonation des entreprises.

Recommandations pour la décarbonation des entreprises françaises  
Conseil général de l'économie, février 2021

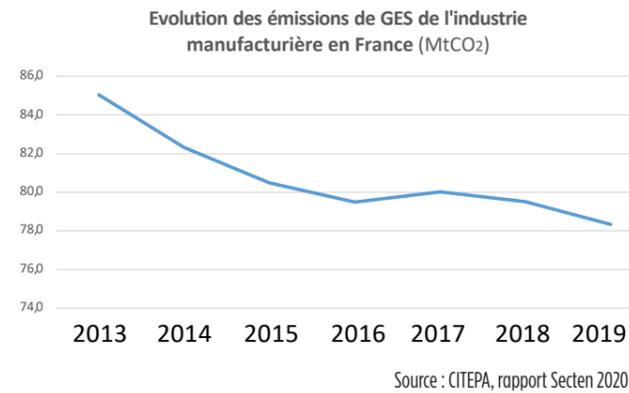
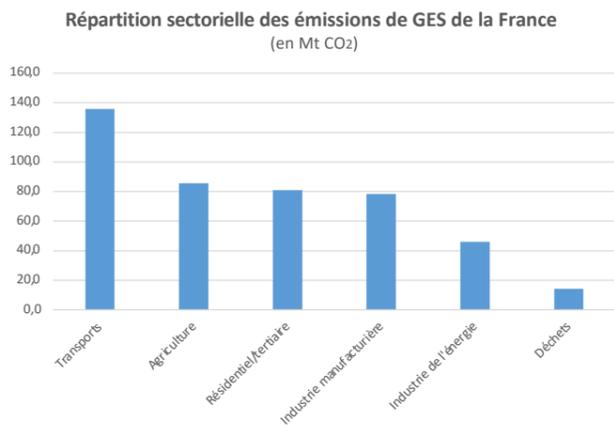
Recommandation n°1	Les financements publics dédiés à la décarbonation doivent être priorités sur les technologies dont le ratio « coût/émissions de CO <sub>2</sub> évitées » est le plus faible et sur celles dont le potentiel de réduction d'émissions de GES est le plus élevé.
Recommandation n°2	Cibler les programmes de soutien à l'innovation et la R&D selon la maturité des technologies de décarbonation des entreprises, notamment dans le cadre des futurs AAP de « France Relance ». La communication sur les résultats technico-économiques des projets doit être améliorée.
Recommandation n°3	Mettre à jour une feuille de route de déploiement des infrastructures de logistique et de stockage de l'hydrogène, afin de donner une lisibilité aux industriels et aux pouvoirs publics pour les futurs accès aux ressources d'H <sub>2</sub> , compte-tenu de la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France. Créer les conditions pour élaborer une feuille de route similaire pour les infrastructures de logistique et de stockage de CO <sub>2</sub> notamment en identifiant des stockages souterrains possibles sur le territoire national, y compris maritime.
Recommandation n°4	Expérimenter un fonds de co-Investissement de décarbonation industrielle doté dans un premier temps de 200 M€ de financements publics en capital et dette afin de faciliter la réalisation de tours de table pour certains projets industriels sobres énergétiquement mais risqués, ce qui est souvent le point de blocage pour les financeurs privés. Ainsi un plus grand nombre de projets industriels sobres énergétiquement pourront se réaliser plus rapidement en France.
Recommandation n°5	Mettre en place des dispositifs d'aides incitatives en faveur des projets industriels favorables à la décarbonation des entreprises, en complément aux mesures de soutien qui sont mises en œuvre dans le cadre du Plan de relance : (1) un crédit d'impôt pour inciter les PME à passer de la R&D à une production plus décarbonée, ou à une fabrication de produits moins carbonés (2) la préfiguration d'une agence d'innovation de rupture civile pour les transitions numérique et environnementale.
Recommandation n°6	Dans le cadre des négociations avec nos partenaires européens, afin de mettre en place un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) de l'UE, profiter de la présidence française pour accroître la robustesse des évaluations ACV, par exemple par labellisation.
Recommandation n°7	La preuve par l'exemple est un élément important pour vaincre les réticences des acteurs. Il est donc proposé d'assurer à cette fin un suivi des actions de Bpifrance et de l'ADEME pour décarboner les PME.
Recommandation n°8	Favoriser l'usage de matériaux décarbonés dans la commande public (bois, nouvelles technologies d'aciers et bétons...), notamment en mettant en place de nouveaux cahiers des charges d'appels d'offres et en fixant des critères de choix adaptés.

## L'industrie productrice de CO<sub>2</sub>

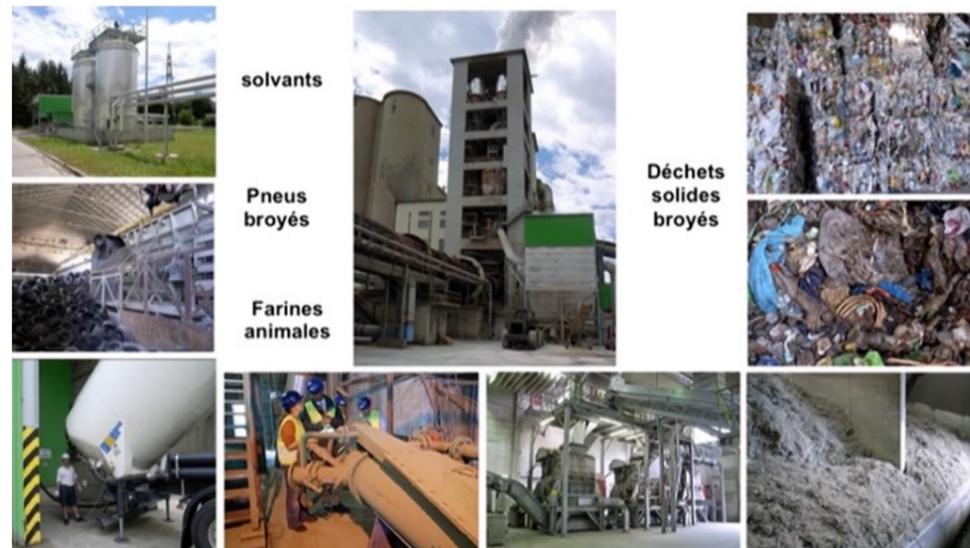
L'industrie n'apparaît pas toujours comme un enjeu dans la décarbonation du pays. Produisant moins de CO<sub>2</sub> que le transport ou l'agriculture, elle a souvent été négligée dans les politiques de réduction de GES. Deux phénomènes peuvent expliquer ce désintérêt. Premièrement, pour de nombreux décideurs, décarboner l'industrie mettrait en danger sa compétitivité et donc pourrait entraîner des suppressions d'emplois. Deuxièmement, l'industrie est moins visible dans les médias que d'autres sources de GES comme le transport ou le logement.

L'industrie n'est pas une entité homogène en termes de production de GES : l'industrie lourde (cimenteries, aciéries...) est un gros

producteur comparé à de nombreuses industries manufacturières. L'énergie nécessaire à la transformation de matière première naturelle (ex. le sable, le calcaire et le carbonate de sodium pour une verrerie) est considérable. Leurs fonctionnements dans les décennies passées étaient basés sur une consommation de gaz, de carbone ou de pétrole. Cette industrie lourde concentre plus des trois quarts des émissions et leurs usines doivent donc être considérées comme prioritaires dans les actions menées. Cependant, les infrastructures pour ce type d'usine sont conséquentes et nécessitent des investissements lourds qui sont amortis sur de très longues périodes. Leur transformation en une structure éco responsable est donc difficile. Une des pistes privilégiées pour ces industries lourdes est l'utilisation de matières recyclées comme source d'énergie.



Exemple de la cimenterie Lafarge de Retzei en Autriche qui utilise différents produits recyclés pour la constitution de son fuel mix



La DGEC (Direction Générale de l'Énergie et du Climat) a examiné les principales filières d'industries lourdes afin de déterminer pour chacune d'entre elles les principales pistes de décarbonation. Ces filières représentent à elles seules environ 80% des émissions industrielles françaises. Les solutions

proposées sont diverses et font souvent appel à des technologies encore en développement comme l'utilisation de cuves à anode inerte dans l'industrie de l'aluminium. L'utilisation en masse d'énergie alternative comme la biomasse reste encore un défi à résoudre.

FILIERES	Axes de décarbonation indiqués dans les projets de feuilles de route proposés par les industriels dans le cadre de leur Comité stratégique de filière du Conseil National de l'Industrie (CNI)
Chimie	Amélioration de l'efficacité énergétique Remplacement de sources de chaleur fossile par des CSR et de la biomasse Réduction des émissions de N <sub>2</sub> O et HFC
Papier Carton	Amélioration de l'efficacité énergétique Remplacement de sources de chaleur fossile par de la biomasse
Agroalimentaire	Réduction des émissions de gaz fluorés Décarbonation des combustibles via l'électrification, la méthanisation des effluents et résidus et utilisation de biomasse Amélioration de l'efficacité énergétique
Acier	Augmentation du taux de recyclage de la ferraille Recirculation des gaz de haut fourneau pour diminuer la quantité de coke en complément du CCS Génération d'éthanol ou de plastique à partir des gaz de haut-fourneau recyclés CCS (Off-shore à Dunkerque) Remplacement du charbon fossile par de la biomasse ou des déchets A plus long terme, réduction du minerai par électrolyse ou avec de l'hydrogène
Aluminium	Augmentation recyclage Innovation de rupture : anode inerte
Ciment	Diminution de la teneur en clinker dans le ciment Utilisation de chaleur CSR et biomasse Efficacité énergétique Développement de ciments alternatifs (selon disponibilité en approvisionnement en nouvelles matières) CCUS (captation de CO <sub>2</sub> )
Verre	Efficacité énergétique (mais faible potentiel identifié) Intégration de calcin Décarbonation de la chaleur (biogaz et électrification) CCUS (captation de CO <sub>2</sub> )

Source : DGEC, juin 2020

## 8. ECM REMPLACE LES FOURS INDUSTRIELS TRADITIONNELS

Echange avec Florian Giraudet, Marketing & Communication, ECM Technologies

Une des sources de décarbonation de l'industrie est l'électrification d'équipements traditionnels, très consommateurs de gaz, par des équipements électriques plus performant et moins énergivores. Le groupe ECM Technologies, basé à Grenoble, est un constructeur de fours industriels créé en 1928. Leader mondial dans son domaine, il propose des solutions et des services de traitements thermiques industriels à forte valeur ajoutée.

### Quel est le positionnement d'ECM ?

Le groupe ECM Technologies propose toute une gamme de fours constituant une base de référence de plusieurs milliers d'unités dans le monde. Nous développons et installons pour nos clients des fours de cémentation, fours sous vide, fours de fusion et induction, fours spéciaux... On retrouve les fours d'ECM dans tous les secteurs de l'industrie comme par exemple l'automobile, l'aéronautique, l'électronique.

### Quel est le rôle d'ECM dans la décarbonation de l'industrie ?

La production de chaleur dans les équipements industriels provient principalement de gaz qui en se consommant produisent du CO<sub>2</sub>. Au-delà de 1100°C, ces fours traditionnels peuvent être remplacés par des fours électriques, alimentés par une électricité verte. Les fours traditionnels ont une longue durée de vie. C'est donc un investissement conséquent pour l'industriel qui doit aussi s'assurer que l'infrastructure électrique puisse acheminer jusqu'au four une forte puissance. Les fours électriques permettent

par la suite un rendement très supérieur aux fours à gaz traditionnels mais ils coûtent plus cher en approvisionnement électrique. Pour que les fours électriques puissent se développer rapidement, les industriels doivent disposer d'un prix compétitif sur une très longue période. Toutefois, pour certaines entreprises, la hausse programmée du carbone couplée aux aides financières possibles font que cet investissement devient réalisable.



Four électrique ICBP ECO  
Source : ECM Technologies

# 5

## PRÉSERVER L'ENVIRONNEMENT