



## **CAPTAGE du CO<sub>2</sub> .**

Quel rôle pour la finance dans le développement des solutions de capture carbone ?



# SOMMAIRE

Introduction	4
Quelles sont les technologies de captation carbone et quel rôle jouent-elles dans les stratégies de décarbonation ?	8
Solutions technologiques existantes	9
Entretien avec Thomas Berly : « Quels sont les principaux enjeux technico-économiques dans la filière CCUS aujourd'hui ? »	15
Potentiel et applications industrielles	18
Réponse aux enjeux climatiques, limites et risques physiques et environnementaux	23
Opportunités et risques liés au financement de projets de captation carbone	27
Les besoins et opportunités de financement pour les technologies CCUS	28
Les modes de financement des projets CCUS	35
Contraintes et limites liées à la rentabilité de ces projets	36
Pour conclure	39
Annexes	41

## LEXIQUE

**BECCS - Bio-Energy with Carbon Capture and Storage.** Capture carbone grâce aux végétaux puis stockage du CO<sub>2</sub> suite à leur incinération pour la production d'énergie.

**CCS - Carbon Capture and Storage.** En français : CSC - Capture et Stockage de Carbone.

**CCU - Carbon Capture and Utilization.** En français : CUC - Captage et Utilisation du CO<sub>2</sub>.

**CCUS - Carbon Capture, Utilization and Storage.** En français : CUSC - Capture, Utilisation et Stockage de Carbone.

**DAC - Direct Air Capture.** En français : Capture Directe de CO<sub>2</sub> dans l'Air. Capture carbone directement depuis l'atmosphère par aspiration et filtration, puis stockage du CO<sub>2</sub>.

**ETS - Emission Trading Scheme.** En français : système d'échanges de quotas d'émissions.

**GES** : Gaz à Effet de Serre.



# INTRODUCTION

“Finalement, le rôle de la capture et du stockage du carbone dans la transition énergétique doit être expliqué : un outil pour décarboner massivement, rapidement et à moindre coût, l’objectif final étant une consommation d’énergie sans fossile, ce que la production d’électricité et d’hydrogène renouvelables promettent à terme”

*Un nouvel élan pour le captage, stockage et utilisation du carbone (CCUS) en Europe, Ifri*

## INTRODUCTION

### LES ENJEUX CLIMATIQUES

Le 6e rapport du GIEC "Climate Change 2021 : The Physical Science Basis" rappelle que les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), issues principalement de la combustion de ressources fossiles et de l'agriculture intensive, renforcent l'effet de serre naturel qui permet la vie sur Terre. Seul un écart de 5°C de température moyenne à la surface de la Terre sépare le climat que nous connaissons actuellement de la dernière ère glaciaire il y a environ 20 000 ans. Durant cette période, toute l'Europe du Nord, de la Grande Bretagne à la Sibérie, était recouverte d'une calotte glaciaire et le niveau des océans était plus bas de 120 mètres. Aujourd'hui, le 6ème rapport du GIEC souligne que depuis l'époque préindustrielle il y a 200 ans, la température moyenne de la Terre a augmenté de 1,2°C, et selon les scénarios socio-économiques, nous nous dirigeons vers une augmentation de 1,5°C à 4,5°C en 2100 par rapport à l'époque pré-industrielle.

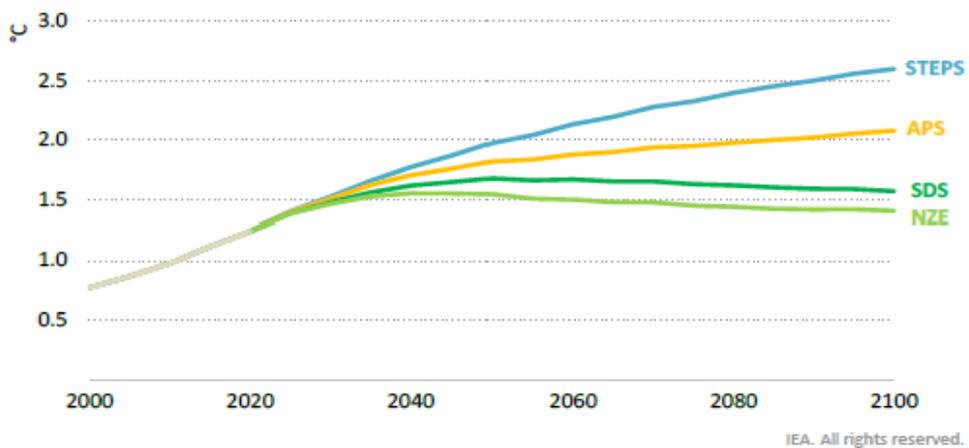
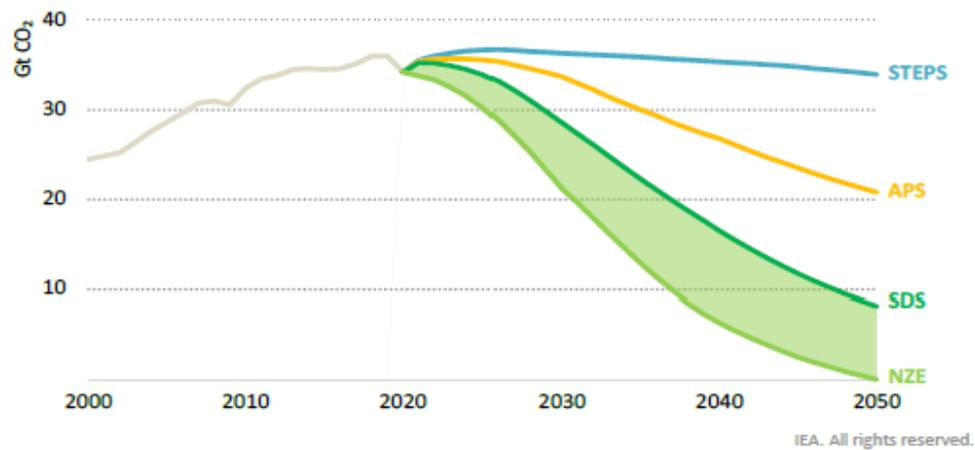
Les conséquences d'un changement dont la rapidité et l'importance n'ont jamais été observées à l'échelle de la Terre peuvent être dévastatrices pour les différents écosystèmes ainsi que pour la population humaine. Parmi ces conséquences, on peut citer entre autres :

- La perturbation du cycle de l'eau qui rendra certaines régions encore plus sèches ou arides qu'actuellement (le stress hydrique ayant un impact direct sur l'eau potable et l'agriculture), et renforcera les pluies et les catastrophes naturelles dans les régions humides. Ce phénomène déjà observé en Europe en 2021 où les crues et les glissements de terrains ont été de plus en plus intenses et fréquents.
- L'augmentation du niveau de la mer augmentera les risques de submersion dans les zones côtières.
- La fonte des glaciers augmentera les tensions liées à l'approvisionnement en eau douce.
- Les phénomènes historiquement centenaires comme les fortes canicules ou vagues de sécheresse seront de plus en plus fréquents et de plus en plus intenses.
- Certaines régions actuellement densément peuplées deviendront inhabitables notamment à cause des fortes chaleurs, de la montée des eaux ou autres, causant ainsi des mouvements massifs de population.

Si certaines conséquences du réchauffement climatique se font déjà sentir, la plupart peuvent encore être atténuées ou évitées grâce à une action conséquente des Etats, individus et entreprises dans les prochaines années pour contenir la hausse des températures moyennes bien en deçà de 2°C, et poursuivre les efforts pour limiter la hausse à 1,5°C. C'est l'ambition que se sont fixés les Etats avec l'Accord de Paris de 2015, renouvelés lors de la dernière COP à Glasgow en 2021.

## LES TRAJECTOIRES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES

Dans son rapport World Energy Outlook 2021, l'AIE (Agence Internationale de l'Énergie) a publié différents scénarios d'émissions liées à l'énergie et l'industrie ayant chacun des impacts différents sur le climat.



### Scénarios d'émissions de l'AIE

**STEPS** (Stated Policies Scenario) : trajectoire actuelle,

**APS** (Announced Pledge Scenario) : trajectoire avec prise en compte des engagements des différents pays,

**SDS** (Sustainable Development Scenario) : trajectoire respectant l'Accord de Paris (limitation du réchauffement en dessous de 2°C),

**NZE** (Net Zero Emissions) : Neutralité carbone mondiale en 2050 (limitation du réchauffement à 1,5°C).

Source : AIE 2021

Nous pouvons constater que la trajectoire actuelle est assez éloignée des engagements des Etats, et qu'il est nécessaire d'accélérer la transition énergétique pour a minima limiter le réchauffement climatique à 2°C. L'énergie et l'industrie sont les principaux émetteurs de CO<sub>2</sub> et représentent environ 63% des émissions mondiales de GES.

## Comment respecter les objectifs climatiques fixés par l'accord de Paris ?

La première priorité est de réduire drastiquement les émissions de GES. Cette réduction mondiale se décline par des réductions à l'échelle nationale et territoriale, mais aussi à l'échelle de chaque entreprise et individu. Pour cela, plusieurs leviers existent :

- réduire la demande énergétique et matérielle en réduisant le gaspillage et en changeant les habitudes de consommation ou de déplacement,
- augmenter l'efficacité énergétique des systèmes de production ou des bâtiments,
- développer des énergies et des moyens de production bas-carbone.

Chaque secteur d'activité a à sa disposition un ensemble de leviers à activer pour réduire ses émissions. Des trajectoires sectorielles comme les SBT (Science Based Targets) issues notamment des scénarios de l'AIE ont été développées pour détailler par secteur économique l'ambition à avoir pour respecter l'Accord de Paris.

En parallèle d'une réduction des émissions, des puits de carbone sont également à développer et à préserver pour absorber les émissions incompressibles. Il existe déjà des puits de carbone dans la nature :

- la biosphère<sup>1</sup> via la photosynthèse qui permet son absorption par les végétaux,
- les océans avec la dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau.

Les quantités de CO<sub>2</sub> captées par les végétaux sont fonction de la quantité du type de végétal et des conditions de croissance avec notamment le climat, la pluviométrie. Mais les surfaces de forêts sont limitées et certaines zones comme l'Amazonie sont fortement dégradées, ce qui réduit le potentiel de captation de CO<sub>2</sub>. A noter que la déforestation est un autre facteur important des émissions de GES, car les forêts sont généralement brûlées pour être transformées en terrains agricoles. Les océans, eux, continuent à absorber une partie du CO<sub>2</sub> émis, mais cela a pour effet d'acidifier l'eau, ce qui a comme conséquence la fragilisation de certains écosystèmes. Cela entraîne des problèmes de croissance chez certains planctons, qui sont à la base de plusieurs chaînes alimentaires dont les Hommes font partie. Le potentiel d'absorption des végétaux et des océans ayant ses limites, le surplus de CO<sub>2</sub> s'accumule dans l'atmosphère, provoquant l'augmentation incontrôlée de l'effet de serre que nous connaissons.

<sup>1</sup> Ensemble des organismes vivants qui se développent sur la Terre.

L'augmentation des puits de carbone, notamment par l'afforestation<sup>1</sup>, est un enjeu majeur pour absorber les émissions que nous n'arriverons pas à éliminer complètement. Il existe également des solutions technologiques pour à la fois réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de certaines sources fortement émettrices, et créer des puits de carbone supplémentaires. Il s'agit des solutions CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage), ou Capture, Utilisation et Stockage de Carbone en français.

Nous verrons à travers ce livre blanc que ces technologies ont un véritable rôle à jouer dans la réduction des émissions de GES, mais qu'il existe un certain nombre de contraintes quant à leur déploiement à grande échelle. Par exemple, elles ne peuvent pas être appliquées à tous les secteurs, certaines briques technologiques ne sont aujourd'hui pas totalement matures et il existe certaines limites et risques physiques, sociaux et économiques... Cependant ces technologies peuvent contribuer à la décarbonation de certaines industries et offrent des opportunités pour accélérer la transition énergétique, parfois à moindre coût. Au total, la technologie du CCUS pourrait permettre d'éviter l'émission d'environ 7 GT de CO<sub>2</sub> d'ici 2070, selon l'AIE, soit 20% de l'effort nécessaire dans les domaines de la production d'énergie et de l'industrie.



<sup>1</sup> Plantation par l'homme d'arbres dans le but de repeupler une surface longtemps restée déboisée, ou n'ayant jamais été connue comme telle



QUELLES SONT LES  
TECHNOLOGIES DE  
CAPTATION CARBONE  
ET QUEL RÔLE JOUENT-ELLES  
DANS LES STRATÉGIES DE  
DÉCARBONATION ?

## QUELLES SONT LES TECHNOLOGIES DE CAPTATION CARBONE ET QUEL RÔLE JOUENT-ELLES DANS LES STRATÉGIES DE DÉCARBONATION ?

### SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES EXISTANTES

Il existe plusieurs solutions pour capturer le CO<sub>2</sub> puis soit le stocker dans le sol, soit le réutiliser en tant que matière première pour différentes applications au lieu de le relâcher directement dans l'atmosphère.

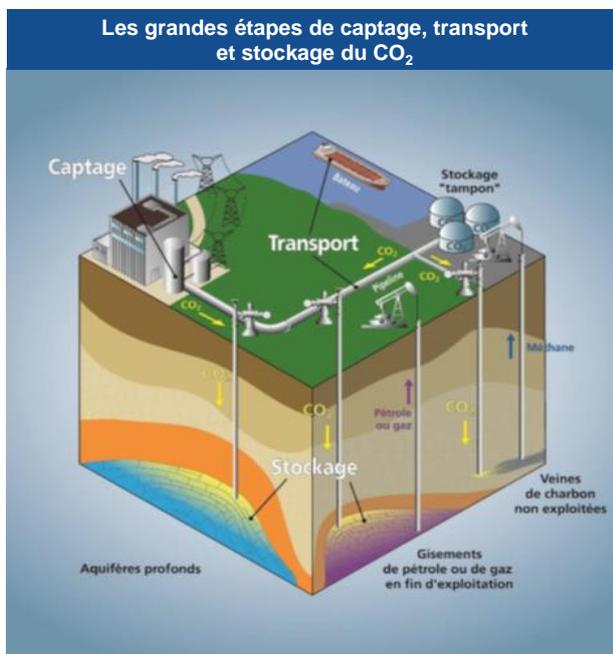
Ces solutions de captation dépendent également de la source du CO<sub>2</sub>. Il en existe trois :

- Le CO<sub>2</sub> fossile qui est issu de la combustion de ressources fossiles (notamment charbon et gaz), l'application et l'efficacité dépendent du type d'émissions industrielles et de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées.
- Le CO<sub>2</sub> biogénique qui est issu de la biomasse (incinération de végétaux), l'application et l'efficacité dépendent du procédé de transformation de la biomasse et de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées.
- Le CO<sub>2</sub> atmosphérique qui est le gaz présent dans l'atmosphère. Il joue un rôle primordial dans le cycle carbone sur la planète.

### Description globale des techniques utilisées

#### Carbon Capture and Storage (CCS)

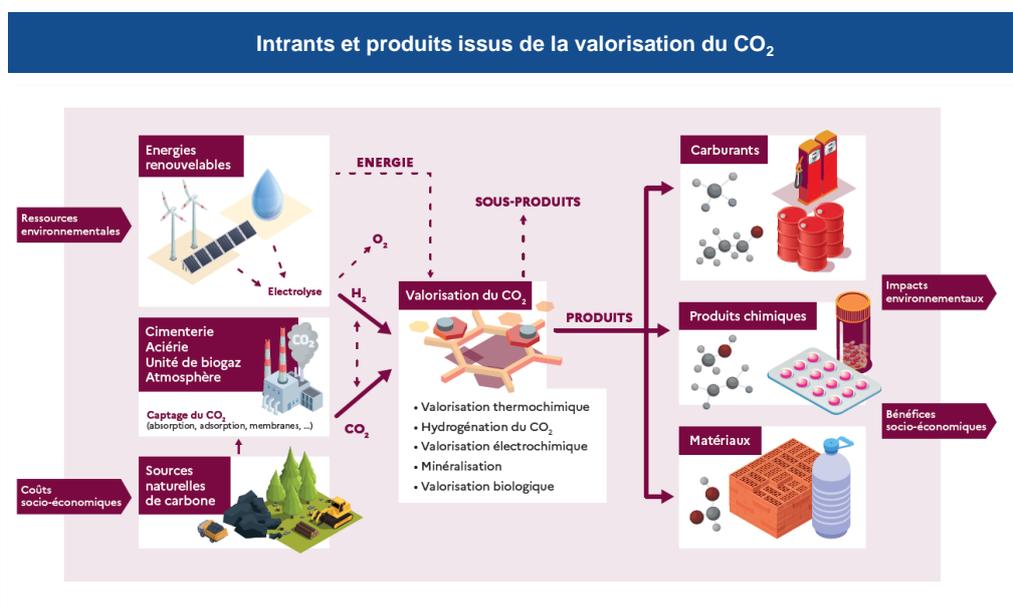
La méthode CCS, en français : Capture et Stockage de Carbone (CSC), consiste à capturer le CO<sub>2</sub> issu des fumées d'usines (centrales de production d'énergie, cimenterie,...) ou directement dans l'air et l'injecter dans des réservoirs géologiques afin d'éviter qu'il ne soit relâché dans l'atmosphère. Ce processus se compose de 3 grandes étapes : le captage de CO<sub>2</sub>, son transport puis le stockage géologique.



Source : BRGM

## Carbon Capture and Utilization (CCU)

Le CCU, en français : Captage et Utilisation du CO<sub>2</sub> (CUC), est une méthode de valorisation du CO<sub>2</sub>. Celui-ci est capté soit à partir d'une source industrielle, soit une source utilisant de la biomasse, ou encore directement dans l'air. Il est ensuite transformé, puis utilisé en tant que matière première pour la production de carburants, produits chimiques ou matériaux, ou dans divers procédés : utilisation dans les serres pour l'agriculture, industrie agroalimentaire, procédés industriels, traitement de l'eau ...



Source : ADEME (2021), SAPEA (2018)

## Avancement technologique sur les différentes phases de la capture carbone

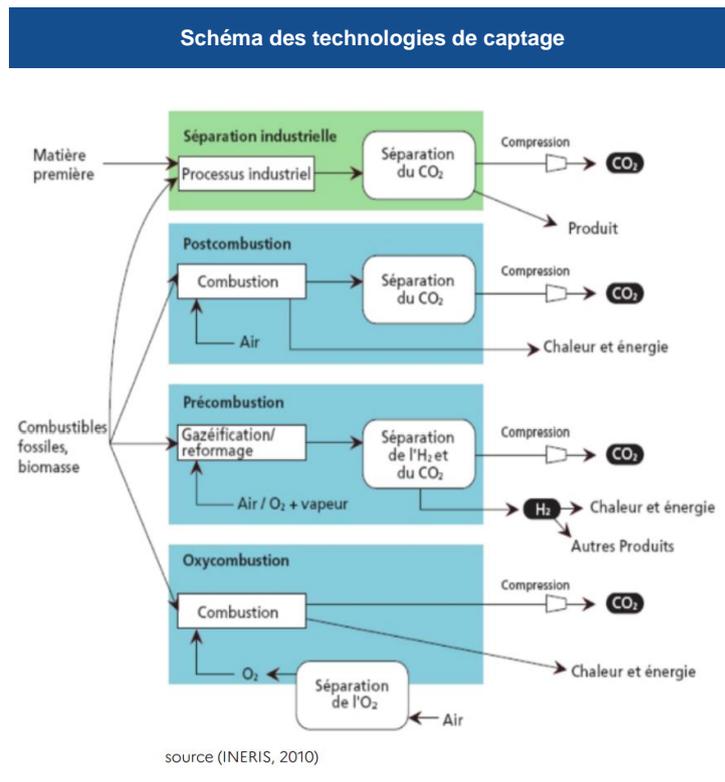
### Captage du CO<sub>2</sub>

Différentes technologies existent pour capturer le CO<sub>2</sub> à partir des fumées en sortie d'usines. L'absorption chimique par des solvants aminés est la méthode la plus répandue et la plus mature. D'autres méthodes sont en cours de développement :

- séparation physique du CO<sub>2</sub> de l'air (absorption, séparation cryogénique, déshydratation ou compression),
- séparation suite à l'oxycombustion<sup>1</sup> dans le processus de production (extraction du CO<sub>2</sub> via une déshydratation du mélange CO<sub>2</sub> plus vapeur d'eau),
- séparation grâce à une membrane ne laissant passer que le CO<sub>2</sub> (ex : polymères ou autres matériaux non-organiques), carbonatation<sup>2</sup>.

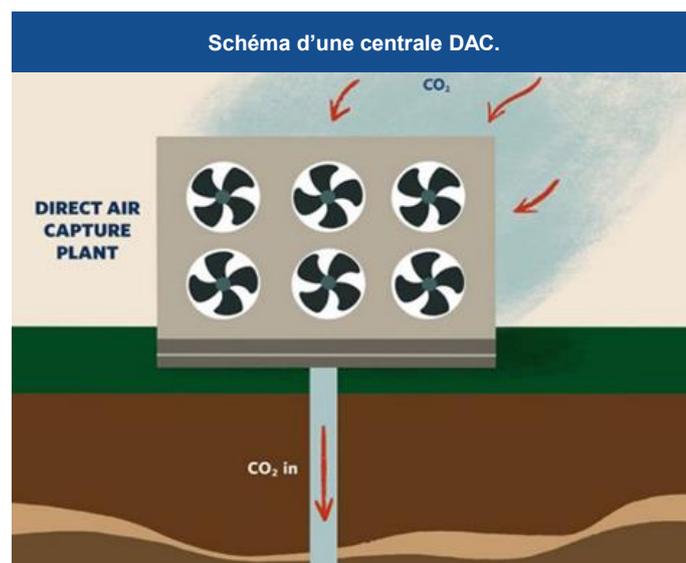
<sup>1</sup> Procédé de combustion pour la production d'énergie, dans lequel on utilise comme comburant, à la place de l'air, de l'oxygène pur.

<sup>2</sup> La carbonatation minérale (ou stockage minéral inerte) est une des voies de stockage du CO<sub>2</sub> sous une forme minérale qui réagit peu ou pas avec l'atmosphère.



Source : INERIS, 2010

Lorsque le CO<sub>2</sub> est capté directement dans l'air, on parle de Direct Air Capture (DAC). Le principe est de directement aspirer l'air de l'atmosphère et de capter le CO<sub>2</sub> grâce à un filtre sous forme liquide ou solide.



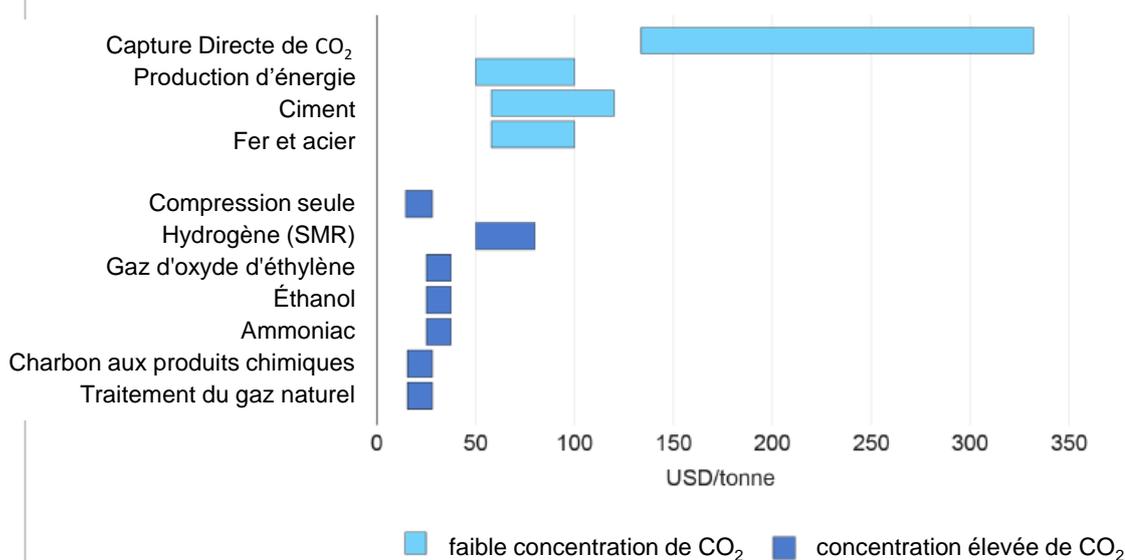
Source : nature.org

Cette méthode est plus énergivore que d'autres méthodes de capture car le CO<sub>2</sub> est présent dans l'atmosphère une concentration actuellement trop faible pour permettre aux technologies actuelles de le capter de manière efficace. En effet, une unité de DAC avec un taux de capture de 100% devrait traiter 1,25 millions de mètres cubes d'air pour capturer une tonne de CO<sub>2</sub>.

Le coût de la capture de CO<sub>2</sub> est fortement variable selon la technologie utilisée ainsi que la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, dans certaines applications, la forte concentration de CO<sub>2</sub> rend la capture carbone intéressante d'un point de vue financier à partir de quelques dizaines de dollars à la tonne de CO<sub>2</sub>.

Cependant, lorsque la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air capté est faible, les coûts de fonctionnement peuvent être élevés car il est nécessaire d'utiliser beaucoup plus d'énergie. C'est le cas notamment de la DAC ou dans une moindre mesure de la production d'électricité au gaz.

Coût minimal de capture carbone par secteur et concentration de CO<sub>2</sub>, 2019



Source : AIE

Ces technologies peuvent généralement capturer environ 85 à 90% du CO<sub>2</sub> produit lorsque la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air capté est élevée. Selon l'AIE, dans certains cas, l'efficacité de ce type de procédé peut aller jusqu'à 98 ou 99 % du CO<sub>2</sub> produit capté avec un surcoût inférieur ou égal à 10 %<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Source : CCUS in clean energy transition, AIE, 2020

## Transport de CO<sub>2</sub>

Une fois capturé, le transport de CO<sub>2</sub> peut se faire par canalisation ou par bateau pour des transports longue-distance, et par train ou par camion pour des transports courte-distance.

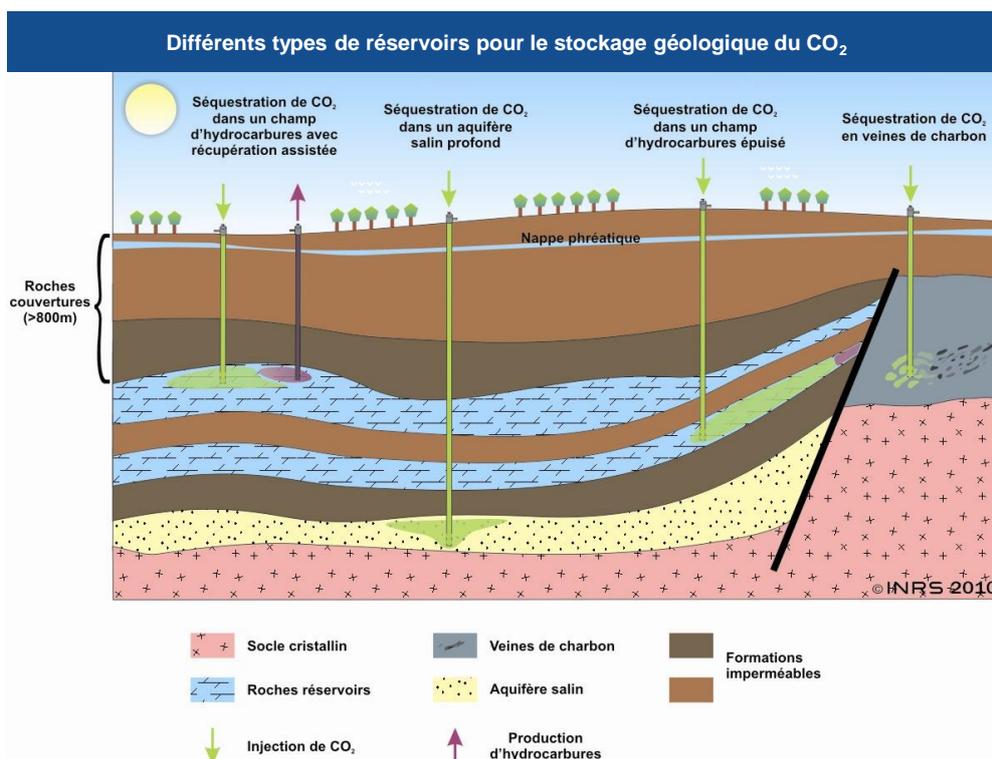
Le transport par canalisation se fait grâce à des réseaux de gazoducs, en laissant le CO<sub>2</sub> à l'état de gaz ou sous des fortes pressions. Ce moyen de transport est déjà utilisé depuis plusieurs années. Ce n'est pas le cas du transport maritime du CO<sub>2</sub>, qui est à un stade de développement moins avancé, même si l'utilisation de méthaniers pourrait potentiellement être envisageable.

Le continent nord-américain compte actuellement plus de 8 000 km de canalisations CO<sub>2</sub> transportant plus de 70 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an, principalement aux Etats Unis, ce qui favorise le déploiement des technologies de stockage et d'utilisation dans les régions desservies par ce réseau. Selon le CCS Institute, il faut atteindre au minimum 0,25 million de tonnes de CO<sub>2</sub> par an en état gazeux pour bénéficier d'économies d'échelle dans la construction du réseau.

A titre de comparaison, en France, un site classé ETS, c'est-à-dire un site soumis au marché européen ETS, Emission Trading Scheme, ou système d'échanges de quotas d'émissions, émet en moyenne 0,1 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an<sup>1</sup>. Il faudrait donc que la canalisation puisse desservir au moins 3 sites pour du transport de CO<sub>2</sub> état gazeux, ou au moins 10 sites pour du transport de CO<sub>2</sub> en état dense.

## Stockage géologique

Le CO<sub>2</sub> peut être injecté dans des zones géologiques favorables, par exemple des anciens réservoirs déplétés<sup>2</sup> d'hydrocarbures, des veines de charbon ou des aquifères salins<sup>3</sup>, qui peuvent se trouver onshore (sur terre) ou offshore (en mer).

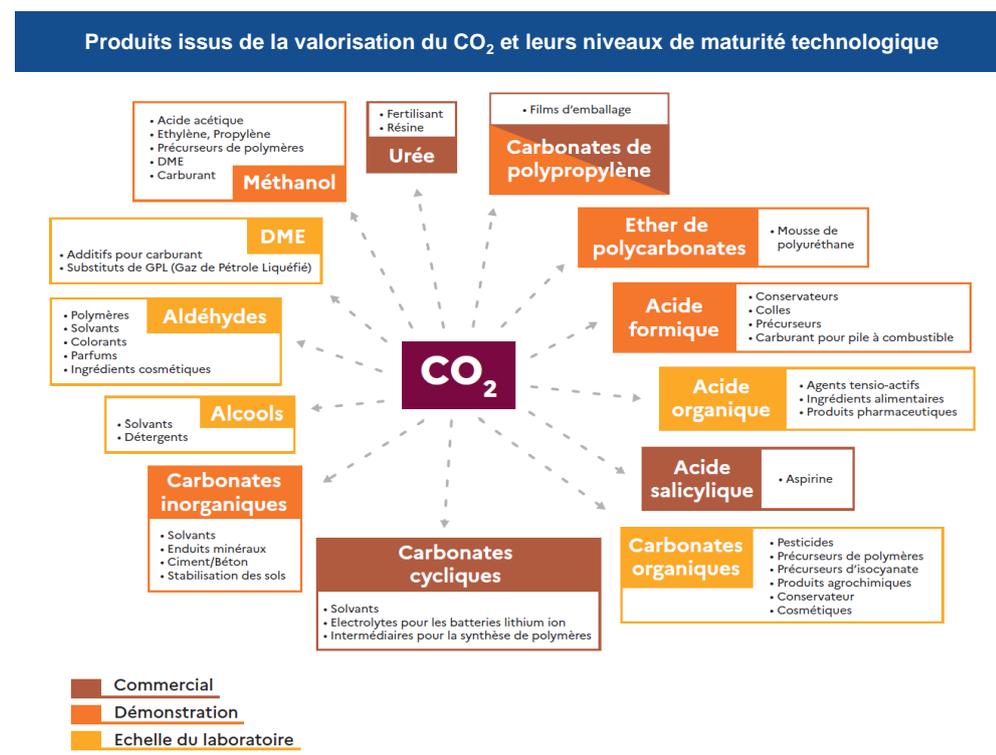


Le CO<sub>2</sub> est d'abord injecté dans les pores de la roche réservoir et une petite partie reste piégée dans ces pores. Le reste remonte à la surface de la roche réservoir (mais reste sous le sol grâce à des formations imperméables) et se dissout petit à petit dans l'eau salée présente à l'origine dans le réservoir. Au cours du temps, cette eau circule dans les pores de la roche réservoir et le CO<sub>2</sub> se transforme progressivement en forme minérale à travers des réactions chimiques avec la roche. La minéralisation du CO<sub>2</sub> se fait progressivement sur plusieurs centaines voire milliers d'années.

Afin de stocker le CO<sub>2</sub> sur le long terme, certaines conditions géologiques doivent être atteintes, ce qui rend cette technique possible seulement dans certaines régions du monde, et à un coût plus ou moins élevé selon la formation géologique. Cependant les coûts liés au stockage représentent souvent une partie mineure du coût total de la séquestration. Selon l'AIE, la majorité des capacités de stockage on-shore aux Etats-Unis peuvent être exploitées à moins de 10 \$ par tonne de CO<sub>2</sub>, et moins de 35 \$ par tonne en off-shore (avec un coût maximal à 55 \$ / tonne dans les deux cas).

### Utilisation

Le CO<sub>2</sub> capturé peut aussi être utilisé en tant que matière première ou intervenir dans différents procédés industriels. Selon l'AIE, environ 230 millions de tonnes par an de CO<sub>2</sub> sont consommées aujourd'hui, l'industrie des engrais étant le premier consommateur avec 125 millions de tonnes par an pour la production d'urée, suivi de la récupération assistée du pétrole (70 à 80 millions de tonnes par an), puis d'autres industries comme l'agroalimentaire. De nouvelles technologies émergent même si elles sont à des stades plus moins avancés de recherche et développement. Dans le secteur de l'énergie, le CO<sub>2</sub> peut être utilisé pour synthétiser des combustibles comme le méthane ou le méthanol, dans le secteur de la chimie, il est utilisé pour la production de polymères et autres produits chimiques primaires. Dans le secteur de la construction, il peut être utilisé comme matière première pour produire du béton par carbonatation accélérée du béton recyclé.





ENTRETIEN AVEC  
THOMAS BERLY :  
« QUELS SONT LES PRINCIPAUX  
ENJEUX TECHNICO-  
ÉCONOMIQUES DANS LA  
FILIÈRE CCUS AUJOURD'HUI ? »



*Thomas Berly,  
Consultant  
indépendant ABT  
Consulting, 13 ans  
d'expertise sur le  
sujet des CCUS et  
parcours dans de  
grandes entreprises  
et institutions,  
notamment l'AIE,  
Total Energies et  
Veolia*

## ENTRETIEN AVEC THOMAS BERLY

### Quels sont les principaux enjeux technico-économiques dans la filière CCUS aujourd'hui ?

#### Les enjeux du captage : des technologies matures mais encore très coûteuses.

Les technologies de première génération par absorption du CO<sub>2</sub> par des amines sont largement matures : elles sont utilisées depuis une cinquantaine d'années dans l'industrie pétrolière en particulier. Le captage représentant environ jusqu'à 70 % des coûts des CCUS suivant les projets, l'enjeu principal est sur la réduction de ces coûts via plusieurs leviers :

- L'efficacité accrue des procédés pour réduire les dépenses d'exploitation via une optimisation des procédés de captage déjà maîtrisés (meilleur contact entre le CO<sub>2</sub> et les amines par exemple).
- Une modularisation et standardisation des unités de captage afin de réduire les dépenses d'investissement et pour qu'elles puissent s'intégrer plus efficacement dans des usines déjà construites avec des espaces contraints, et en maximisant les besoins énergétiques et de chaleur de l'absorption par amines pour régénérer ces amines et les réutiliser. On estime que ces deux facteurs (efficacité et modularisation) pourraient réduire les coûts du captage de CO<sub>2</sub> jusqu'à 30%.
- Le développement de nouvelles technologies plus performantes et efficaces grâce à d'autres techniques et méthodes de séparation de CO<sub>2</sub> par voie liquide ou solide. Ces nouvelles technologies, qui ont un TRL<sup>1</sup> entre 4 et 6, pourraient permettre de baisser d'environ 50% les coûts de projets de captage dits de deuxième génération car ils nécessitent encore 5-10 ans de développement (échéance 2025-2030).

#### Les enjeux du stockage : des capacités suffisantes mais encore mal connues

L'enjeu principal du stockage est celui de la sécurité des réservoirs pour prévenir au maximum les fuites. Au-delà des contraintes techniques, cela impose un effort d'exploration conséquent pour déterminer quels réservoirs ont un potentiel de stockage. Aujourd'hui, les champs d'hydrocarbures déplétés sont bien connus mais sont moins conséquents que les stockages en aquifères salins qui sont présents en grande quantité sur Terre. Faute d'exploration, de fortes incertitudes existent sur les capacités de stockage dans les réservoirs d'aquifères salins. Ces procédés de sélection, caractérisation et d'exploration de stockage dans ces réservoirs permettent de réduire considérablement les risques de fuite du CO<sub>2</sub> et de pollution des sols et des nappes phréatiques. Cet enjeu est important puisque les volumes qui doivent être stockés suivant les scénarios de décarbonation sont de plusieurs milliards de tonnes, ce qui nécessite l'exploitation de toutes les ressources de stockage possibles. Toutefois, l'expertise et l'expérience du secteur pétrolier couplée à une réglementation stricte des opérations de stockage de CO<sub>2</sub> sont des atouts essentiels pour stocker les quantités suffisantes de CO<sub>2</sub> capté en minimisant les risques environnementaux et sociétaux.

1

Technology Readiness Level (TRL) : niveau de maturité technologique entre 1 (au stade de recherche technologique fondamentale) et 9 (le système a été testé opérationnellement et est prêt à être lancé)

### Les enjeux de l'utilisation : un marché encore incertain

Aujourd'hui, on prévoit qu'environ 90% du CO<sub>2</sub> capté sera stocké plutôt qu'utilisé. L'utilisation du CO<sub>2</sub> non-biogénique pour un objectif de neutralité carbone est en effet complexe : si cette utilisation ne permet pas la permanence du stockage du CO<sub>2</sub> et le rejette in fine dans l'atmosphère, le bilan de cette utilisation peut être au mieux neutre et sinon positif en termes d'émissions. Les industriels se penchent plutôt sur l'utilisation de CO<sub>2</sub> biogénique et les technologies carbon removal (biologique ou artificiel via les DACS<sup>2</sup> et les BECCS<sup>3</sup>), opération à équation carbone potentiellement négative.

### Pourquoi et comment le monde de la finance devrait s'impliquer dans le développement de projets CCUS ?

#### Un intérêt des financiers à considérer plus sérieusement les projets CCUS

Aujourd'hui les principales barrières au développement de projets CCUS sont commerciales : chaque élément de la chaîne est techniquement mature mais ceux-ci ne sont pas encore bien articulés/imbriqués ensemble dans un but de réduction des émissions pur. Néanmoins, de nouveaux business model émergent, rendant les projets plus sûrs financièrement :

- Des entreprises "CCUS as a service" se développent, proposant de faire communiquer tous les acteurs de la chaîne de valeur afin de l'optimiser. Ces modèles nouveaux pourraient également permettre de mieux gérer le transfert des risques liés aux fuites de CO<sub>2</sub> d'un capteur à un stockeur.
- Certaines usines (d'incinération de déchets par exemple) étudient les possibilités de baser une partie de leur business model sur la vente de crédits carbone via le stockage de carbone biogénique issues des fumées des déchets.

En outre, les financiers étant soumis à de fortes incitations à investir dans des technologies de décarbonation, les CCUS pourraient représenter, selon les plans d'actions adoptés par les Etats, des projets incontournables dans lesquels investir pour réduire les émissions existantes et enlever les émissions historiques déjà émises dans l'atmosphère.

#### Le rôle des financiers dans les projets CCUS

Les financiers ont tout intérêt à s'impliquer dans les projets plus en amont dans leur phase de développement afin d'en accélérer la mise en opération, dont les investissements et les risques pèsent aujourd'hui en partie sur les industriels. Cet engagement est d'autant plus important que le développement de projets CCUS fonctionnels facilitera le développement de nouveaux via : une crédibilité accrue auprès des pouvoirs publics, de la société civile, des banques et des assurances, le potentiel de formation de cluster pour la mutualisation des moyens et des risques, des économies d'échelle, et la prise en compte de cette solution par les pouvoirs publics pouvant impliquer la levée de certaines barrières réglementaires.

Les assurances ont également un rôle à jouer en proposant des produits adaptés aux projets CCUS. Pour cela, des conditions d'assurabilité doivent être définies à travers par exemple la certification de la conformité d'une installation. Cet effort de certification pourrait également accroître la confiance envers ces projets.

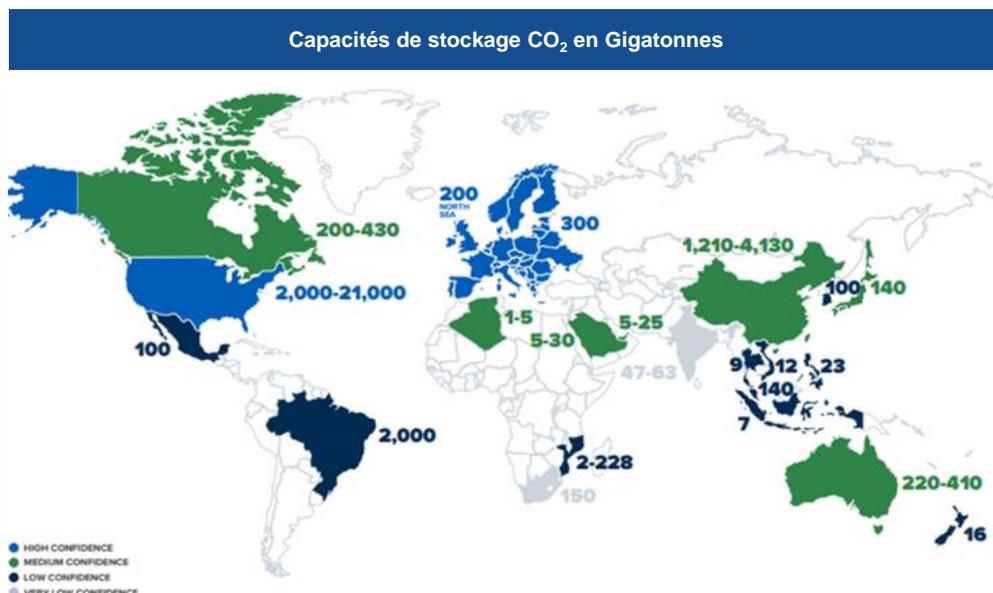
<sup>2</sup> DACS : capture carbone directement depuis l'atmosphère par aspiration et filtration, puis stockage du CO<sub>2</sub>

<sup>3</sup> BECCS : capture carbone grâce aux végétaux puis stockage du CO<sub>2</sub> suite à leur incinération pour la production d'énergie

## POTENTIEL ET APPLICATIONS INDUSTRIELLES

### Potentiel de stockage pour le CSC

L'AIE estime que les capacités mondiales de stockage géologique de CO<sub>2</sub> sont entre 6 000 et 42 000 Gt en on-shore (sur terre) et entre 2 000 et 13 000 Gt en off-shore (en mer)<sup>1</sup>. Le GIEC en revanche estime un potentiel global de minimum 2 000 Gt, pouvant aller environ jusqu'à 10 000 Gt<sup>2</sup>.



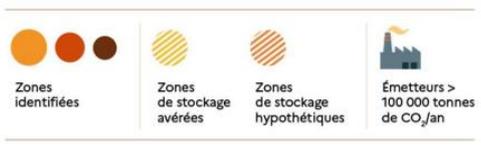
Source : Global CCS Institute, 2019

Depuis les premiers projets de stockage du CO<sub>2</sub> dans les années 1990, environ 260 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> ont été stockés dans le monde et une vingtaine de projets CSC sont en opération à l'échelle industrielle. Il s'agit essentiellement sur des unités d'exploitations pétrolières et gazières mais également sur quelques centrales électriques à base de charbon ou de gaz, soit 0,06% des émissions annuelles de CO<sub>2</sub> dans le monde<sup>3</sup>.

En France, il serait possible de stocker jusqu'à 24 Million de tonne de CO<sub>2</sub> par an, ce qui représente 7% des émissions de CO<sub>2</sub> du pays<sup>3</sup>.

1 Source : CCUS in clean energy transition, AIE, 2020  
 2 Source : IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C  
 3 Source : ADEME 2020

Potentiel pour la mise en œuvre du CSC en France



**Hauts-de-France** (Dunkerque)  
**15 MtCO<sub>2</sub>/an**

- +** Possibilité de stockage offshore (avec la Mer du Nord)
- Verrou réglementaire à lever sur la possibilité d'exporter les émissions de CO<sub>2</sub> hors du territoire et par bateau
- Gros volumes de CO<sub>2</sub> pour la mise en place d'infrastructures de transport de CO<sub>2</sub>
- Coût minimal estimé à 100 €/t CO<sub>2</sub>

**Normandie** (Le Havre-Rouen)  
**6 MtCO<sub>2</sub>/an**

- +** Interconnexion avec le hub CO<sub>2</sub> de Dunkerque pour stockage offshore (avec la Mer du Nord)
- Verrou réglementaire à lever sur la possibilité d'exporter les émissions de CO<sub>2</sub> hors du territoire et par bateau
- Gros volumes de CO<sub>2</sub> pour la mise en place d'infrastructures de transport de CO<sub>2</sub>
- Coût minimal estimé à 125 €/t CO<sub>2</sub>
- Pérennité des sites (secteurs industriels qui seront impactés par la transition énergétique)

**Nouvelle Aquitaine** (Lacq)  
**3 MtCO<sub>2</sub>/an**

- +** Infrastructures existantes (ancien gisement de gaz)
- Faible volume de CO<sub>2</sub>
- Coût minimal estimé à 88 €/t CO<sub>2</sub>
- Zone de stockage onshore

Source : ADEME 2020

Un démonstrateur en France a permis de capter et stocker 60 000 tonnes de CO<sub>2</sub> depuis son démarrage, mais ce type de technologie reste peu développé en France, à l'inverse d'autres pays comme les Etats-Unis, la Grande Bretagne, l'Australie et certains pays européens et asiatiques.

## Applications potentielles

Bien que certains freins technologiques, financiers ou réglementaires existent aujourd'hui, les solutions d'utilisation et de stockage présentent un certain nombre d'avantages dans la lutte contre le changement climatique, notamment dans les secteurs de l'industrie et du transport longue-distance.

### Une adaptation aux installations existantes

Selon l'AIE, les centrales de production d'énergie fossile et sites industriels existants pourraient générer environ 600 Gt de CO<sub>2</sub> à l'échelle mondiale entre aujourd'hui et 2070. Les solutions d'utilisation et de stockage permettraient de directement réduire ces émissions dites "stockées", sans apporter de modifications majeures aux procédés de production. Les technologies de capture s'intégrant en aval de la chaîne de production (aspiration des fumées). Ces solutions peuvent également s'appliquer aux centrales de valorisation des déchets<sup>1</sup>.

Il faut cependant prendre en compte la "pénalité énergétique", qui correspond au surplus énergétique nécessaire pour capter le CO<sub>2</sub> dans les fumées issues des installations. Comme détaillé précédemment, le coût de la capture carbone est fortement dépendant de la concentration des émissions. Par exemple, selon l'ADEME, la production d'ammoniac, de bioéthanol ou d'hydrogène génère des fumées avec une concentration élevée de CO<sub>2</sub> (entre 70 % et 100 %), résultant ainsi à un coût de capture relativement faible (13 € à 63 € par tonne de CO<sub>2</sub>).

A l'inverse, des fumées avec des concentrations relativement faibles (entre 3 et 10 %) ont un coût de capture pouvant dépasser 90 € par tonne de CO<sub>2</sub>. Néanmoins le surcoût énergétique lié au fonctionnement du système de captage est estimé à + 20 % en moyenne<sup>2</sup>.

### Une solution pour les secteurs difficiles à décarboner

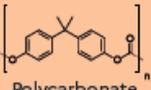
Les technologies d'utilisation et de stockage pourraient permettre de réduire les émissions des industries difficiles à décarboner, comme la production de ciment ou d'acier, voire même permettre d'utiliser le CO<sub>2</sub> en tant que matière première.

Ces technologies ouvrent également une voie pour la production de carburant synthétique, notamment pour les transports longue-distance.

Le tableau de l'ADEME ci-dessous indique le potentiel de chaque application en fonction de la source de CO<sub>2</sub>, de l'intensité énergétique du processus CCUS, et de son degré de maturité technologique. Si le potentiel peut être très prometteur pour certaines technologies, il reste un certain nombre de verrous technologiques avant d'arriver à un déploiement à l'échelle industrielle de ces types de solutions.

<sup>1</sup> Source : CCUS in clean energy transition, AIE, 2020

<sup>2</sup> Source : ADEME 2020

Évaluation multicritère de la valorisation de CO <sub>2</sub> selon les usages						
Principaux usages	Type de procédé	Maturité technologique	Sources du CO <sub>2</sub>	Demande en énergie	Potentiel marché	Potentiel en termes de réduction de CO <sub>2</sub>
<b>Carburants synthétiques</b> Exemples :  Power to liquid carburant	<b>Transformation chimique</b>	Échelle démonstrateur	CO <sub>2</sub> fossile <sup>13</sup>		++	
			CO <sub>2</sub> biogénique <sup>14</sup>		+++	
	<b>Transformation biologique</b> Échelle laboratoire	CO <sub>2</sub> atmosphérique		+		
<b>Produits chimiques</b> Exemples : $C_2H_4$ Ethylène  Polycarbonate	<b>Transformation chimique</b>	En fonction du produit : échelle allant du laboratoire à l'unité commerciale	CO <sub>2</sub> fossile <sup>13</sup>		+++	
			CO <sub>2</sub> biogénique <sup>14</sup>		++++	
			CO <sub>2</sub> atmosphérique		+	
<b>Produits carbonatés</b> Exemples :  Béton préfabriqué contenant du CO <sub>2</sub>	<b>Transformation chimique</b>	Échelle laboratoire à pilote	CO <sub>2</sub> fossile <sup>13</sup>		++	
			CO <sub>2</sub> biogénique <sup>14</sup>		+++	
			CO <sub>2</sub> atmosphérique		+	

Source : ADEME (2021)

<sup>13</sup> Le CO<sub>2</sub> fossile est issu de la combustion de ressources fossiles (notamment charbon et gaz), l'application et l'efficacité dépendent du type d'émissions industrielles et de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées.

<sup>14</sup> Le CO<sub>2</sub> biogénique est issu de la biomasse (incinération de végétaux), l'application et l'efficacité dépendent du procédé de transformation de la biomasse et de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées.

## Une voie intéressante pour la production d'hydrogène à bas coûts

Le procédé d'électrolyse à partir d'énergies renouvelables pour produire de l'hydrogène dit "vert" représente aujourd'hui une part très mineure dans la production mondiale d'hydrogène. Le procédé le plus répandu est le vaporeformage de gaz naturel, qui est également très émetteur de CO<sub>2</sub> : 11 tonnes de CO<sub>2</sub> pour 1 tonne d'hydrogène<sup>1</sup>.

Les solutions CCUS peuvent contribuer à la production à bas coût d'hydrogène en captant les émissions de CO<sub>2</sub> des sites actuels de production d'hydrogène. L'hydrogène produit est dit "bleu". Selon l'AIE, l'ajout de solutions CCUS pour décarboner la production d'hydrogène d'origine fossile permettrait d'obtenir un coût de production deux fois moins élevé que l'électrolyse à partir d'énergies renouvelables<sup>2</sup>. Cette technologie a donc un rôle à jouer en parallèle du développement de l'hydrogène dit "vert".

Selon l'IFRI, la commission européenne indique que le stockage est un outil qui permettrait de décarboner massivement et à moindre coût à court et moyen terme, la production d'hydrogène, en parallèle d'un développement à grande échelle de l'hydrogène vert<sup>3</sup>.

## Un potentiel pour générer des émissions "négatives"

Selon l'AIE, le couplage du stockage avec d'autres technologies pourrait permettre de capturer du carbone stocké dans l'air ou dans la biomasse et le stocker géologiquement, pouvant ainsi générer des émissions dites "négatives".

Cela peut se faire de deux manières :

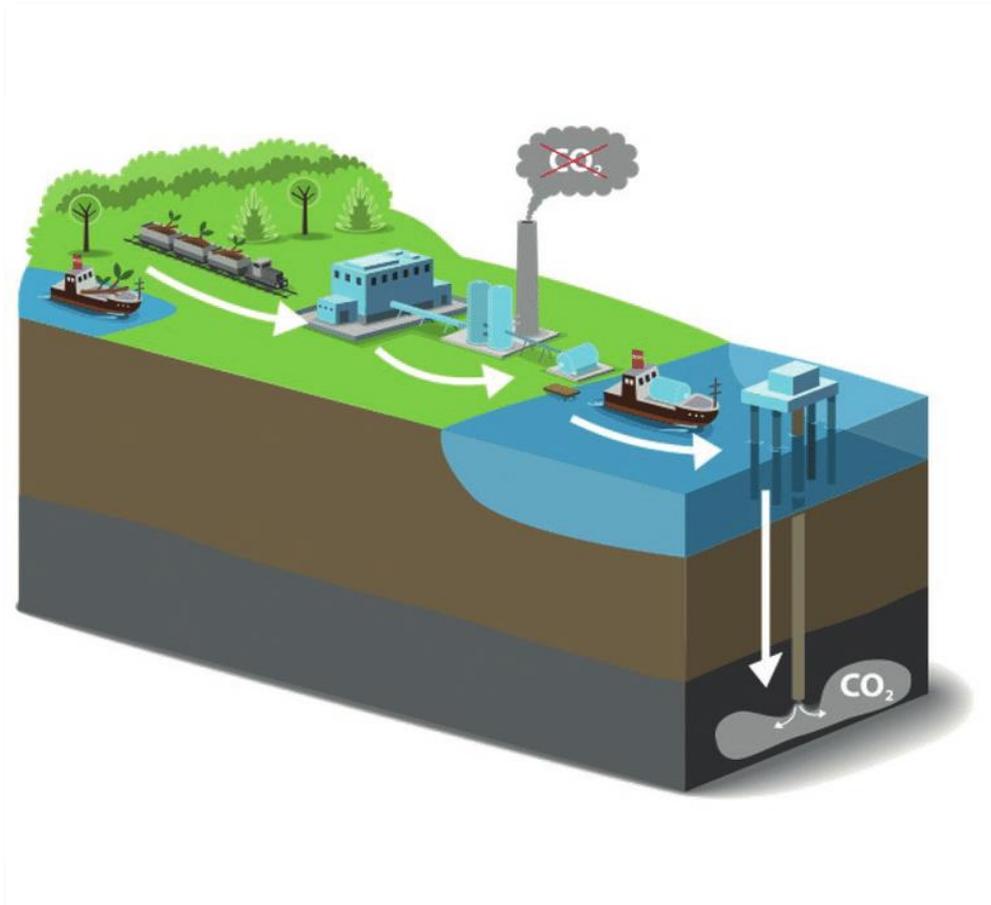
- soit en aspirant directement l'air et en filtrant le CO<sub>2</sub>. Ce procédé est appelé DAC (Direct Air Capture). Il est aujourd'hui à un stade de développement très précoce,
- soit en capturant le CO<sub>2</sub> issu de la biomasse qui elle-même capte le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère. Ce procédé est appelé BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage).

<sup>1</sup> Source : ADEME

<sup>2</sup> Source : AIE, CCUS in clean energy transition, 2020

<sup>3</sup> Source : IFRI, Un nouvel élan pour le captage, stockage et utilisation du carbone (CCUS) en Europe

Schéma du principe du BECCS



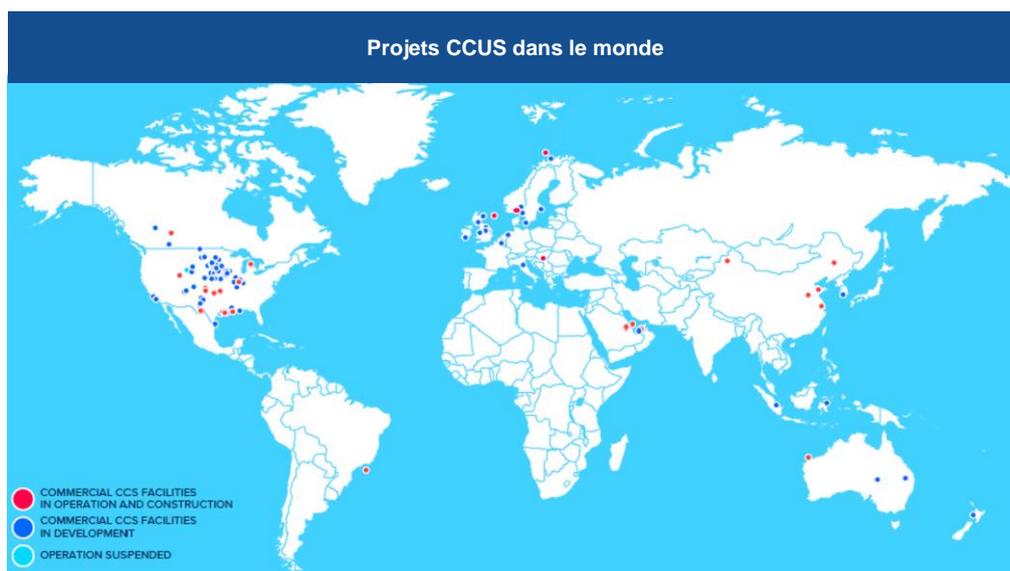
Source : Researchgate, Multilevel policy incentives for BECCS in Sweden (2018)

Toutefois, afin que le BECCS soit véritablement considéré comme un puits de carbone, il est nécessaire de s'assurer que le bilan carbone de l'ensemble de la chaîne de valeur (transport, machines et équipements, procédés, changement d'usage des sols...) soit négatif. Un certain nombre de risques doivent également être pris en compte dans le bilan environnemental : disponibilité des terres et des ressources pour alimenter les centrales, risques de déforestation, risques liés à l'utilisation d'eau pour la croissance des plantes, risques liés à la biodiversité et l'appauvrissement des sols...

## Projets existants

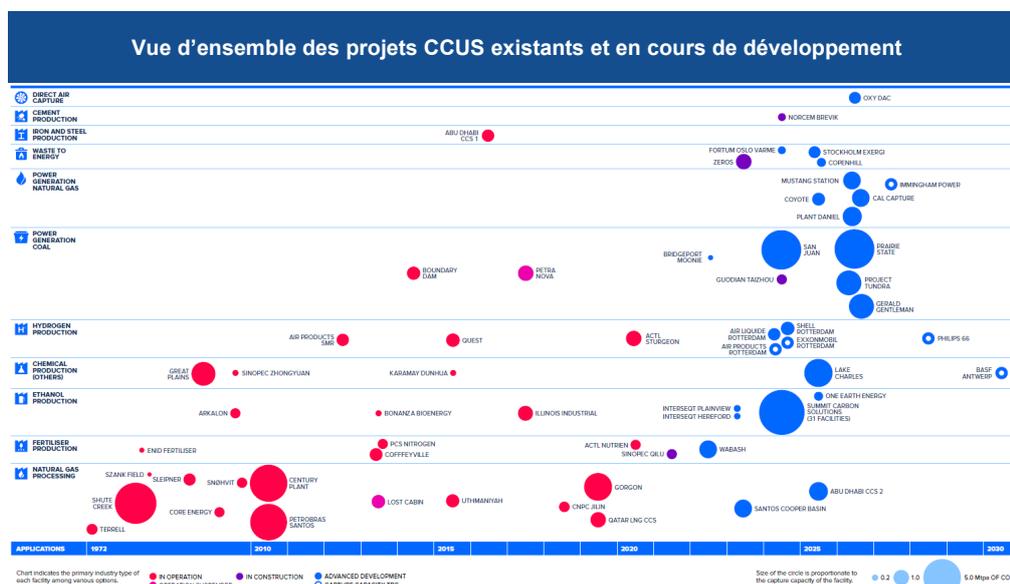
Les premières installations de capture et stockage ou utilisation de carbone ont vu le jour dans les années 70 aux Etats Unis, et se sont peu à peu développées dans le monde, notamment depuis 2017.

Aujourd'hui, il existe 27 installations opérationnelles avec une capacité de capture de 37 Mt/CO<sub>2</sub> par an. Quatre nouvelles installations sont en construction et 102 en cours de développement\*. La plupart sont présents aux États-Unis et Canada mais certaines installations voient le jour à travers le monde.



Source : Global CCS Institute, 2021

Aujourd'hui, la plupart des installations existantes captent le CO<sub>2</sub> d'usines de traitement du gaz naturel, et de nombreux projets à forte capacité de captation sont en cours de développement<sup>1</sup>, notamment dans les centrales à charbon et à gaz, ainsi que dans la production de produits chimiques et d'éthanol.



**i** Schéma agrandi sur la page 42

<sup>1</sup> Source : Global CCS Institute (2021)

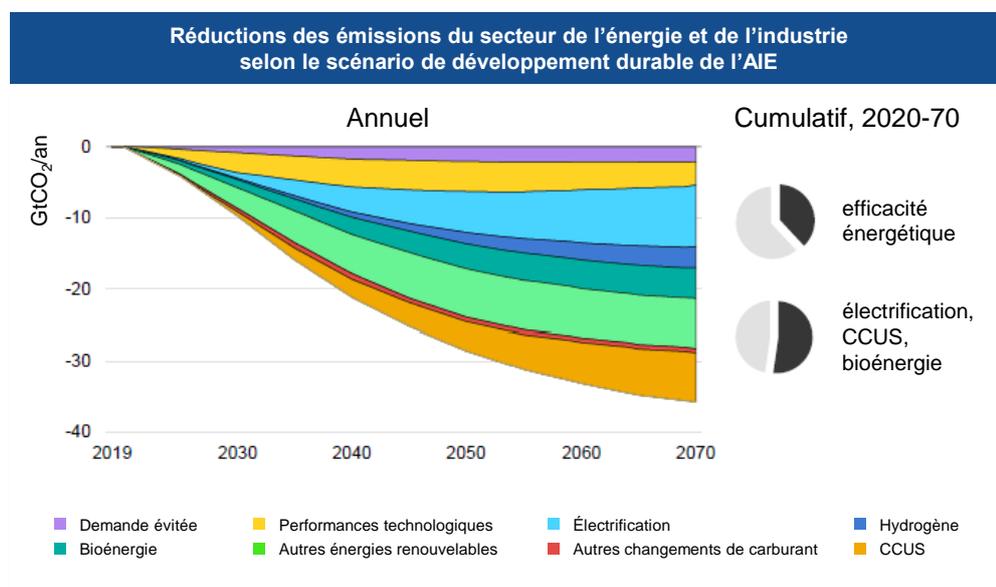
Cependant, jusqu'à maintenant, la principale utilisation du CO<sub>2</sub> capté était l'injection dans les puits de pétrole afin d'en extraire une quantité plus importante. Même si une partie du carbone injecté est bien stockée dans les puits, au global les émissions du puits d'extraction de pétrole jusqu'à la roue du véhicule restent positives (plus d'émissions que de séquestration dans le sol).

En ce qui concerne le stockage géologique, en Europe, la mer du Nord fait l'objet d'un certain nombre de projets de stockage de CO<sub>2</sub>, comme le projet Norvégien Northern Lights, qui vise à créer une capacité de stockage de 1,5 Mt/CO<sub>2</sub> par an dès 2024<sup>1</sup>. Ce projet est lié au développement potentiel d'une dizaine d'installations de captage en Europe, dont des cimenteries, des usines sidérurgiques, des usines d'incinération des déchets, une unité de BECCS.

### RÉPONSE AUX ENJEUX CLIMATIQUES, LIMITES ET RISQUES PHYSIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

#### Importance des solutions CCUS dans les scénarios de décarbonation

Dans son scénario de développement durable, l'AIE positionne l'utilisation et le stockage comme un des facteurs de réduction des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> dues à la production d'énergie et à l'industrie, avec un poids d'environ 20% de la réduction globale des émissions de CO<sub>2</sub> liées à ces secteurs en 2070.



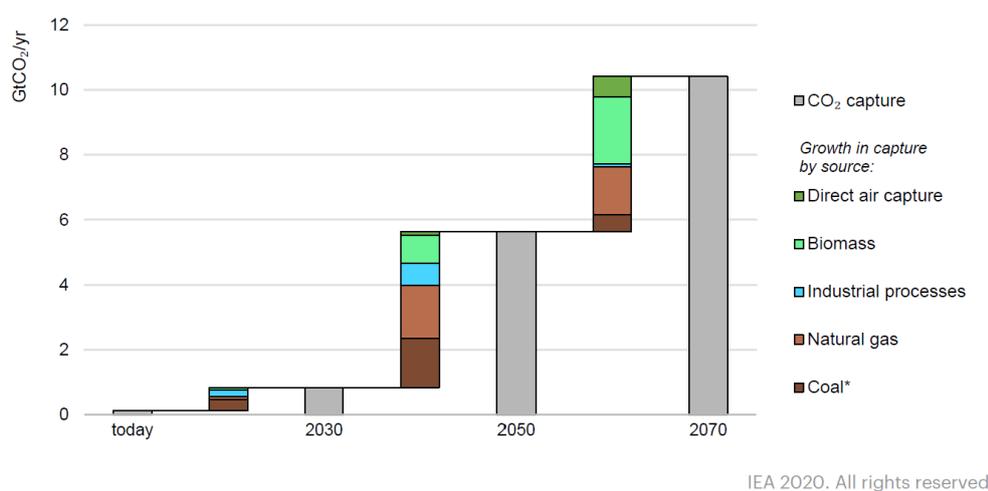
Source : AIE, 2020

<sup>1</sup> Source : northernlightsccs.com

Rappelons cependant qu'il s'agit ici d'un scénario parmi d'autres pour répondre aux enjeux climatiques, et non une prévision du développement futur pour ce type de technologie, et que seulement les émissions liées à l'énergie et l'industrie (qui représentent aujourd'hui environ 63% des émissions totales de GES) sont traitées ici.

Dans ce scénario, l'AIE mise sur une forte croissance des installations CCUS, permettant d'atteindre une absorption de plus de 10 GtCO<sub>2</sub> / an en 2070 en incluant la capture issue de la biomasse (BECCS). Les installations CCUS passent d'une fonction de décarbonation des usines existantes de secteurs fortement émetteurs de CO<sub>2</sub>, telles que les centrales à charbon ou l'industrie lourde, à une fonction de puit de carbone à large échelle pour équilibrer les émissions non-compressibles, par exemple grâce au BECCS.

Croissance de la capacité de capture et de stockage par source d'émission selon l'AIE

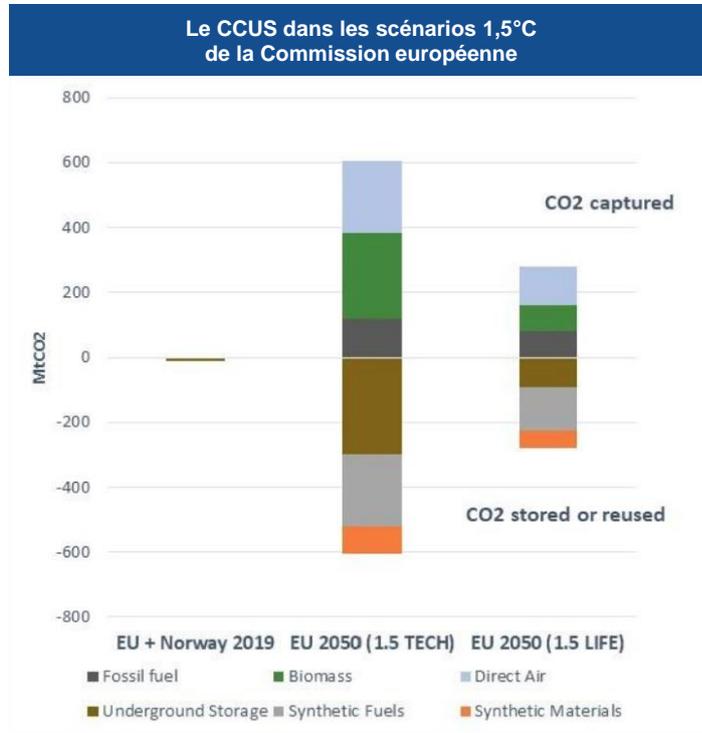


Source : AIE, 2020

Dans le rapport spécial 1,5°C du GIEC, la plupart des scénarios pour atteindre 1,5°C prennent également en compte l'utilisation de technologie de capture et stockage de carbone, notamment la séquestration de carbone issu de la biomasse, et la séquestration des émissions induites par la génération d'énergie à partir de ressources fossiles.

Au niveau Européen, selon L'IFRI (Institut Français des Relations Internationales), les solutions de stockage jouent un rôle dans la lutte contre le changement climatique, notamment pour les industries fortement émettrices de carbone et dans une phase de transition pour la production d'hydrogène bas carbone. Dans les scénarios 1,5°C de la commission européenne, 281 Mt à 606 Mt/CO<sub>2</sub> sont captées en 2050, dont 80 Mt à 298 Mt/CO<sub>2</sub> sont stockées et 201 Mt à 307 Mt sont utilisées pour la fabrication de combustibles ou de matériaux synthétiques<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Source : [Ifri](#), 2021



Les deux scénarios correspondent à des scénarios 1,5° de la Commission Européenne.

**Le scénario 1,5° TECH** dépend fortement du développement technologique, notamment l'utilisation de la biomasse et des solutions CCUS.

**Le scénario 1,5° Life** dépend moins des développements technologiques et plus sur des changements de modes de vie et une économie pleinement circulaire.

Source : Ifri, 2021

En France, la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) envisage l'utilisation de solutions de stockage pour l'industrie à hauteur de 5 Mt/CO<sub>2</sub> par an en 2050 dans son scénario de référence, et l'utilisation des solutions de bio énergie de stockage pour générer environ 10 Mt/CO<sub>2</sub> d'émissions négatives<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Source : SNBC, 2020

### Limites physiques et risques environnementaux à l'implémentation en masse des solutions CCUS

Au-delà des enjeux politiques et d'équilibre financier, un certain nombre de risques et limites existent quant à l'implémentation à grande échelle des solutions de capture et stockage du CO<sub>2</sub>. Le GIEC met notamment en avant les risques suivants :

- **Durabilité des ressources biogéniques<sup>1</sup> pour le BECCS et compétition avec d'autres usages des sols.** Le déploiement en masse des solutions BECCS nécessite d'utiliser une part importante des sols et des zones agricoles afin d'alimenter les incinérateurs pour générer de l'énergie puis stocker le CO<sub>2</sub>. Cela génère donc une compétition pour l'usage des sols notamment avec l'agriculture, et peut présenter des risques pour la biodiversité si les forêts ne sont pas gérées de manière durable.
- **Disponibilité de stockage géologique** de CO<sub>2</sub> pour l'ensemble des systèmes CSS. Comme évoqué dans les paragraphes précédents, les capacités de stockage géologique sont limitées et l'évaluation du potentiel global de stockage peut fortement varier entre les différentes sources. A cela s'ajoutent de potentiels risques de compétition entre les pays pour l'accès au stockage dans les eaux internationales.
- **Fuites de CO<sub>2</sub>** dans les couches géologiques et lors des opérations de transport.
- **Augmentation des besoins en ressources pour produire la même quantité d'énergie** en raison d'une réduction de l'efficacité des moyens de production suite à l'ajout de système CSS (pénalité énergétique). L'ADEME chiffre actuellement la surconsommation énergétique pour le fonctionnement du système de capture à environ 20% d'énergie supplémentaire.
- **Augmentation du stress hydrique.** L'eau est utilisée pour le refroidissement des systèmes de capture, ce qui peut accroître considérablement la consommation d'eau et présenter des risques dans des zones de stress hydrique. L'augmentation de biomasse pour alimenter les systèmes BECCS peut également accroître les besoins en eau.
- **La finalité du CO<sub>2</sub> capturé** peut aussi constituer un risque en termes d'émissions de Gaz à Effet de Serre. Aujourd'hui, le CO<sub>2</sub> est très utilisé notamment aux Etats-Unis dans les procédés d'extraction de pétrole, où il est injecté pour augmenter le volume de pétrole extrait d'un puits. Même si une partie du CO<sub>2</sub> peut être stockée dans le réservoir, la transformation et la combustion du pétrole additionnel extrait du puits grâce à l'injection de CO<sub>2</sub> généreront potentiellement plus de CO<sub>2</sub> que la quantité injectée. Le bilan des émissions dans ce cas là serait donc positif (plus d'émissions de CO<sub>2</sub> que de capture), ce qui est l'objectif inverse des solutions CCS.

<sup>1</sup> Source : GIEC, Global Warming of 1.5 °C Special Report, 2018



OPPORTUNITÉS ET  
RISQUES LIÉS AU  
FINANCEMENT DE  
PROJETS DE  
CAPTATION CARBONE

## OPPORTUNITÉS ET RISQUES LIÉS AU FINANCEMENT DE PROJETS DE CAPTATION CARBONE

### LES BESOINS ET OPPORTUNITÉS DE FINANCEMENT POUR LES TECHNOLOGIES CCUS

#### Un besoin de financement conséquent

Comme évoqué ci-dessus, le modèle AIE-SDS<sup>1</sup>, compatible avec une limitation du réchauffement climatique en dessous de 2°C, définit une trajectoire d'atteinte de la neutralité carbone en 2070 dans laquelle 15% des efforts de réduction d'ici à 2050 sont portés par les technologies CCUS. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire d'accroître les capacités de capture de 40 Mt/CO<sub>2</sub> par an à plus de 5 600 Mt/CO<sub>2</sub> par an en 2050. Cela équivaut au déploiement de 2 000 installations à grande échelle d'ici à 2050. Les besoins en capitaux pour ce faire seraient de l'ordre de 655 à 1280 Mrd\$, selon le rythme auquel les coûts du CCUS diminuent avec la capacité installée.

Tout projet de captage de CO<sub>2</sub> nécessite d'être couplé à des solutions de transport et stockage. Un projet de stockage pourra donc difficilement voir le jour sans la construction en amont d'un réseau d'ampleur afin d'acheminer le CO<sub>2</sub> au lieu de stockage. Aux Etats-Unis, le besoin de création de pipelines est estimé à 35 000 km. Un effort de financement conséquent doit également être effectué pour l'identification et la caractérisation des stockages géologiques pérennes pour le CO<sub>2</sub>. Ainsi, des investissements initiaux conséquents sont à déployer tant pour le développement de technologies de captation plus efficaces et à plus bas coût que sur le déploiement d'un réseau interconnecté de sites de captage et de stockage.

#### Un coût moyen par projet très variable

La majorité des coûts d'un projet de stockage repose sur la partie capture du CO<sub>2</sub> qui peut représenter jusqu'aux trois quarts des coûts totaux d'un projet. Cette partie est en effet fortement consommatrice en énergie, puisqu'il s'agit de séparer le CO<sub>2</sub> dans les fumées et de l'adapter au transport via une phase de déshydratation et de compression. Les coûts liés au captage sont fortement dépendants de la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées, comme évoqué plus haut, de la technologie mise en œuvre et dans une moindre mesure du gisement de CO<sub>2</sub>. Le coût du transport varie entre 10 et 29€/tonne CO<sub>2</sub> selon le volume, la distance et le mode de transport. En effet, le coût peut être multiplié par 3 entre une transport onshore et offshore par bateau. Pour ce qui est du stockage, le coût moyen peut varier entre 1 et 20€/tonne CO<sub>2</sub> principalement selon la capacité de stockage du site et le type de site. Le coût total d'un projet peut donc varier de 30 à 300€/tonne CO<sub>2</sub>. La société Aker Carbone Capture a communiqué un coût complet indicatif d'une installation dans une fourchette de 75 à 145 €/tonne de CO<sub>2</sub> d'ici 2030.

<sup>1</sup> Sustainable Development Scenario



Aker Carbon Capture, coté à Oslo (1,5 milliard d'euros de capitalisation boursière, 87 millions d'euros de CA 2022, 24 employés), est une société "pure play" engagée dans la technologie de capture, utilisation et stockage de CO<sub>2</sub> (CCUS). Le CCUS est au cœur de la lutte contre le réchauffement climatique et devrait contribuer à hauteur de 20% à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> nécessaire pour atteindre l'objectif 1,5°C de l'accord de Paris. Aker Carbon Capture est une société très jeune, créée en tant qu'entité séparée de sa société mère Aker Horizons depuis mi-2020. Pourtant, le reporting ESG est déjà assez complet et la société a signé l'UN Global Compact, ce qui nous a permis de compléter l'analyse très sommaire de nos prestataires. Au total, nous avons significativement relevé la note ESG du département Finance Responsable et Durable de 4,9 à 6,5/10, conduisant à réviser en hausse la classe de Aker Carbon Capture de 3 (neutre) à 4<sup>1</sup> (engagé) dans sa démarche ESG. L'ensemble des piliers affichent de bonnes notes.

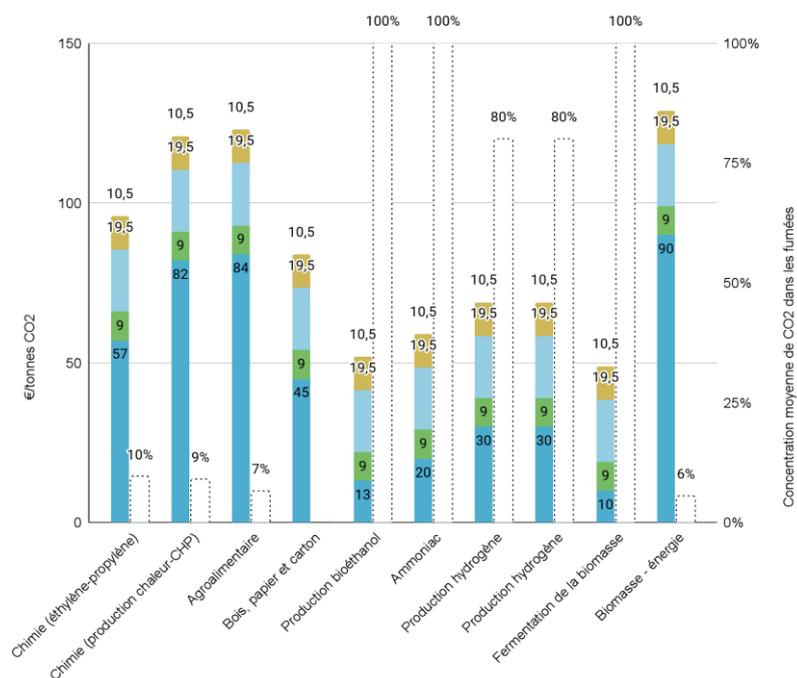
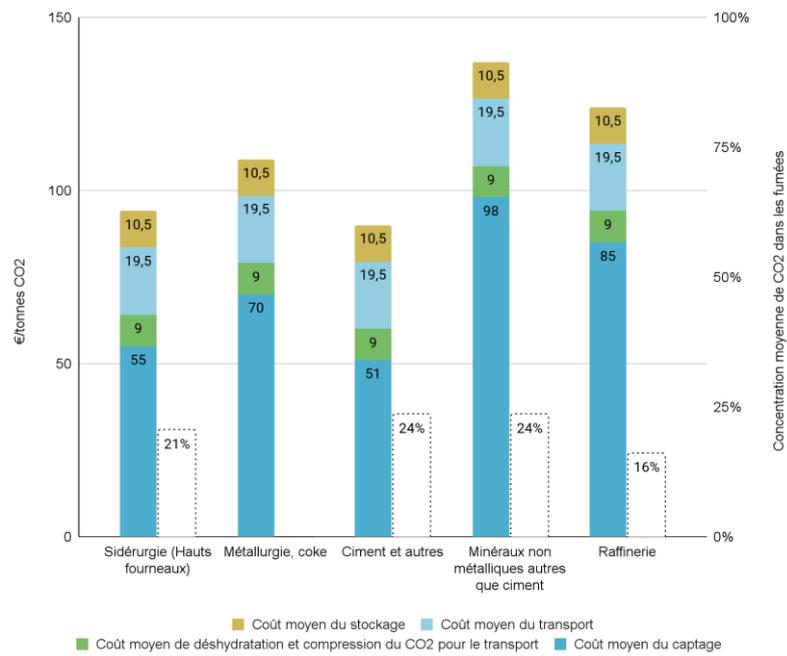
### Environnement

La technologie du CCUS (carbon capture utilisation & storage) vise à capturer les émissions de CO<sub>2</sub> des industries avant qu'elles se diffusent dans l'atmosphère. Ce CO<sub>2</sub> capturé est ensuite transporté pour être utilisé dans des procès (ciment, ...) ou stocké dans des gisements profonds et sécurisés. Le marché du CCUS monte en puissance, avec un pipeline de capacité en croissance de près de 50% par rapport à fin 2020, conduisant à une capacité installée de 150 Mt par an en 2025, soit une croissance annuelle moyenne de 23% par an. Aker Carbon Capture vise 10 Mt/CO<sub>2</sub> capturés par an à partir de 2025. Son carnet de commandes ressort actuellement à 0,4 Mt (première unité CCS dans le monde adaptée à une cimenterie - HeidelbergCement en Norvège). Les émissions d'Aker Carbon Capture présenteront un bilan d'émissions de CO<sub>2</sub> nettes très négatives, quand le GHG protocol aura adopté sa définition des émissions négatives. Dans cette perspective, la société prévoit d'afficher une trajectoire carbone certifiée SBTi et de contribuer au CDP dans un ou deux ans. Précisons que la solution technique de captage de CO<sub>2</sub> d'Aker Carbon Capture est non-toxique et biodégradable. La société publie ses consommations d'eau, d'énergie et sa génération de déchets mais sa création est trop récente pour une analyse de trajectoire.

### Social, Economie et Sociétal

La principale contribution sociétale d'Aker Carbon Capture est d'industrialiser une technologie permettant d'éviter les émissions de CO<sub>2</sub> de ses clients dépendants des énergies fossiles, en particulier les industries difficiles à décarboner. En 2030, les principaux débouchés du marché devraient être la production d'électricité thermique (40%), le traitement du gaz (26%), l'hydrogène (15%) et l'industrie de la chimie (12%). Les projets doivent être approuvés par les pouvoirs publics.

Les graphiques ci-dessous comparent les coûts moyen d'un projet CSC selon le secteur industriel, la concentration de CO<sub>2</sub> dans les fumées et le type d'industrie (grands émetteurs sur le premier graphique, petits émetteurs sur le second) :



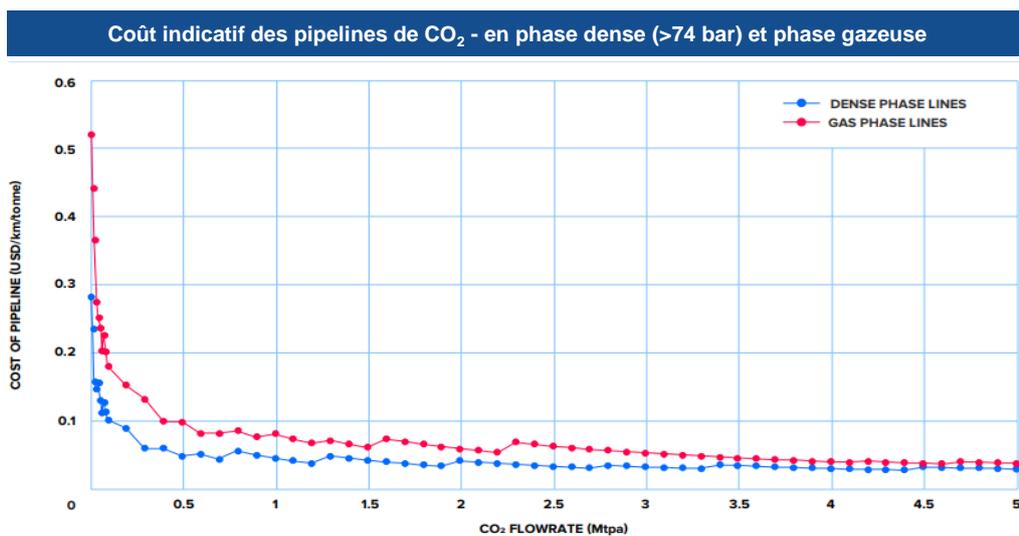
Sources : graphiques BL Evolution à partir de données issues de Captage et Stockage géologique du CO<sub>2</sub> (CSC), Avis technique de l'ADEME, 2020

### Une opportunité pour le financement des CCUS avec l'engagement des États pour la neutralité carbone

Une partie des investissements structurels et de R&D nécessaires au développement des CCUS pourrait être partiellement prise en charge par les États. En effet, face à l'urgence climatique, de nombreux gouvernements ont annoncé des ambitions de neutralité carbone dans les prochaines décennies. Ces engagements volontaires tendent à inclure de plus en plus les technologies CCUS comme moyen incontournable d'atteindre ces objectifs de transition, a minima comme une solution temporaire dans un horizon court-moyen terme. De nombreux financements publics pour développer les programmes CCUS ont ainsi été débloqués pour la période critique de la transition des États de 2020-2030.

Par exemple, aux Etats-Unis, 6 milliards de USD ont été budgétés sur la période 2021-2025 pour financer la recherche, le développement et les démonstrateurs de CCUS. Le nouveau plan quinquennal 2021-2025 de la Chine inclut pour la première fois un développement de ces technologies. Le Royaume-Uni a récemment annoncé la création d'un fond d'un milliard de GBP pour le développement d'infrastructures CCUS dans l'objectif de réduire les émissions de 68% d'ici 2030<sup>1</sup>. En Europe, le nouveau Paquet Climat "Fit For 55" prévoit un soutien conséquent des projets CCUS via son Fonds pour l'innovation qui pourrait être abondé d'environ 18 milliards d'euros sur la période 2021-2030 (sur la base d'un prix de 40€/tCO<sub>2</sub>e<sup>2</sup>).

Les investissements initiaux réalisés sur le réseau de transport du CO<sub>2</sub> par exemple peuvent permettre des économies d'échelle conséquentes et favoriser le développement de projets de captage à plus bas coût :



Source : [2021 Global Status of CCS](#), Global CCS Institute

\* Source : 2021 Global Status of CCS, Global CCS Institute

\*\* CO<sub>2</sub>e : équivalent CO<sub>2</sub>

Ces engagements s'accompagnent de nouvelles réglementations favorables à la hausse du prix du carbone. Si l'on prend l'exemple du marché européen EU-ETS (European Union Emission Trading Scheme) qui représente 40% des émissions européennes, le prix du quota connaît une croissance importante depuis la dernière mise à jour de ses règles en 2021 :

- arrêt progressif de l'allocation de quotas gratuits,
- augmentation de la fréquence de retraits de quotas sur le marché,
- création d'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières pour limiter les "fuites de carbone" entre autres.

Ceci pour atteindre la nouvelle cible de 55% (Fit for 55) de réduction des émissions en 2030.

Le quota a récemment battu un nouveau record avec un prix affiché à 73€/tonne suite aux annonces de la nouvelle coalition allemande promettant de maintenir un prix plancher du carbone à 60€/tonne<sup>1</sup>. Ces prix élevés du carbone dans les secteurs fortement émetteurs peuvent ainsi rendre certaines technologies et sources de captage du CO<sub>2</sub> financièrement intéressantes à l'échelle industrielle. Le coût complet d'un projet de captage-transport-stockage ayant par exemple été évalué dans une fourchette de 75 à 145€/tonne par Aker Carbone Capture.

Évolution du prix de la tonne de CO<sub>2</sub> sur le marché Européen ETS depuis 2008



Source : 2021 Global Status of CCS, Global CCS Institute

En outre, la nouvelle évolution du marché EU ETS considère le captage du CO<sub>2</sub>, le transport par gazoducs et le stockage géologique du CO<sub>2</sub> comme un mécanisme de réduction. En d'autres termes, cela signifie que les installations couvertes par le marché carbone n'ont pas besoin de payer pour le CO<sub>2</sub> qu'elles ont capté en vue de son transport par gazoducs et de son stockage géologique.

Au total, si le coût du stockage par tonne de CO<sub>2</sub> devient égal ou inférieur au prix du quota de CO<sub>2</sub>, il deviendra économiquement et socialement rationnel pour une industrie de recourir au CCS, qui évite les émissions, plutôt que d'acheter un quota, qui « taxe » les CO<sub>2</sub> émis.

<sup>1</sup> Source : European carbon prices hit record high after German price floor pledge, Reuters, Novembre 2021

### Un nouveau modèle de développement en hub et clusters permettant de limiter les coûts

Depuis quelques années, un nouveau modèle commercial s'appuyant sur des hubs et des clusters a émergé au sein des projets CSC afin d'en accélérer le développement et d'en réduire les coûts. Il s'agit de créer un hub de transport et stockage de CO<sub>2</sub> avec infrastructures partagées conséquentes autour de clusters industriels fortement émetteurs. Cette approche s'oppose au mode de développement favorisé précédemment qui associait une source unique d'émission à un site de stockage dédié. Cette nouvelle approche permet de réduire les coûts unitaires du transport et du stockage et permet aux industriels de se concentrer sur le captage des émissions sur leurs sites, avec l'assurance que ce carbone capturé aura un débouché de transport et stockage. Ce mode de développement avec des infrastructures partagées permet de déclencher des investissements plus facilement dans des pôles industriels majeurs.

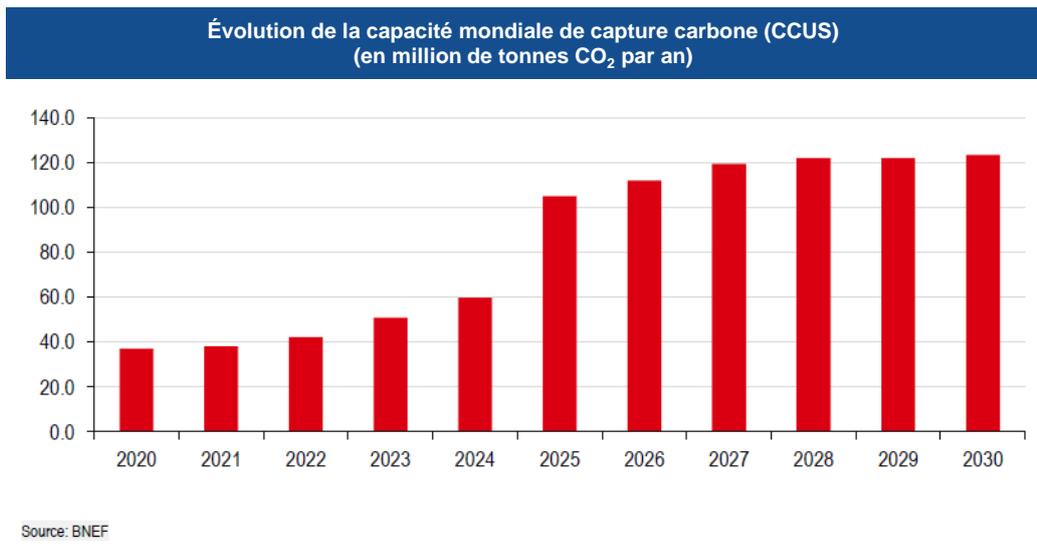
Le projet norvégien d'infrastructure Northern Lights est un bon exemple de ce nouveau mode de développement. En effet, le projet permettrait de débloquer une capacité de stockage de 5 Mt/CO<sub>2</sub> par an en mer du Nord, avec un réseau de transport par bateau depuis de nombreux pays Européens. Le projet est lié au développement d'une dizaine d'installations de captage en Europe et pourrait permettre l'émergence de clusters industriels de capture le long des côtes de la Mer du Nord. Le projet a même permis d'accélérer le financement de projets d'infrastructures de stockage et transport partagé au Royaume-Uni et au Pays-Bas.



Source : [Un nouvel élan pour le captage, stockage et utilisation du carbone \(CCUS\) en Europe, Ifri 2021](#)

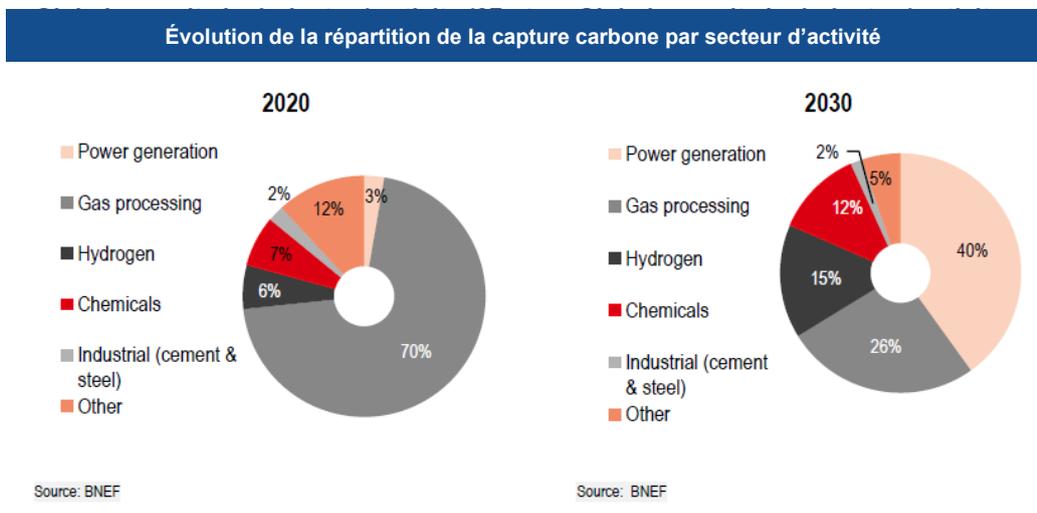
### Les perspectives de marché d'ici 2030

BloombergNEF<sup>1</sup> prévoit une montée en puissance de la capture carbone grâce aux technologies CCUS à partir de 2023 et une accélération en 2025. En 2030, les capacités seraient de 123 Mt/CO<sub>2</sub> capturés contre 37 Mt/CO<sub>2</sub> en 2020. Il s'agirait alors soit une multiplication par plus de 3 des capacités en 10 ans.



Source : BloombergNEF

Ce développement serait porté par une croissance très rapide des CCS pour la production d'électricité qui représenterait 40% du marché en 2030 contre seulement 3% en 2020. L'utilisation de CCS pour la production d'hydrogène bleu pourrait également croître de manière conséquente, 6% du marché en 2020 contre 15% prévu en 2030.



Source : BloombergNEF

<sup>1</sup> Bloomberg New Energy Finance

## LES MODES DE FINANCEMENT DES PROJETS CCUS

Plusieurs flux de financement relatifs aux projets de CSC existent, ce qui permettrait d'aider à répondre aux besoins d'investissements évoqués précédemment.

La nouvelle taxonomie européenne en cours d'élaboration peut être un important moteur de capitaux privés des investisseurs institutionnels en faveur du CSC, à condition que les projets respectent certains critères techniques et que ces informations soient accessibles à la communauté financière. Si les installations de transport et stockage de CO<sub>2</sub> respectent ces critères, elles sont considérées comme "contribuant de manière substantielle à l'atténuation du changement climatique et ne causant pas de préjudice majeur à l'un des autres objectifs environnementaux" et sont alors alignées avec la taxonomie. Ces critères peuvent être utilisés par les banques comme critères de validation technique et de choix dans l'investissement d'une solution de capture de CO<sub>2</sub>.

Le CSC au travers de 3 activités principales est considéré comme contribuant à l'atténuation du changement climatique selon les critères techniques suivants :

Type d'activité	Recherche, développement et innovation pour le captage direct du CO <sub>2</sub> de l'air	Transport de CO <sub>2</sub> - Incluant la construction et l'exploitation de pipelines de CO <sub>2</sub> et l'adaptation de réseaux gaziers lorsque l'objectif principal est l'intégration de CO <sub>2</sub> capté	Stockage géologique souterrain permanent de CO <sub>2</sub> - incluant le stockage permanent de CO <sub>2</sub> capté dans des strates géologiques souterraines appropriées
Code NACE	M71.1.2 et M72.1	F42.21 et H49.50	E39.00
Critères d'examen technique - Contribution substantielle à l'atténuation du changement climatique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des activités de recherches sont dédiées à la Capture Directe de CO<sub>2</sub> dans l'Air</li> <li>La mise en œuvre de ces technologies "a le potentiel d'entraîner des réductions globales des émissions nettes de GES une fois celles-ci commercialisées"</li> <li>Une analyse du cycle de vie de la technologie sur les émissions de GES a été menée et vérifiée par un tiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le CO<sub>2</sub> transporté depuis l'installation où il est capté vers le point d'injection n'entraîne pas de fuites de CO<sub>2</sub> supérieures à 0,5 % de la masse de CO<sub>2</sub> transportée.</li> <li>Le CO<sub>2</sub> est acheminé vers un site de stockage permanent de CO<sub>2</sub> répondant aux critères en matière de stockage géologique souterrain du CO<sub>2</sub> (voir ci-contre) ou vers d'autres modalités de transport, menant à un site de stockage permanent de CO<sub>2</sub> répondant à ces critères.</li> <li>Des systèmes appropriés de détection des fuites sont en place et un plan de surveillance, dont le rapport est vérifié par un tiers indépendant, est mis en place.</li> <li>Cette activité peut comprendre l'installation d'actifs augmentant la flexibilité et améliorant la gestion d'un réseau existant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une caractérisation et une évaluation du complexe de stockage potentiel et de la zone environnante sont réalisées afin d'établir si la formation géologique convient pour une utilisation comme site de stockage de CO<sub>2</sub>.</li> <li>S'agissant de l'exploitation de sites de stockage géologique souterrain du CO<sub>2</sub>, y compris les obligations liées à la fermeture et celles faisant suite à la fermeture de sites : (a) des systèmes appropriés de détection des fuites sont mis en œuvre pour empêcher les rejets en cours d'exploitation; (b) un plan de surveillance des installations d'injection, du complexe de stockage et, le cas échéant, de l'environnement avoisinant, dont les rapports réguliers sont vérifiés par l'autorité nationale compétente, est en place.</li> <li>S'agissant de l'exploration et de l'exploitation de sites de stockage au sein de l'UE, l'activité est conforme à la directive 2009/31/CE. S'agissant de l'exploration et de l'exploitation de sites de stockage dans des pays tiers, l'activité est conforme à la norme <a href="https://www.iso.org/standard/72914.html">ISO 27914:2017</a> relative au stockage géologique de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Critères d'examen technique - Ne cause pas de préjudice important	<p><b>Adaptation</b> : Les risques climatiques ayant un impact potentiel sur l'activité ont été identifiés. Un plan d'adaptation est prévu et des solutions d'adaptation sont intégrées à l'infrastructure.</p> <p><b>Ressources en eau</b> : Évaluation des risques potentiels pour le bon état ou le bon potentiel écologique des masses d'eau</p> <p><b>Economie circulaire</b> : Évaluation des risques potentiels pour les objectifs liés à l'économie circulaire</p> <p><b>Contrôle de la pollution</b> : Évaluation des risques potentiels susceptibles d'entraîner une augmentation notable des émissions de polluants dans l'air, l'eau ou le sol</p> <p><b>Protection et rétablissement de la biodiversité</b> : Évaluation des risques potentiels pour le bon état ou la résilience des écosystèmes ou pour l'état de conservation des habitats et des espèces</p>		
Critère de respect des garanties sociales	<p>Respect des conventions de l'Organisation Internationale du Travail</p> <p>Respect des Droits Humains</p> <p>Pas de travail forcé</p>		

 Tableau agrandi sur la page 43

Source : Critères techniques liés aux projets de CSC, Commission Européenne

[Recherche, développement et innovation pour le captage direct du CO<sub>2</sub> dans l'air, Transport du CO<sub>2</sub>, Stockage géologique souterrain permanent de CO<sub>2</sub>](#)

Au-delà de la taxonomie, des organismes peuvent également proposer un soutien financier\*. C'est le cas de :

- la [BEI](#) (Banque Européenne d'Investissement) dans le cadre de sa politique de prêt,
- [Horizon Europe, le programme européen pour la recherche et l'innovation](#), où le CSC est éligible à certains financements,
- [Connecting Europe Facility](#) avec des financements sur les infrastructures de transport de CO<sub>2</sub> inter-pays,
- [Le Fonds d'Innovation](#), dans lequel le CSC fait partie des 4 thématiques ciblées pour les financements,
- [Le mécanisme pour une transition juste](#), avec un fond dédié qui peut accorder certains financements pour les projets de CSC selon la région considérée et les priorités des Etats membres.

Par ailleurs, le Fonds vert pour le climat a été spécifiquement développé pour accompagner les pays en développement à respecter l'Accord de Paris. Le Fonds vert pour le climat propose ainsi une série d'outils financiers comme des subventions, des garanties de prêt, des prêts concessionnels et des prises de participation. L'alliance du fonds avec des investisseurs privés permet de réduire les risques et de rendre les efforts de réduction du changement climatique viables<sup>1</sup>. Enfin, de nouveaux mécanismes sont mis en place par les Etats, comme les Pays-Bas, qui dans la révision de leur programme SDE++ (Stimulation Scheme Sustainable Energy Transition), ont élargi le portefeuille de technologies éligibles du mécanisme, en intégrant le CCS<sup>2</sup>.

## CONTRAINTES ET LIMITES LIÉES À LA RENTABILITÉ DE CES PROJETS

### Un défi technico-économique

Les coûts des projets de CSC restent assez élevés. Bien que le prix du carbone soit en forte croissance sur le marché européen jusqu'à 70€/tonne en novembre 2021, ce prix est en-deçà des coûts des projets CSC qui oscillent entre environ 100 et 150€/tonne en moyenne pour les plus gros émetteurs. Les industriels n'ont donc pas encore d'incitation économique à investir dans les CCS. La hausse spectaculaire des prix du carbone n'est pas nécessairement pérenne, même si un consensus se dégage autour d'une fourchette de 70€ à plus de 140€/tonne d'ici 2030<sup>3</sup>.

Les technologies CSC ne sont aujourd'hui pas les solutions de décarbonation les plus avantageuses économiquement dans les industries émettrices. Une opération classique de récupération de chaleur fatale non valorisée sur un site industriel est plus sûre et moins chère. Elle revient à 20-25€/tonne de CO<sub>2</sub> évité. En France, l'ADEME considère les solutions CSC pour atteindre la neutralité carbone en "dernière étape dans une stratégie de décarbonation commençant par les actions plus matures et performantes (l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables)", les CSC restant "un pari risqué"<sup>4</sup>.

1 Source : *Global Status of CCS 2021*

2 Source : Ifri

3 Source : Aker Carbon Capture Capital Market Day, Sept 2021)

4 Le captage et stockage géologique de CO<sub>2</sub> (CSC) en France : un potentiel limité pour réduire les émissions industrielles, Les Avis de l'ADEME, Juillet 2020

Ainsi, si chaque maillon de la chaîne logistique du CSC est considéré comme mature techniquement, des investissements conséquents sont encore nécessaires pour réduire les coûts des technologies de captage d'une part et permettre la création de hubs d'infrastructures partagées d'autre part. Une marge de progression conséquente est accessible via l'entrée de nouveaux acteurs permettant une compétition accrue et le financement de R&D par des programmes nationaux et internationaux. Dans le secteur de l'électricité par exemple, le coût du captage a baissé de 35% entre la première et la deuxième installation CSC à grande échelle et cette dynamique pourrait se poursuivre dans certains secteurs<sup>1</sup>. Il est à noter tout de même qu'en dehors des sites avec des gisements conséquents de CO<sub>2</sub> (émissions importantes ou concentration importante dans les fumées), ces technologies resteront très coûteuses puisque la concentration des fumées et du gisement reste le facteur physique limitant principal à la baisse des coûts.

### Un défi d'acceptabilité sociale

Les CSC étant un procédé encore mal connu du public, l'opposition sociétale locale constitue un défi conséquent lors du développement de stockage onshore. Ces défis d'acceptabilité renvoient à la perception par les populations de la sécurité du stockage et des risques de fuite de CO<sub>2</sub> à court ou à long terme. Aux Pays-Bas par exemple, le projet Barendrecht a été annulé par le gouvernement suite à une opposition très forte contre le stockage du CO<sub>2</sub> dans un réservoir géologique sous la ville. Des problèmes similaires ont eu lieu en Allemagne dans les années 2010. Pour ces raisons, les nouveaux projets de stockage en Europe ne s'envisagent aujourd'hui qu'en offshore, où l'acceptabilité sociale est un moindre problème. Or les plus grandes capacités de stockage se trouvent onshore (160 Gt estimées par l'AIE). A tel point que le recours aux seules capacités de stockage offshore pourrait être un facteur physique limitant de la stratégie de décarbonation du secteur énergétique européen. De plus, le recours à des projets offshore limite les potentiels du CSC car de nombreux sites d'émissions de CO<sub>2</sub> seront hors de portée des zones de stockage. Enfin, le stockage offshore augmente les coûts du transport et du stockage de manière conséquente. Un effort substantiel de pédagogie auprès des populations locales mais aussi de maîtrise des risques de fuite doit être mis en place pour le stockage.

Au-delà de la perception des risques physiques, les débats sur l'acceptabilité des projets de CSC portent également sur le risque que les investissements dans le CSC se fassent au détriment d'investissements dans des technologies et énergies durables. En effet, on pourrait voir dans certains projets CSC notamment liés à la décarbonation des projets d'exploitation des énergies fossiles une manière de poursuivre l'exploitation de ces sources d'énergie sans changement. Le risque d'acceptation de ces projets face à une société et des investisseurs de plus en plus sensibles aux sujets environnementaux est à considérer.

<sup>1</sup> Source : A. Baylin-Stern et N. Berghout, « Is Carbon Capture Too Expensive? », AIE, 17 février 2021

## Des verrous réglementaires non réglés

Plusieurs étapes des CSC font l'objets de certains verrous réglementaires :

- **Transport autre que pipelinier** : Ces modes de transport du CO<sub>2</sub> ne sont pas inclus dans le marché ETS. Cela signifie qu'un industriel soumis au marché carbone européen faisant transporter son CO<sub>2</sub> capté via camion ou bateau devra payer les quotas correspondants. Si de nombreux projets de CSC prévus en Europe reposent sur le transport par gazoducs, d'autres utiliseront d'autres types de transport (comme le bateau, moyen de transport principal prévu dans le projet Northern Lights).
- **Stockage offshore** : Pour le stockage offshore, le cadre législatif ne permet pas encore l'exportation de déchets hors des frontières du pays émetteur. Le CO<sub>2</sub> est considéré actuellement comme un déchet. Le protocole de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchet a été amendé sur ce point en 2006 mais cet amendement n'est pas entré en vigueur puisque seules 7 des 50 parties intéressées l'ont ratifié. Un accord a été récemment trouvé permettant de contourner cette législation si une convention bipartite est signée entre l'exportateur et le receveur. Ces montages restent cependant complexes en l'état.
- **Utilisation** : Pour ce qui est de la valorisation du CO<sub>2</sub>, elle n'est pas considérée comme une action de réduction des émissions. Les industries souhaitant valoriser leur CO<sub>2</sub> émis (via sa vente à un autre industriel pour utilisation par exemple) doivent le comptabiliser dans leurs propres émissions s'il n'est pas stocké de façon définitive et payer le prix correspondant s'ils sont soumis au marché ETS. Celui qui utilise le carbone valorisé n'a pas à le comptabiliser dans ses émissions directes si le carbone est rejeté dans l'atmosphère, afin d'éviter un double comptage.
- **Responsabilité en cas de fuite** : Au niveau Européen, cette responsabilité est régie par la directive CSC qui permet d'harmoniser entre les Etats la gestion de la sécurité des captages, transport et stockage du CO<sub>2</sub>. Dans la pratique, ces règles font débat notamment concernant le potentiel de responsabilités non plafonnées en matière de fuite de CO<sub>2</sub>, associées à un prix du carbone imprévisible. Aucune révision de la directive n'est prévue dans un avenir proche.



POUR CONCLURE

## POUR CONCLURE

Les solutions de capture carbone représentent des technologies ayant un potentiel non négligeable dans la lutte contre le changement climatique. Néanmoins, il n'y a pas à l'heure actuelle de consensus sur le rôle de ces solutions dans les différents scénarios d'adaptation. D'un point de vue technique, chaque maillon de la chaîne est considéré comme mature mais les conditions d'application dans les projets dépendent de nombreux facteurs (concentration de CO<sub>2</sub>, infrastructures mutualisées, réglementations, conditions de transport, ...).

Des investissements financiers et des besoins en R&D sont donc nécessaires pour développer ces technologies et leur permettre de jouer un vrai rôle dans la décarbonation de nos économies. A ce sujet, de forts potentiels existent actuellement grâce aux mécanismes de financements et la hausse du prix du carbone, suite à l'engagement plus important des pays vers la contribution à la neutralité carbone.

Il est important de rappeler certaines limites et risques liés à la mise en place de ces technologies comme les capacités limitées de stockage du CO<sub>2</sub>, l'utilisation des sols et de l'eau, les conséquences sociales qui en découlent, l'impact global sur le climat des projets, et les potentielles fuites lors du stockage et du transport. Une prise de position forte de la part des Etats et instances internationales permettra également de limiter les risques financiers liés à l'incertitude sur le rôle de ces solutions de capture carbone et leur capacité à être matures sur le moyen et long terme.

### Sources pour graphiques et figures

Graphiques et figures pages : 2, 8, 17, 18,  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS\\_in\\_clean\\_energy\\_transitions.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/181b48b4-323f-454d-96fb-0bb1889d96a9/CCUS_in_clean_energy_transitions.pdf)

Graphiques et figures pages : 4, 5, 7, 9,  
<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/81-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html>

Graphiques et figures pages : 12  
<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/69-avis-de-l-ademe-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html>

Graphiques et figures pages : 6, 10, 13  
<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4975-valorisation-du-co2-quels-benefices-sous-quelles-conditions-.html>

Graphiques et figures pages : 16 (les deux graphiques), 24, 25  
<https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/>



# ANNEXES



TABLEAU DE LA PAGE 35

<p>Type d'activité</p>	<p>Recherche, développement et innovation pour le captage direct du CO<sub>2</sub> de l'air</p>	<p>Transport de CO<sub>2</sub>e - incluant la construction et l'exploitation de pipelines de CO<sub>2</sub> et l'adaptation de réseaux gaziers lorsque l'objectif principal est l'intégration de CO<sub>2</sub> capté</p>	<p>Stockage géologique souterrain permanent de CO<sub>2</sub> - incluant le stockage permanent de CO<sub>2</sub> capté dans des strates géologiques souterraines appropriées</p>
<p>Code NACE</p>	<p>M71.1.1.2 et M72.1</p>	<p>F42.21 et H49.50</p>	<p>E39.00</p>
<p>Critères d'examen technique - Contribution substantielle à l'atténuation du changement climatique</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des activités de recherches sont dédiées à la Capture Directe de CO<sub>2</sub> dans l'Air</li> <li>La mise en œuvre de ces technologies "a le potentiel d'entraîner des réductions globales des émissions nettes de GES une fois celles-ci commercialisées"</li> <li>Une analyse du cycle de vie de la technologie sur les émissions de GES a été menée et vérifiée par un tiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le CO<sub>2</sub> transporté depuis l'installation où il est capté vers le point d'injection n'entraîne pas de fuites de CO<sub>2</sub> supérieures à 0,5 % de la masse de CO<sub>2</sub> transportée.</li> <li>Le CO<sub>2</sub> est acheminé vers un site de stockage permanent de CO<sub>2</sub> répondant aux critères en matière de stockage géologique souterrain du CO<sub>2</sub> (voir ci-contre) ou vers d'autres modalités de transport, menant à un site de stockage permanent de CO<sub>2</sub> répondant à ces critères.</li> <li>Des systèmes appropriés de détection des fuites sont en place et un plan de surveillance, dont le rapport est vérifié par un tiers indépendant, est mis en place.</li> <li>Cette activité peut comprendre l'installation d'actifs augmentant la flexibilité et améliorant la gestion d'un réseau existant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une caractérisation et une évaluation du complexe de stockage potentiel et de la zone environnante sont réalisées afin d'établir si la formation géologique convient pour une utilisation comme site de stockage de CO<sub>2</sub>.</li> <li>S'agissant de l'exploitation de sites de stockage géologique souterrain du CO<sub>2</sub>, y compris les obligations liées à la fermeture et celles faisant suite à la fermeture de sites : (a) des systèmes appropriés de détection des fuites sont mis en œuvre pour empêcher les rejets en cours d'exploitation; (b) un plan de surveillance des installations d'injection, du complexe de stockage et, le cas échéant, de l'environnement avoisinant, dont les rapports réguliers sont vérifiés par l'autorité nationale compétente, est en place.</li> <li>S'agissant de l'exploration et de l'exploitation de sites de stockage au sein de l'UE, l'activité est conforme à la directive 2009/31/CE. S'agissant de l'exploration et de l'exploitation de sites de stockage dans des pays tiers, l'activité est conforme à la norme <a href="#">ISO 27914:2017</a> relative au stockage géologique de CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
<p>Critères d'examen technique - Ne cause pas de préjudice important</p>	<p><b>Adaptation</b> : Les risques climatiques ayant un impact potentiel sur l'activité ont été identifiés. Un plan d'adaptation est prévu et des solutions d'adaptation sont intégrées à l'infrastructure.  <b>Ressources en eau</b> : Évaluation des risques potentiels pour le bon état ou le bon potentiel écologique des masses d'eau  <b>Economie circulaire</b> : Évaluation des risques potentiels pour les objectifs liés à l'économie circulaire  <b>Contrôle de la pollution</b> : Évaluation des risques potentiels susceptibles d'entraîner une augmentation notable des émissions de polluants dans l'air, l'eau ou le sol  <b>Protection et rétablissement de la biodiversité</b> : Évaluation des risques potentiels pour le bon état ou la résilience des écosystèmes ou pour l'état de conservation des habitats et des espèces</p>	<p>Un plan d'adaptation est prévu et des solutions d'adaptation sont intégrées à l'infrastructure.</p>	<p>Un plan d'adaptation est prévu et des solutions d'adaptation sont intégrées à l'infrastructure.</p>
<p>Critère de respect des garanties sociales</p>	<p>Respect des conventions de l'Organisation internationale du Travail          Respect des Droits Humains          Pas de travail forcé</p>	<p>Respect des conventions de l'Organisation internationale du Travail          Respect des Droits Humains          Pas de travail forcé</p>	<p>Respect des conventions de l'Organisation internationale du Travail          Respect des Droits Humains          Pas de travail forcé</p>



*Ce document est exclusivement conçu à des fins d'information. Les données chiffrées, commentaires ou analyses figurant dans ce document reflètent le sentiment à ce jour de Crédit Mutuel Asset Management sur les marchés, leur évolution, leur réglementation et leur fiscalité, compte tenu de son expertise, des analyses économiques et des informations possédées à ce jour. Ils ne sauraient toutefois constituer un quelconque engagement ou garantie de Crédit Mutuel Asset Management. Les informations faisant référence à des instruments financiers contenues dans ce document ne constituent en aucune façon un conseil en investissement et leur consultation est effectuée sous votre entière responsabilité. Toute reproduction de ce document est formellement interdite sauf autorisation expresse de Crédit Mutuel Asset Management.*

*Ce white paper a été réalisé en collaboration avec BL Evolution – Camille Jammes, Eliot Geoffroy, Benoît Galetto et Sylvain Boucherand. Nous remercions également Thomas Berly, expert CCUS indépendant, ainsi qu'Emmanuel Retif, Analyste ESG chez Crédit Mutuel Asset Management, pour leur participation.*