

## RAPPORT DES ATELIERS



Prix  
Médiation

**CAPTURER ET STOCKER LE CARBONE EN FRANCE ET EN EUROPE,  
UN FAIT ACCOMPLI ? QUELLE SOUTENABILITÉ DÉMOCRATIQUE ?**

PROMOTION HUBERT REEVES

## LES ATELIERS DU CYCLE NATIONAL

**En 2024 les ateliers se sont déroulés entre mars et octobre.** Ce travail est conduit dans le cadre du cycle national sur une durée de cinq journées officielles et des temps de travail des auditeurs entre les séances. Ils ont pour vocation de conforter les dynamiques de travail collaboratif, de mobiliser l'intelligence collective entre les auditeurs, de permettre une analyse des dynamiques d'acteurs à l'œuvre dans les rapports science-société, d'apprendre à gérer des controverses et chercher des consensus entre acteurs aux intérêts très divergents. Cela nécessite un travail d'investigation mené avec l'aide d'un animateur et la rencontre d'un certain nombre de personnes invitées à la demande des auditeurs, en concertation avec l'animateur afin d'entraîner les auditeurs à effectuer des préconisations pour éclairer la prise de décision.

Les **auditeurs ne sont pas spécialistes du sujet.** Ils doivent, à l'issue de leurs travaux d'investigation, en **effectuer une synthèse, sans prétendre ni à l'exhaustivité, ni à l'expertise.** La **synthèse doit en revanche dégager les principales problématiques, en choisir quelques-unes à traiter en formalisant les interrogations, étonnements, controverses, et résultats du groupe, éventuellement, si cela est possible proposer des pistes d'actions propres à éclairer les décideurs.** Le jour de la clôture du cycle, les auditeurs présentent leurs travaux devant un jury, rassemblé par l'IHEST. Une note de cadrage présentant le sujet de l'atelier est remise aux auditeurs au démarrage de travaux (voir Annexes).

Le jury de l'IHEST a attribué à ce travail des auditeurs et auditrices de la promotion Hubert Reeves 2024, le prix "Médiation"

Ce rapport a été présenté devant les sénateurs et députés membres de l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) le 12 décembre 2024.



**Capter et stocker le carbone en France et en Europe, un fait accompli ?  
Quelle soutenabilité démocratique ?**

## SOMMAIRE

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>5</b>
AUDITRICES ET AUDITEURS DE L'ATELIER.....	6
ANIMATION DE L'ATELIER.....	6
PERSONNALITES RENCONTREES.....	6
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>CHAPITRE I</b>	
<b>URGENCE ÉCOLOGIQUE ET</b>	
<b>TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION.....</b>	<b>9</b>
Le cadre réglementaire de la neutralité carbone.....	9
Les puits naturels.....	9
La capture et le stockage géologique du CO2 (CCS - Carbone Capture and Storage).....	10
La capture.....	10
La capture “en sortie de cheminée”.....	11
La capture et stockage du carbone sur les productions d'énergie à partir de biomasse (BECCS).....	11
La capture direct dans l'air : Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS).....	12
Le transport et le stockage.....	12
Un équilibre à trouver entre puits naturels et puits technologiques.....	12
<b>CHAPITRE 2</b>	
<b>LE CCS : UN LEVIER DE LA TRANSITION</b>	
<b>PRÉSENTÉ COMME UNE ÉVIDENCE</b>	
<b>PAR SES PROMOTEURS.....</b>	<b>14</b>
Une solution réputée incontournable.....	14
1. Décrédibilisation des leviers d'action non technologiques.....	15
2. Les verrous technologiques : des défis et opportunités à saisir ?.....	16
Un modèle socio-économique clé en main ?.....	16
1. le CCS : une porte de sortie pour gérer les actifs échoués.....	16
2. Transformer l'incertitude en risque : des chiffres faciles à intégrer dans des modèles économiques.....	17
<b>CHAPITRE 3</b>	
<b>MAIS LE CCS, CE SONT AUSSI DES QUESTIONS...</b>	
<b>ET DES INCERTITUDES.....</b>	<b>18</b>
Une efficacité technologique à démontrer.....	18
L'absence d'évaluation environnementale globale.....	20
Une viabilité économique en question.....	20
Des risques identifiés.....	22
Un cadre réglementaire à construire.....	22
Une concurrence entre le CCS et d'autres actions.....	23
Une acceptabilité sociale à rechercher.....	24
<b>CHAPITRE 4</b>	
<b>LÉGITIMITÉ ET CRÉDIBILITÉ DU DÉBAT</b>	
<b>PUBLIC DANS LE CCS.....</b>	<b>25</b>
Pourquoi le choix de la démocratie et de la participation citoyenne dans le CCS ?.....	26
Avec qui, par qui, pour qui mener le débat public ?.....	27

Qui prendrait part aux débats publics ?.....	28
Quelles questions et sujets sont à débattre publiquement dans le CCS ?.....	28
Objets du débat.....	28
Formes du débat.....	29
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>32</b>
<b>Lexique des acronymes.....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>33</b>
NOTE DE CADRAGE DE L'ATELIER.....	33

# Capter et stocker le carbone en France et en Europe, un fait accompli ? Quelle soutenabilité démocratique ?

## RÉSUMÉ

Les « technologies de captage et stockage du carbone » (le CCS) englobent un ensemble de solutions allant de la capture du carbone à la sortie des cheminées industrielles, à la capture directe du carbone dans l'air, en passant par des techniques utilisant la combustion de la biomasse. Ces technologies s'intègrent dans une chaîne de valeur complète comprenant la capture, le transport et le stockage du CO<sub>2</sub>.

Les puits naturels de carbone, notamment les forêts et les océans, ne permettant pas a priori de compenser le CO<sub>2</sub> qui est émis, ces technologies sont en général présentées comme une évidence. Or, elles affichent des niveaux de maturité variables, et des incertitudes subsistent quant à leurs modèles économiques et au cadre réglementaire qui les régit. Si la capture du carbone directement à la source, là où il est émis, semble pertinente pour certains secteurs, en raison de la maturité de la technologie et de son faible coût énergétique, d'autres approches apparaissent plus incertaines et risquées.

Par ailleurs, comment garantir que l'essor de ces technologies n'incite pas au moindre effort dans le développement des puits naturels, encourage les industriels à éviter de réduire leurs émissions ou les consommateurs à ne pas diminuer leur consommation énergétique ? Ne faudrait-il pas limiter l'utilisation des CCS à une période temporaire, le temps de développer des technologies de décarbonation industrielle plus efficaces ?

Puisque le CCS semble devoir être réservé aux émissions résiduelles incompressibles, il est essentiel de définir clairement cette notion dans la législation.

L'utilisation des CCS soulève également des questions plus larges sur la gestion industrielle et démocratique du carbone. La gestion du carbone est l'affaire de tous ; et pourtant, les discussions autour des technologies CCS restent encore largement limitées aux experts. Il est donc crucial de mettre rapidement en place des espaces de dialogue, d'échange et de concertation sur ce sujet, afin de permettre un débat public plus large et transparent.

## AUDITRICES ET AUDITEURS DE L'ATELIER

**Laurent BARBIERI**, Délégué Régional - CNRS Rhône Auvergne ;

**Lucile DELMAS**, Directrice adjointe département ODE - IFREMER ;

**Rémi DURIEUX**, Coordinateur scientifique - ADEME ;

**Olivier HIRT**, Responsable du développement de la recherche - ENSCI Les Ateliers ;

**Catherine MALEK**, Directrice Relations presse et Réseaux sociaux - SAFRAN ;

**Matthieu MARCHAL**, Directeur recherche-action-crédation territoriale - Les Chaudronneries ;

**Arnaud MIAS**, Professeur des universités - Université Paris Dauphine - PSL ;

**Béatrice NOËL**, Cheffe de département Défis sociétaux et environnementaux -

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ;

**Elise ROY**, Conseillère discours et relations avec les intellectuels - Secrétaire générale CFDT ;

**Marie VANDERMERSCH**, Responsable projet Sciences humaines et sociales - CEA

## ANIMATION DE L'ATELIER

**Laurent TESTOT**, journaliste scientifique

## PERSONNALITES RENCONTREES

**Pierre GILBERT**, prospectiviste sur les risques climatiques, auteur de Géomimétisme, réguler le changement climatique grâce à la nature (2022) / « Capturer le carbone, pourquoi et comment ? »

**Benjamin TINCQ**, co-fondateur de Marble (créateur de startups spécialisées dans les technologies climatiques) / « Capturer du CO<sub>2</sub> atmosphérique : pourquoi et comment ? »

**Sylvain DELERCE**, directeur de recherches associé de l'ONG Carbon Gap / « L'élimination du dioxyde de carbone atmosphérique »

**Elena MAKSIMOVICH**, fondatrice de la startup Weather Trade Net / « Anticiper, éviter et réduire les émissions de GES grâce à la gestion des risques physiques liés au climat »

**Sofia KABBEJ**, chercheuse associée à l'IRIS et doctorante à l'Université du Queensland (Australie) / « Géopolitique et technologies carbone »

**Frederick LOCKWOOD**, président d'OCEOS / « Transport du carbone par bateaux et barges pour le CCS »

**Éric BERGÉ**, chef de projet Industrie lourde pour Le Shift Project /  
« le CCS dans l'industrie »

**Jean-Pierre HAUET**, fondateur du think tank EDEN (Equilibre Des Energies) /  
« Capturer et séquestrer le carbone »

**Florence DELPRAT-JANNAUD**, directrice du Centre de résultats produits énergétiques  
à l'IFP Energies Nouvelles / « Captage, stockage et utilisation du CO<sub>2</sub> »

**Michel LE VAN KIEM**, directeur Développement et Innovation au grand port maritime  
de Bordeaux / « Le dioxyde de carbone : des opportunités pour une Zone Industrielle  
Bas Carbone (ZIBaC) ? »

**Sébastien JAFFROT**, directeur adjoint à la direction risques et prévention au BRGM  
et co-auditeur de la promotion IHEST 2024 / « Etat des lieux sur le stockage du carbone  
dans le sous-sol en France »

# INTRODUCTION

Au début des années 2000, de nombreux projets de capture et stockage du CO<sub>2</sub> ont été lancés avant d'être finalement abandonnés. Depuis 4-5 ans, face à l'importance des défis climatiques et à l'absence d'inflexion suffisante des trajectoires de décarbonation, on assiste à un regain d'intérêt pour ces technologies, qui sont aujourd'hui citées dans le dernier rapport du groupe 3 du Giec. Ce regain d'intérêt ne relève toutefois pas d'un mouvement strictement cyclique : le panel de solutions technologiques à disposition semble s'être étoffé et, au-delà du soutien aux innovations technologiques, l'attention se porte désormais sur la structuration et l'organisation d'une filière industrielle techniquement cohérente et économiquement viable. Le présent rapport d'étonnement, qui résulte d'un travail collectif mené par dix auditeurs de la promotion 2024 du cycle de l'IHEST, cherche à expliciter les enjeux de la capture et du stockage du carbone (le CCS) tels qu'ils sont affichés et tels qu'ils nous sont apparus en creux.

Au fil des entretiens que nous avons eus avec divers experts, scientifiques et parties prenantes spécialistes de la problématique du cycle carbone et/ou du CCS, une question majeure s'est petit à petit imposée à nous : le CCS, qui recouvre un panel de technologies complexes, participe-t-il d'une gouvernance démocratique du carbone ou le recours à cet ensemble de technologies, qui échappe aux non-spécialistes, est-il une façon commode de s'exonérer d'un débat de fond sur la gestion collective de nos émissions de gaz à effet de serre ? Quel espace et quelles modalités de discussion mettre en place pour déconfiner le débat et faire du déploiement du CCS une occasion de discuter des priorités que nous nous donnons et des risques que nous sommes prêts à prendre ? Sans prétendre apporter une expertise technique sur le sujet, le présent rapport s'efforce de clarifier les notions et les arguments avancés par les acteurs de la filière pour présenter le CCS comme une solution incontournable. Il n'en demeure pas moins que certaines incertitudes demeurent et que la mise en place d'un débat de fond sur ce sujet nous paraît nécessaire pour identifier les angles morts et poser clairement sur la table les options qui se présentent et les choix de société qu'elles impliquent.

# CHAPITRE I

## URGENCE ÉCOLOGIQUE ET TRAJECTOIRES DE DÉCARBONATION

### Le cadre réglementaire de la neutralité carbone

À l'échelle mondiale, le Giec estime dans son rapport de 2018<sup>1</sup> qu'il convient d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 afin de limiter le réchauffement planétaire à 1,5°C. Cet objectif est également défini dans les Accords de Paris (2015).

À l'échelle européenne, le Parlement a adopté la loi sur le climat le 24 juin 2021. Celle-ci rend juridiquement contraignant l'objectif de réduction des émissions de 55 % d'ici à 2030 et celui de neutralité carbone d'ici à 2050.

En France, deux premières Stratégies Nationales Bas Carbone (SNBC, 2015 ; 2020) ont été publiées, afin de définir les grands objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), ainsi que les budgets carbone à respecter pour les années à venir. Selon la Loi Énergie Climat (2019)<sup>2</sup>, la trajectoire de réduction et d'absorption des GES doit permettre d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

### Les puits naturels

Atteindre la neutralité carbone suppose de réussir à capturer autant de carbone que ce qui est émis. Deux sortes de puits permettent de capturer le carbone : les puits naturels (forêts, océans, etc.) et les puits technologiques.

L'océan a la plus grosse capacité de stockage parmi les puits de carbone et ce, grâce au phytoplancton, aux coraux et aux poissons. Les forêts concentrent du carbone dans le bois, les racines et les sols à travers la photosynthèse. Le changement climatique fragilise le puits de carbone forestier<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Rapport spécial du Giec sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté.

<sup>2</sup> D'après la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, la neutralité carbone est entendue comme "un équilibre, sur le territoire national, entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre, tel que mentionné à l'article 4 de l'accord de Paris ratifié le 5 octobre 2016".

<sup>3</sup> Rapport annuel du Haut Conseil pour le Climat, RA 2024

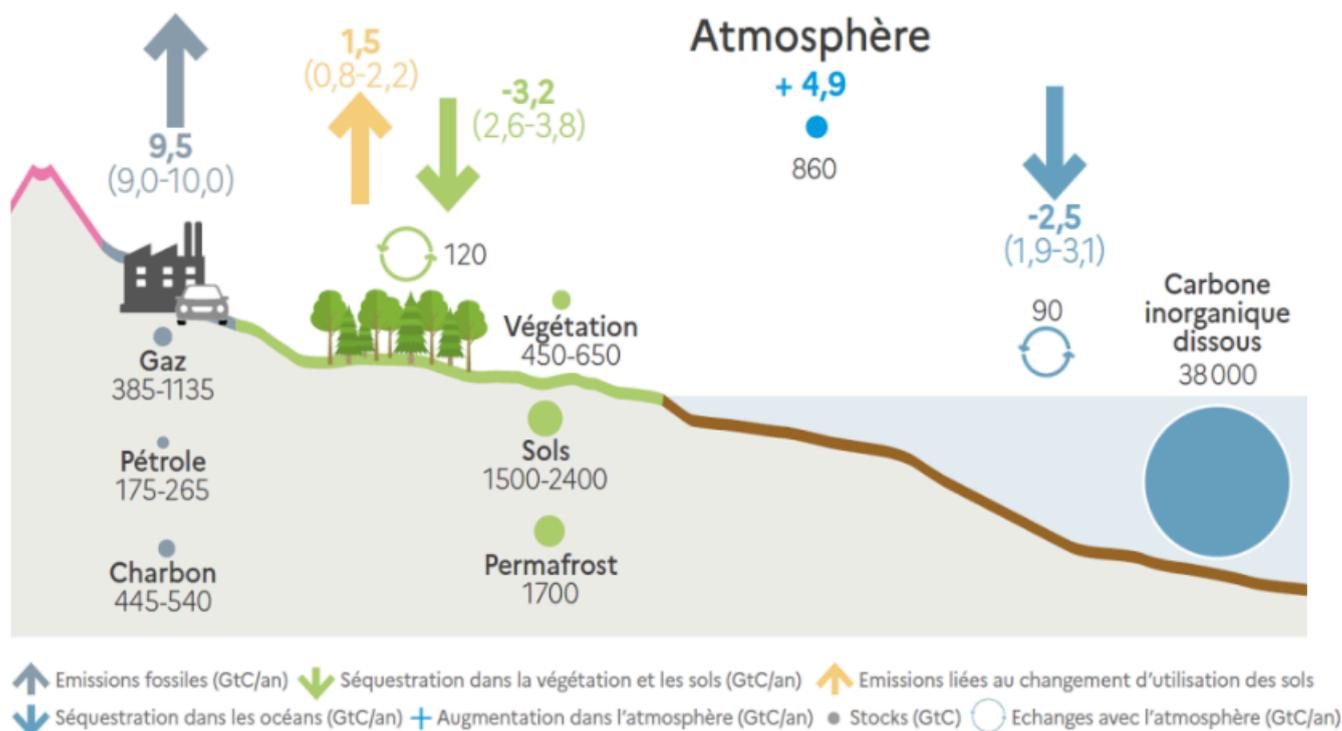


Figure 1 : Stocks et flux de carbone entre 2009 et 2018 en Gt de carbone par an (Friedlingstein et al., 2019)

## La capture et le stockage géologique du CO<sub>2</sub> (CCS - Carbone Capture and Storage)

Aujourd'hui, les puits de stockage naturels sont dépassés par nos émissions de CO<sub>2</sub> et risquent d'être fragilisés encore davantage par les conséquences du réchauffement climatique. Il est alors fait appel à la science et à des nouvelles technologies pour absorber ce surplus.

### La capture

Le CCS désigne les technologies permettant de capturer le CO<sub>2</sub> à la sortie des cheminées des centrales électriques ou d'installations industrielles, de le comprimer, de le transporter vers un site de stockage et de le stocker sous terre. Ainsi, le CCS consiste en l'assemblage de plusieurs briques technologiques qui forment une chaîne (Figure 2) destinée à séparer le CO<sub>2</sub> des fumées et le stocker dans le sous-sol (à plus de 1 000 m de profondeur).

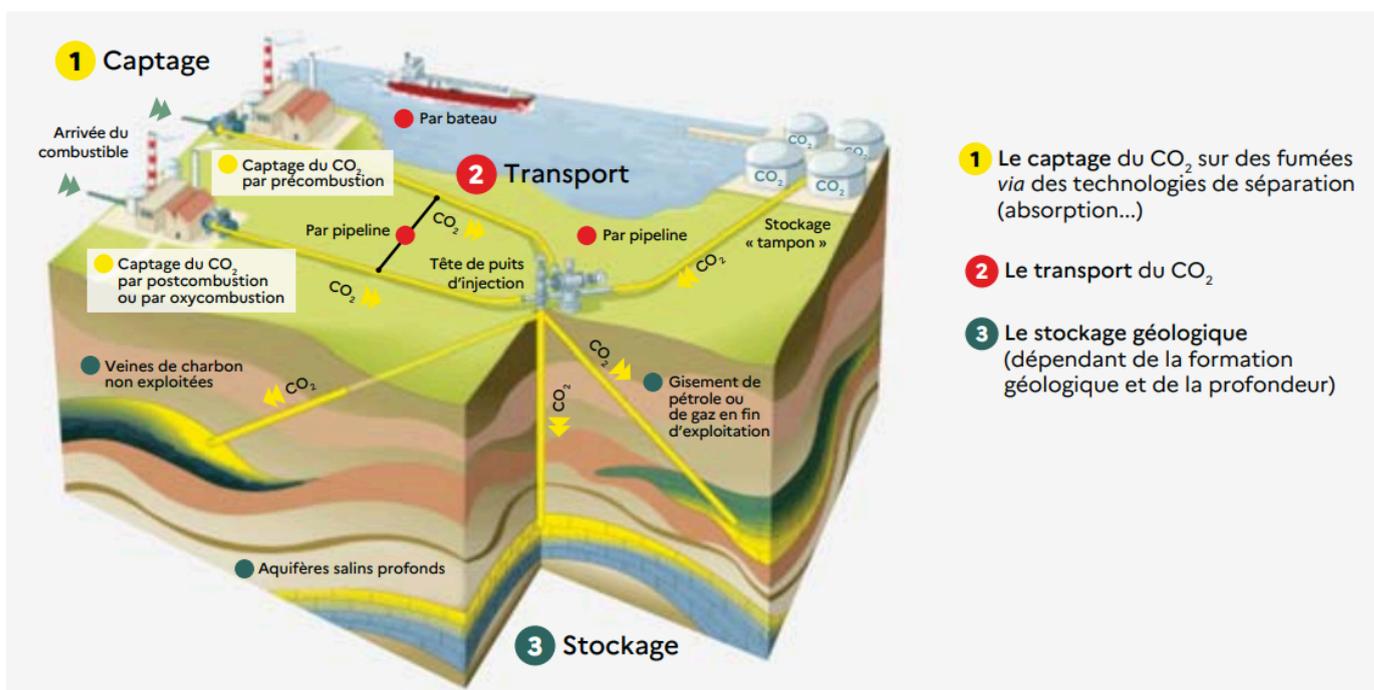


Figure 2 : Chaîne CCS : captage, transport et stockage géologique du CO<sub>2</sub> (ADEME, Transition(s) 2050, page 622)

Ces technologies peuvent viser à capturer les émissions liées à la combustion d'énergies fossiles (CCS), celles issues de biomasse pour la production d'énergie (bioenergy with carbon capture and storage [BECCS]) ou directement le CO<sub>2</sub> présent dans l'atmosphère (direct air carbon capture and storage [DACCS]). Une alternative au stockage est l'utilisation du CO<sub>2</sub> ainsi capturé comme ressource pour élaborer des produits, comme des biocarburants ou des plastiques (carbon capture, utilization and storage [CCUS]).

### La capture "en sortie de cheminée"

Le CO<sub>2</sub> est capturé directement au point d'émission, liquéfié puis transporté et enfin stocké dans des réservoirs géologiques stables. Cela correspond à la définition stricte de la capture et du stockage de carbone (CCS). Cette technique est adaptée à certaines filières – cimenteries, aciéries, centrales à charbon – qui requièrent pour leurs process de hautes températures et génèrent donc de fortes concentrations de CO<sub>2</sub>.

### La capture et stockage du carbone sur les productions d'énergie à partir de biomasse (BECCS)

Certaines unités industrielles utilisent de la biomasse comme combustible ou comme matière première. Or cette biomasse a préalablement capturé le CO<sub>2</sub> pour sa croissance. Ainsi, sa combustion entraîne la réémission du CO<sub>2</sub> capturé. L'ajout d'un module CCS à ce type d'unité permet de neutraliser cette réémission dès lors que le CO<sub>2</sub> est stocké. La faible concentration en CO<sub>2</sub> des fumées issues de la combustion de la biomasse combinée à la

faible performance des matériaux innovants nécessaire à la séparation du CO<sub>2</sub> ne permettent pas, à ce stade, une réelle viabilité économique (Dziejarski et al., 2023).

### La capture direct dans l'air : Direct Air Carbon and Storage (DACCS)

Le CO<sub>2</sub> est « filtré » dans l'air ambiant à l'aide d'un absorbant, d'un solvant ou d'une membrane. C'est la technologie la plus récente et la filière est encore à un stade expérimental. En 2022, la plus grande installation de captage direct de CO<sub>2</sub> dans l'air au monde, en Islande, n'éliminait que 4 000 tonnes de CO<sub>2</sub> environ. Tous projets confondus, ce sont environ 10 000 tonnes de CO<sub>2</sub> qui ont ainsi été retirées de l'atmosphère cette année-là, alors que l'humanité en a émis, dans le même temps, quelque 40 milliards de tonnes. Le « DACCS » est encore actuellement le moyen le plus coûteux de capturer du CO<sub>2</sub>, celui-ci étant très dilué dans l'atmosphère en comparaison avec les fumées d'une centrale électrique ou d'une cimenterie.

### Le transport et le stockage

Pour son transport, « le CO<sub>2</sub> capturé est liquéfié pour réduire le volume qu'il occupe, puis acheminé vers le lieu de stockage par canalisation, bateau, train ou camion », développe Florence Delprat-Jannaud, coordinatrice du projet CO<sub>2</sub> à IFPEN. Puis vient l'étape de stockage, qui « peut être effectué dans diverses structures souterraines, situées à plus 800 mètres de profondeur : des aquifères salins profonds (des couches de roches poreuses et perméables gorgées d'eau salée non potable), des gisements pétroliers et gaziers épuisés ou encore des roches magmatiques (basaltes, péridotite...). ». Selon Jean-Pierre Hauet, du think tank EDEN, les anciens réservoirs pétroliers ou gaziers constituent l'option la plus facile à mettre en œuvre. Il est en effet possible d'injecter le CO<sub>2</sub> via des puits déjà existants. Florence Delprat-Jannaud considère que les aquifères salins, par leur grand nombre, offrent les plus grandes capacités de stockage. En France, le BRGM mène des études sur les capacités de stockage et les méthodes adaptées au sein de couches géologiques stables. Selon le Giec, ces formations géologiques pourraient stocker 10 000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> dans le monde, soit un volume suffisant pour emmagasiner la totalité de nos émissions de CO<sub>2</sub> pour les siècles à venir.

### Un équilibre à trouver entre puits naturels et puits technologiques

L'ADEME a publié en 2021 une étude prospective dans laquelle quatre scénarios (de S1 à S4, voir Figure 3) décrivent quatre chemins différents pour atteindre la neutralité carbone. Les scénarios mobilisent de manière différenciée les puits naturels et les puits technologiques. Le scénario 1, appelé "Génération frugale", vise une augmentation des puits

naturels entre 2017 et 2050 sans avoir recours aux puits technologiques. Au contraire, le scénario 4, appelé "Pari réparateur", s'appuie essentiellement sur les puits technologiques pour atteindre la neutralité carbone.

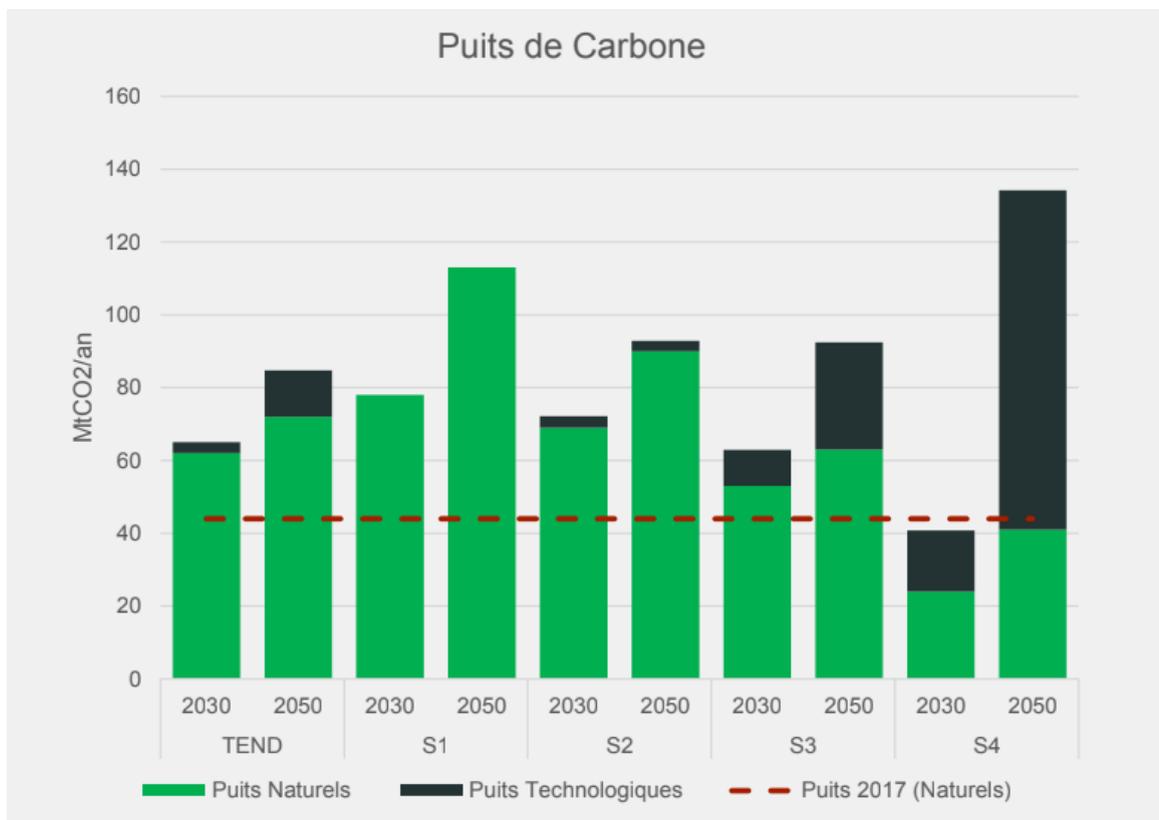


Figure 3 : Puits de carbone en 2030 et 2050 dans les scénarios Transition(s) 2050, ADEME

## CHAPITRE 2

# LE CCS : UN LEVIER DE LA TRANSITION PRÉSENTÉ COMME UNE ÉVIDENCE PAR SES PROMOTEURS

Le recours aux technologies de capture et de stockage du carbone peut être plus ou moins intensif selon la trajectoire vers la neutralité carbone. Elles font donc l'objet d'une attention soutenue, tant de la part des pouvoirs publics que des investisseurs privés. Dans une communication datant de février 2024, la Commission européenne promeut ainsi une stratégie ambitieuse de « gestion industrielle du carbone », appréhendée comme « un élément solide et important pour une économie durable et compétitive en Europe ». En juillet 2024, le gouvernement français a pour la première fois exposé une vision stratégique en appui d'une planification d'infrastructures pour la gestion industrielle du carbone : « État des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France »<sup>4</sup>. Cet exercice de projection vise explicitement « à fournir à l'ensemble des acteurs la visibilité réglementaire et économique leur permettant d'entreprendre leurs projets ». L'administration française y affirme la volonté de déployer des « chaînes CCUS » dès l'horizon 2030 et de soutenir les infrastructures de transport et de stockage sur le territoire national sous la forme de « vallées CCS », également appelées « vallées CO<sub>2</sub> ». La gestion industrielle du carbone doit se concentrer autour de « hubs CCUS » ou « hubs CO<sub>2</sub> », dont quatre correspondent à des zones industrialo-portuaires offrant la possibilité d'exporter le CO<sub>2</sub> vers des sites de stockage en mer (seule solution envisagée à court terme) : Dunkerque, Fos-sur-Mer, Le Havre et Saint-Nazaire.

Les technologies de capture et de stockage du carbone font donc l'objet de politiques volontaristes en France et en Europe, qui prennent notamment appui sur les arguments avancés par les acteurs de la filière. Si l'on ne peut parler d'un discours unifié de la part de cette filière, nous avons relevé certaines récurrences dans l'argumentation qui présentent le CCS comme une option réaliste et incontournable pour lutter contre le réchauffement climatique.

### Une solution réputée incontournable

Les acteurs de la filière auditionnés et les divers documents produits prennent soin de se placer sous l'autorité scientifique du Giec et de l'AIE, tendant à décrédibiliser *de facto* les

---

<sup>4</sup> Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, « État des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France », juillet 2024, 36 p

postures critiques vis-à-vis du CCS. Toutefois, toutes les nuances apportées par le discours scientifique ne sont pas prises en compte.

À cet argument d'autorité, vient s'ajouter l'argument de la majorité : l'engagement de nombreux pays dans des projets de CCS est souligné de manière récurrente dans diverses interventions et rapports. Les initiatives des pays pouvant jouer le rôle de caution économique (États-Unis) ou environnementale (Norvège, Danemark) sont particulièrement mises en avant : la France peut avancer en confiance derrière ces pionniers et prendrait le risque de se retrouver technologiquement dépendante et économiquement à la traîne en différant son action.

Afin de renforcer leur argumentation, les acteurs de la filière et les rapports qui prônent une stratégie volontariste prennent soin d'anticiper certains contre-arguments qui pourraient être opposés au déploiement de ces technologies. Il est ainsi régulièrement rappelé et souligné que la gestion industrielle du carbone n'a surtout pas vocation à se substituer aux politiques de sobriété et qu'il s'agit bien de mesures complémentaires. Le terme d'« émissions résiduelles » est utilisé pour montrer que le CCS ne s'oppose pas aux autres procédés de décarbonation de l'industrie et qu'il doit rester une solution de dernier recours lorsque ces procédés n'existent pas. « *La capture de carbone doit être priorisée sur les émissions résiduelles incompressibles, en l'absence d'autres solutions de décarbonation, afin de permettre une décarbonation profonde des sites industriels couverts par les marchés du carbone* »<sup>5</sup>. Benjamin Tincq, fondateur de la start-up Marble, dont l'ambition affichée est de « créer des champions industriels de la neutralité carbone », souligne malgré tout le risque de greenwashing lié aux projets d'élimination du CO<sub>2</sub> et rappelle l'importance d'une réglementation européenne pour certifier la qualité des crédits carbone octroyés.

## CCS, innovation et croissance verte

### 1. Décrédibilisation des leviers d'action non technologiques

Si elles sont reconnues comme des réponses complémentaires, voire de dernier recours, les technologies de CCS sont souvent présentées comme des solutions plus réalistes que d'autres. L'incapacité de nos sociétés à changer de modèle est régulièrement posée comme donnée d'entrée, ce qui tend à décrédibiliser les stratégies qui accorderaient un rôle accru à la transformation des modes de vie et une moindre part aux technologies de capture du CO<sub>2</sub> (scénarii S1 et S2 de l'ADEME par exemple). Les solutions basées sur la nature, qui visent à protéger et restaurer les puits de carbone naturels, ne sont pas exclues du discours des acteurs de la filière mais sont généralement abordées pour mieux souligner la fragilité des écosystèmes et les incertitudes qui pèsent sur leur capacité à absorber le CO<sub>2</sub>. Trop miser

---

<sup>5</sup> Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, « État des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France », juillet 2024, p.19-20

sur elles serait une forme d'irresponsabilité. Les leviers liés aux comportements sociaux et à la nature étant présentés comme trop incertains, les technologies de CCS seraient donc *in fine* indispensables pour suppléer à leurs insuffisances.

## 2. Les verrous technologiques : des défis et opportunités à saisir ?

Sans être niées, les incertitudes et écueils liés à la gestion industrielle du carbone sont moins présentées comme des inconvénients que comme des défis scientifiques et technologiques à relever. Jouant sur la fibre prométhéenne, les acteurs en appellent à poursuivre les recherches et à investir massivement. La multiplicité des options technologiques, qui peut pourtant complexifier le déploiement rapide d'une filière industrielle et l'alignement de toute la chaîne de valeurs, est présentée comme un avantage. Ainsi, Sylvain Delerce, de Carbon Gap, considère que « la diversité des méthodes est un atout », tandis que Benjamin Tincq, de la start-up Marble, estime qu'il faut « expérimenter sans fixer de manière trop rigide la technologie », ce qui peut apparaître contradictoire par rapport à la nécessité de déployer urgemment des solutions. En outre, le moindre degré de maturité de certaines de ces technologies relance la course à l'innovation et apparaît comme une opportunité économique à saisir.

## Un modèle socio-économique clé en main ?

### 1. le CCS : une porte de sortie pour gérer les actifs échoués

En filigrane, le discours sur le CCS présente aux décideurs une proposition technologique rassurante qui ne bouleverse pas les équilibres économiques en place. Dans une tribune parue dans *Les Échos* en avril 2024, trois directeurs du CEA pointent du doigt un CCS qui a le vent en poupe non plus simplement pour traiter les émissions résiduelles des industriels mais pour soutenir l'activité économique : « *Depuis quelques mois, cette voie CCS est envisagée par ses promoteurs comme la solution première pour décarboner l'industrie en Europe tout en préservant les emplois et en évitant les délocalisations des industries fortement consommatrices d'énergie (...). De nombreux projets dans le domaine du CCS émergent en Europe, souvent portés par des majors pétrolières et gazières.* » Rarement explicité, le lien avec l'activité pétro-gazière des projets existants est pourtant réel puisque, selon Sophia Kabbej, chercheuse à l'Iris, les acteurs pétro-gaziers sont impliqués dans 85 % des projets. Le CCS est donc une voie de reconversion et une façon de gérer les actifs échoués d'une industrie qui entend se ménager une porte de sortie.

## 2. Transformer l'incertitude en risque : des chiffres faciles à intégrer dans des modèles économiques

La nécessité d'agir en situation d'incertitude induit un discours qui présente les décisions à prendre comme relevant d'un calcul anticipant des évolutions avec une marge d'erreur relativement faible. La mobilisation récurrente de données chiffrées, principalement issues des travaux de projection et de scénarisation du Giec et de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), participe d'une « fabrique des risques » (Gilbert, 2003), ou plus précisément d'une mise en forme d'un problème comme d'un risque, d'un « équipement » du risque (Gilbert et Bourdeaux, 1997). C'est ainsi qu'est repris quasi-systématiquement le volume de CO<sub>2</sub> qu'il faudra capter et éliminer chaque année en 2050 : 5 à 6 gigatonnes à l'échelle mondiale.

Cette quantification du problème auquel la gestion industrielle du carbone doit apporter une réponse cadre la façon dont ce problème va être défini, circonscrit, et finalement mesuré. On transforme ainsi une incertitude en un risque. Cela permet alors de dessiner des choix entre des options connaissables, quantifiables, d'envisager des étapes (2030, 2040, puis 2050), ou encore des opportunités (telles ces capacités de stockage onshore et offshore qui sont elles-mêmes estimées). Ces chiffres précis autorisent l'exercice du calcul économique et l'investissement dans des infrastructures planifiées, tout en suggérant une maîtrise quantitative de notre destin collectif.

## CHAPITRE 3

# MAIS LE CCS, CE SONT AUSSI DES QUESTIONS... ET DES INCERTITUDES

Si les technologies de CCS/CCUS sont présentées par leurs promoteurs comme incontournables et réalistes, elles suscitent en même temps de nombreuses questions et incertitudes, que ce soit au niveau technique, économique, environnemental ou sociétal.

En France, le Haut Conseil pour le Climat estime que « *l'efficacité limitée des processus de capture du CO<sub>2</sub>, les pénalités énergétiques, les risques de fuites de CO<sub>2</sub> sur toute la chaîne technologique, et les aléas sur les coûts associés font peser des risques de non-performance sur les projets de CCS.* »<sup>6</sup>

### Une efficacité technologique à démontrer

La gestion industrielle du carbone recouvre un panel de technologies aux avantages, inconvénients et degrés de maturité variables. Le terme CCS, utilisé de manière générique tend à entretenir une confusion qui permet à ses promoteurs de mettre en avant les avantages de l'une ou l'autre technologie en fonction de ce qu'ils souhaitent démontrer.

Le CCS au sens strict, qui désigne la capture de CO<sub>2</sub> durant le processus industriel, a le mérite de bénéficier d'un retour d'expérience important et peut se targuer d'une certaine efficacité liée à la concentration des fumées en CO<sub>2</sub>. Mais ceci n'intervient que pour limiter de nouvelles émissions du secteur industriel dans l'atmosphère.

Les technologies BECCS et DACCS relèvent des méthodes d'élimination du carbone (EDC), qui permettent d'extraire dans l'air le CO<sub>2</sub> déjà existant : elles sont donc potentiellement beaucoup plus intéressantes dans la lutte contre le réchauffement climatique puisqu'elles créent des émissions négatives. Leur degré de maturité est en revanche bien moindre et l'efficacité des DACCS en termes de rendement énergétique n'est pas clairement établie.

Ce sont les procédés les plus matures relevant du CCS au sens strict qui sont les plus détaillés tandis que les discours restent plus évasifs sur les BECCS et les DACCS. Les technologies CCUS, qui permettent de valoriser le CO<sub>2</sub> en l'utilisant comme ressource, sont quant à elles encore en phase de recherche ou de démonstration (voir tableau ADEME 2021 ci-dessous).

---

<sup>6</sup> (HCC, 2023 : avis CCS, chap. 7, Avis CCS.pdf (hautconseilclimat.fr))

## Résumé des principales caractéristiques des familles de produits issues de la valorisation du CO<sub>2</sub>

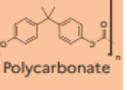
Principaux usages	Type de procédé	Maturité technologique	Sources du CO <sub>2</sub>	Demande en énergie (du captage à l'usage)	Potentiel marché	Potentiel en termes de réduction de CO <sub>2</sub>
<b>Carburants synthétiques</b> Exemples :  Power to liquid carburant	<b>Transformation chimique</b>	Échelle démonstrateur	CO <sub>2</sub> fossile <sup>13</sup>		++	
	<b>Transformation biologique</b>	Échelle laboratoire	CO <sub>2</sub> biogénique <sup>14</sup>		+++	
			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		+	

Figure 4 : ADEME, 2021, Valorisation du CO<sub>2</sub>

L'avis technique de l'ADEME<sup>7</sup> produit en juillet 2020 considère la capture et le stockage géologique du CO<sub>2</sub> (CCS/CCUS, BECCS et DACCS) en France comme un potentiel limité pour la réduction des émissions industrielles (max 24MtCO<sub>2</sub>/an). Le Haut Conseil pour le climat mentionne en 2024 la cimenterie comme le seul secteur pour lequel le CCS est réellement pertinent.

Concernant la capture, les preuves d'efficacité sont mitigées sur le pourcentage de CO<sub>2</sub> réellement capturé et la performance en fonction des sources d'émissions (centrales

<sup>7</sup><https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/81-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france>

électriques, industries, etc.). Le réseau Action Climat, en référence aux travaux de l'IEEFA, indique que pour 13 installations de capture étudiées (55% de la capacité mondiale), seules 3 fonctionnent à un niveau de performance proche de l'attendu.

Plus généralement, au stade précoce d'avancement des projets, les différents processus de captage et de stockage qui sont envisagés sont loin d'être optimisés par manque d'expérience et de données disponibles.

### L'absence d'évaluation environnementale globale

Les émissions induites, c'est-à-dire supplémentaires, associées aux processus de capture, compression, transport et stockage, doivent être bien quantifiées et comparées aux émissions capturées et stockées, pour viser une réelle émission nette négative. À titre d'exemple, les émissions additionnelles associées aux processus de capture varient d'une industrie à l'autre, mais avoisineraient 20% en moyenne selon l'ADEME. Ces pénalités sont à compléter des émissions relatives au transport et au stockage.

Par ailleurs, les volumes de ressources nécessaires aux technologies CCS, comme l'énergie décarbonée, les terres arables et l'eau, méritent d'être analysés et comparés à d'autres usages qui pourraient être considérés comme plus vitaux.

Le Haut Conseil pour le climat estime que les pénalités énergétiques représentent de 20 à 40 TWh/an (électricité et chaleur) - pour comparaison, la consommation d'électricité en France<sup>8</sup> est de 424 TWh en 2020. Il s'est également intéressé à la quantité d'eau nécessaire à ces technologies, soulevant le risque de fermeture des installations pour les régions subissant des pénuries en eau, et considère les BECCS comme une pression additionnelle potentielle sur la biomasse avec un risque de conflits d'usage sur l'alimentation, l'utilisation des terres et des ressources en eau.

### Une viabilité économique en question

Les coûts sont variables en fonction des technologies et des projets (géographie, concentration industrielle des émissions, proximité des lieux de stockage, utilisation pour produire d'autres biens et services...), mais dans tous les cas, l'ensemble représente des investissements très élevés.

La stratégie française CCS/CCUS de juin 2023 estime les coûts de capture, transport et stockage du carbone de 100 à 150 €/CO<sub>2</sub> selon le secteur considéré. Or le prix actuel du

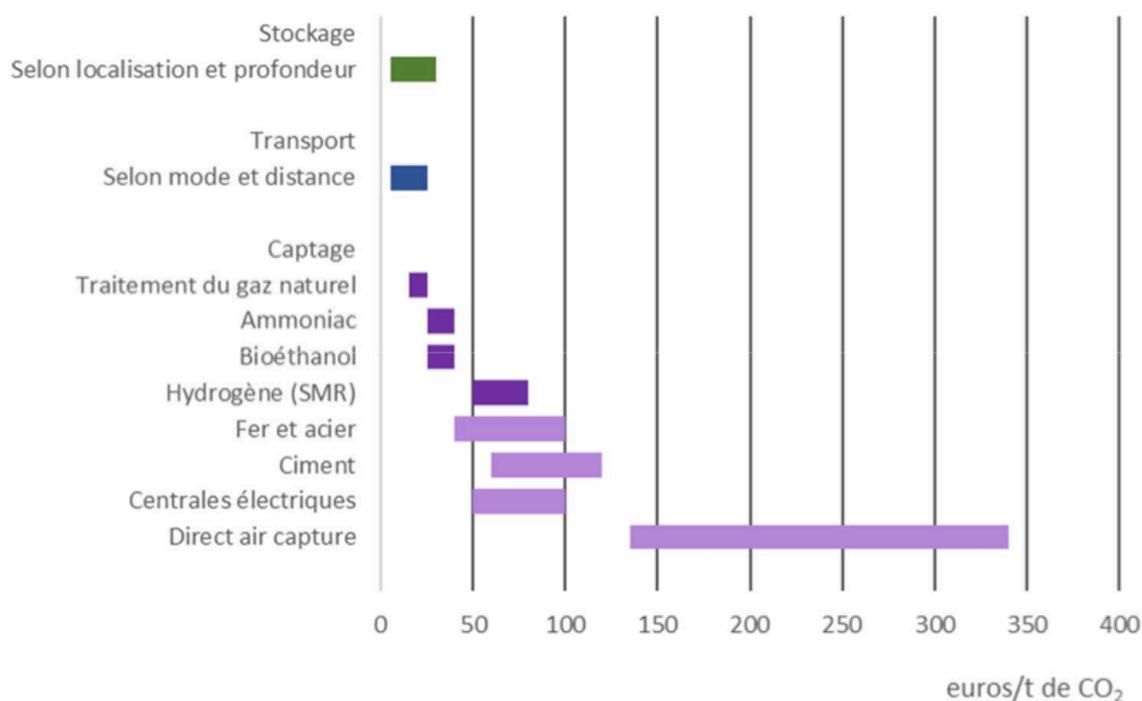
---

<sup>8</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2021/15-electricite>

carbone dans le cadre du marché d'échange de quotas d'émissions (ETS) n'est pas suffisamment élevé pour assurer une viabilité économique des projets industriels. Valérie Mignon, professeur d'économie à l'université Paris-Nanterre, indique, dans le site *Les Échos*<sup>9</sup>, que le prix du carbone avoisine désormais 60€/tCO<sub>2</sub> sur le marché des quotas.

Dans les conditions actuelles, les produits issus des procédés de valorisation du CO<sub>2</sub> sont loin d'être compétitifs par rapport aux produits fossiles<sup>10</sup>, d'autant que les marchés pour les produits issus du CO<sub>2</sub> capturé ne sont pas bien établis, notamment avec un prix du carbone trop bas limitant l'attrait économique des projets.

Quant aux DACCS, toutes les technologies aujourd'hui à l'étude montrent le besoin d'un financement extrêmement élevé, de l'ordre de 800 USD/t CO<sub>2</sub><sup>11</sup>.



Source : IEA 2019, Total Energies et think tank EdEn

Les modèles économiques de ces technologies restent à trouver. Pourtant, aujourd'hui, pour encourager le développement et le déploiement du CCS, de nombreux gouvernements offrent des subventions, des crédits d'impôt et autres incitations financières, notamment les Etats-Unis qui sont de loin les plus engagés dans cette dynamique (Inflation Reduction Act).

<sup>9</sup> <https://www.lesechos.fr/idees-debats/editos-analyses/prix-du-carbone-une-baisse-en-question-2080666>

<sup>10</sup> Ademe, 2022 : Valorisation du CO<sub>2</sub>, Avis-Technique-CCU-Janvier2022.pdf (ademe.fr)

<sup>11</sup> Carbon Gap, 2023: How to avoid carbon removal delaying emissions reductions, <https://carbongap.org/avoid-carbon-removal-delaying-emissions-cuts/>

L'Europe vient de lancer cette année le règlement NZIA (Net-Zero Industry Act), donnant un cadre réglementaire qui vise à créer des incitations dans la production de technologies propres ou contribuant à la décarbonation. L'objectif est d'inciter les multiples acteurs travaillant sur ces technologies à initier le développement d'un écosystème qui trouverait un équilibre à plus long terme, comme pour les panneaux photovoltaïques ou les batteries. Les montants en jeu sont colossaux et si des modèles financiers robustes indépendants de soutiens n'émergent pas, la dépendance aux subventions et aux incitations fiscales pour la viabilité des projets pourrait ne pas être soutenable à long terme.

## Des risques identifiés

La caractérisation géologique des sites de stockage potentiels n'est pas toujours suffisante pour garantir leur sécurité à long terme. En effet, si le potentiel mondial de stockage dans les formations géologiques est largement suffisant, les différentes contraintes dont les caractéristiques techniques (porosité, volume géologique, étanchéité, cinétique d'injection) limitent fortement le volume d'exploitation, qui reste globalement à définir. Le Réseau Action Climat<sup>12</sup>, citant l'IEEFA, indique que, suite au bilan de deux projets pionniers en Norvège, il apparaît un risque réel matériel (fuites, rejets soudains et sismicité induite) qui pourrait annuler les bénéfices de cette technologie de réduction des émissions.

Une autre typologie de risque, celui d'un écosystème morcelé et désynchronisé entre la capture, le transport et le stockage, est souligné dans la Stratégie nationale CCUS de juin 2023<sup>13</sup>.

## Un cadre réglementaire à construire

Des initiatives et des accords internationaux (ONU, Agence internationale de l'énergie) se développent afin de créer des standards et promouvoir les meilleures pratiques, mais les réglementations sont à ce jour non harmonisées pour les projets de CCS (sélection des sites, normes de sécurité, exigences de surveillance...).

Si le Parlement européen a adopté en avril 2024 un « cadre de certification pour l'élimination du carbone » qui permettra de standardiser la comptabilité carbone et d'assurer le suivi et la vérification des activités d'absorption du carbone, une harmonisation plus large n'existe pas dans le cadre d'échanges internationaux de crédits d'émissions ou de stockage.

---

<sup>12</sup> <https://reseauactionclimat.org/wp-content/uploads/2024/07/2024-07-rapport-industrie-industrie.pdf>

<sup>13</sup> [https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files\\_cni/files/actualite/20230623\\_consultation\\_ccus.pdf](https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/files_cni/files/actualite/20230623_consultation_ccus.pdf)

- Sur le stockage offshore, les amendements au Protocole de Londres sur la prévention de la pollution des mers autorisant l'exportation et l'enfouissement du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol marin n'ont été ratifiés que par un nombre minoritaire de pays, pouvant remettre en cause certains projets de stockage, comme en France<sup>14</sup>.
- Les émissions dites résiduelles, cible principale des technologies CCS/CCUS, n'ont pas encore de définition unique pour le monde entier, notamment car les pays du Sud ne placent pas le curseur au même niveau que les pays développés (Buck et al., 2022).

Par ailleurs, le système de quotas d'émissions de l'Union européenne (SEQE) ne prend pas en compte un certain nombre de points comme la durée du stockage, les risques de fuite, les émissions négatives (Rickels, 2021).

Enfin, les projets de CCS demandent de tels investissements qu'on peut se demander si une régulation comme dans les secteurs électrique ou des déchets ne s'impose pas<sup>15</sup>.

## Une concurrence entre le CCS et d'autres actions

Il y a un risque que les efforts mis sur les technologies CCS détournent l'attention et les ressources des autres solutions permettant de viser la neutralité carbone, comme les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique ou la reforestation, voire incitent à ne pas envisager une certaine sobriété dans nos modes de vie.

L'absence d'accord international d'harmonisation des processus de gestion industrielle du carbone ne permet pas de garantir qu'ils ne soient pas détournés au profit de la récupération assistée des hydrocarbures<sup>16</sup>. En ce sens, le réseau Action Climat craint que les coûts élevés d'investissement et de fonctionnement de la capture du carbone incitent les industriels ayant investi dans ces modules à vouloir les utiliser jusqu'à les avoir rentabilisées, même si des technologies de décarbonation ont été déployées entretemps.

Les politiques climatiques doivent prendre en compte ce biais potentiel et être évaluées régulièrement pour s'assurer qu'elles restent pertinentes, efficaces et adaptées aux nouvelles connaissances et technologies.

---

<sup>14</sup> Projet de loi soumis à la délibération des ministres, 3 juillet 2024, pjl 23-715-ei.pdf (senat.fr)

<sup>15</sup> Avis HCC, 2023 chap. 6,

<sup>16</sup> JP. Hauet, think tank EdEn

## Une acceptabilité sociale à rechercher

La perception publique et l'acceptabilité sociale des projets de CCS/CCUS peuvent être sous-estimées. Même si certains projets se sont avérés viables et sont reconnus comme des succès, comme le champ gazier Sleipner en Norvège qui a permis dans les années 1990 de stocker d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> en haute-mer, des événements comme le relâchement soudain du dioxyde de carbone en 1986 naturellement enfoui sous le lac Nyos au Cameroun, faisant un millier de morts, créent des précédents traumatiques et peuvent générer des craintes légitimes quant aux risques de fuites du CO<sub>2</sub> séquestré dans les sous-sols.

Dans son avis de 2020, l'ADEME considère que l'opposition sociétale sera la principale contrainte au stockage géologique de CO<sub>2</sub>, vu les craintes sanitaires et environnementales en cas de fuites. L'agence cite l'exemple du gouvernement néerlandais qui a préféré stopper tout projet de stockage géologique onshore en réponse à une forte mobilisation collective.

## CHAPITRE 4

# LÉGITIMITÉ ET CRÉDIBILITÉ DU DÉBAT PUBLIC DANS LE CCS

Face aux démonstrations chiffrées, aux postures de conquêtes technologiques, à l'alternance de discours affirmés ou plus relatifs constatées au fil des entretiens et des lectures, un étonnement se dessine : alors que la capture et le stockage du carbone ont été présentés initialement comme une option nécessaire pour atteindre la neutralité carbone, nous constatons qu'une industrie dédiée, structurée par le marché du carbone et appuyée par des politiques nationales et européennes, semble déjà avoir pris ses marques (voir supra, chapitre 2). Le CCS n'apparaît pas seulement comme une perspective « envisageable » mais comme un projet bel et bien en ordre de marche, un fait (presque) accompli. Tout un monde parallèle qui, depuis plusieurs années, semble développer une économie spécifique et être déjà dynamisé par ses propres règles, ses jeux d'acteurs, ses débats et ses controverses, ses réussites comme ses échecs. Il en ressort que ces nombreuses activités et “conversations-carbone” sont avant tout confinées dans des débats d'experts et gouvernementaux.

En découle un second étonnement : alors que le CCS est un sujet environnemental majeur aux nombreux impacts sociétaux, il n'y a quasiment pas de débat public. Le rapport de la Convention citoyenne pour le climat n'en fait pas mention. Pourtant, la liste des relations de causes à effets avec la société est longue : nouveaux investissements publics ; déploiement de filières dédiées compétentes ; méthodes et techniques de capture, de transport et de stockage du CO<sub>2</sub> comportant des risques et incertitudes fortes ; périmètres et conditions concrètes de mise en œuvre restant à définir ; impact significatif sur les paysages des territoires ; réseaux de transport modifiés ou créés ; attractivité et foncier des territoires perturbés ; et par conséquent, transformation de la socio-économie des communes et agglomérations concernées... La place des riverains, citoyens et usagers dans cette nouvelle tentative d'équilibre carbone est tout au plus indiquée en fin de document et évoquée succinctement dans les exposés qui nous ont été livrés, sans être sérieusement traitée. Certains acteurs économiques parlent même ouvertement des risques de blocages citoyens mais préfèrent les contourner en évitant d'emblée tout dialogue et explication avec les non-experts. Ainsi, les localisations offshore de CCS, loin des regards, semblent être pour le moment des réponses quasi systématiques à ces désagréments terrestres.

Dans son document de cadrage, Bercy prévoit « la facilitation de l'appropriation de la filière CCUS par le lancement de campagnes d'information et d'échanges avec les parties prenantes sur le sujet de la faisabilité et les conditions de réalisation des projets. [...] Au niveau des projets, l'État incitera les demandeurs de titres de stockage à initier le dialogue avec les parties prenantes, notamment des populations locales, le plus tôt possible. ». Cette préconisation semble légère face aux enjeux démocratiques. En l'état, parler de "facilitation de l'appropriation" de la filière revient à en faire la promotion. L'incitation au dialogue, quant à elle, n'a rien de contraignant ou d'engageant. De plus, elle ne présage en rien de la rigueur des méthodes de mobilisation, de travail collectif ou encore de traitement des données pourtant déterminant dans les processus de participation citoyenne.

Entre évitement volontaire et déclaration d'intention, ces différentes attitudes à l'égard du débat public nourrissent plusieurs interrogations :

- Le débat public fait-il peur ? Est-il perçu comme un frein à l'épanouissement du CCS ?
- Les connaissances et savoirs d'usages, les réflexions et les apports des non-experts pour le CCS sont-ils perçus comme inutiles ?
- En résonance à ces deux premières interrogations, n'y a-t-il pas un manque de culture et de pratique de la participation citoyenne des acteurs actuellement aux commandes des projets de CCS ?
- Est-ce le bon moment ? L'état actuel du déploiement du CCS appelle-t-il à impliquer les citoyens maintenant ou plus tard ? Et dans ce cas, à quelle étape de maturité ou de mise en œuvre l'implication des citoyens serait pertinente ?

### **Pourquoi le choix de la démocratie et de la participation citoyenne dans le CCS ?**

La décision de recourir aux technologies de CCS cache des choix de société qu'il nous semble nécessaire de faire apparaître. Ces innovations technologiques requièrent en effet un investissement conséquent, privé comme public, autant de fonds qui ne seront donc pas alloués à l'accélération du verdissement de l'industrie ou à d'autres politiques publiques. Elles nécessitent de grandes quantités d'eau et d'énergie, des ressources que nous savons de plus en plus rares. Les installations CCS transforment les territoires traversés par les

infrastructures de transport du CO<sub>2</sub> ou de capture géologique. Le carbone est-il en train de devenir un nouveau déchet à gérer et à valoriser collectivement ? Ces choix nous engagent, citoyens, consommateurs, contribuables, industriels, comme les générations futures. Nous devons donc les faire démocratiquement.

Le CCS se trouve au carrefour d'intérêts divergents qu'il faut identifier clairement. Les exposer publiquement permettrait au plus grand nombre de s'en saisir et d'en débattre, de trouver les voies de passage les plus durables socialement, écologiquement et économiquement.

Les débats autour de le CCS nous semblent aujourd'hui trop confidentiels au vu des enjeux qu'ils recouvrent. Il est nécessaire de déconfiner ce débat. Le risque, si nous ne le faisons pas, est que ces questions reviennent beaucoup plus fortement, dégradant encore un peu plus la confiance des citoyens dans les institutions, les représentants et donc notre capacité d'agir.

### Avec qui, par qui, pour qui mener le débat public ?

Sortir de la confidentialité du débat demande de considérer et de valoriser les vertus de celui-ci. Un débat mené méthodiquement et avec les bonnes personnes – celles et ceux qui sont concernées par le sujet, le vivent ou le subissent d'une manière ou d'une autre, hier, aujourd'hui et/ou demain – a la capacité de décortiquer les sujets convoqués et anticiper ses effets dans le temps. Dans cette définition du débat, qu'il soit mené avec joie, passion ou vigueur, il a d'abord pour but d'en faire ressortir des éléments clairs, utiles pour avancer socialement sur le sujet.

Concernant le CCS, l'État français semble considérer qu'il a fait son travail. En effet, les premières orientations stratégiques du déploiement du CCS ont été publiées en juin 2023 et ont fait l'objet d'une consultation publique <sup>17</sup>. Or cette forme d'implication des industriels (et des citoyens ?) ne semble pas suffisante au regard des enjeux et manque de transparence. Un débat public sur le fond comme sur la forme (principe et mise en œuvre) sur le CCS devrait être considéré comme une opportunité pour son développement durable. En révélant d'éventuelles failles autrement invisibles, la société et les pouvoirs publics gagnent du temps. Cela étant dit, comme le montre la consultation publique évoquée précédemment, les méthodes, outils et conditions de ce débat sont décisives pour qu'il produise des éléments pertinents au service du sujet de fond (l'urgence climatique et ses effets) et qu'il soit particulièrement attentif à l'expression et aux besoins des différents participants.

---

<sup>17</sup> <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/actualites/consultation-sur-la-strategie-nationale-ccus>

## Qui prendrait part aux débats publics ?

Si le débat sur le CCS était structuré démocratiquement, il serait alors indispensable qu'il accorde une place équitable et durable dans le temps à l'ensemble des personnes concernées. Librement inspiré par le « croisement des savoirs » de l'association ATD Quart Monde, nous proposons d'utiliser 4 niveaux de concernement pour aider à identifier les personnes concernées :

1. Vivre ou subir le CCS : les personnes qui vivent, vont vivre, subissent ou vont subir d'une manière ou d'une autre les effets du CCS sans qu'elles en soient actrices. Représentées par une personne morale ou non, elles apportent en particulier des connaissances et des réflexions sur la manière dont le CCS va transformer leur environnement de vie ou de travail.
2. Entreprendre pour le CCS : les personnes physiques et morales engagées dans le développement et la promotion du CCS. Elles apportent des connaissances et des réflexions sur les techniques et les modalités envisagées dans la mise en place du CCS.
3. Entreprendre pour les transitions au sens large : les personnes physiques et morales actrices de la transition écologique et sociale au sens large, engagées à défendre les actions menant à une transition efficace et juste, localement et globalement. Elles apportent des connaissances et des réflexions sur l'intérêt et la pertinence du CCS comme sur ses méfaits et ses problèmes.
4. Étudier les transitions et en particulier le CCS : les personnes physiques et morales qui, au titre de la connaissance ou de l'intérêt général, apportent des réflexions et des déductions scientifiques, techniques, politiques, éthiques ou philosophiques pour alimenter le débat et le mettre en perspective.

## Quelles questions et sujets sont à débattre publiquement dans le CCS ?

### Objets du débat

Il semble que nous soyons engagés dans le CCS. Cependant, vu les arbitrages qu'il reste à faire d'une part, et les incertitudes technologiques qu'il reste à lever de l'autre, il est encore temps de faire du carbone un réel sujet de débat public. Il est encore possible de reposer la question de la gestion du carbone dans le bon ordre démocratique.

La capture du carbone est-elle utile, possible et indispensable ? Nous avons constaté lors de nos travaux la complexité de ce sujet, qui repose sur des technologies aux degrés de maturité variables et dont les approches peuvent être économiques, militantes, scientifiques, géopolitiques... Mais cette complexité ne peut être prétexte à décision unilatérale, bien au contraire. Il est important d'assumer cette complexité, de permettre à tous les points de vue de s'exprimer.

Le CCS devant s'inscrire dans une stratégie plus large de neutralité carbone, où doit-on placer le curseur ? Les différents scénarios qui expliquent les choix possibles en faisant varier différents critères (écologiques, économiques, sociaux, technologiques...) nous semblent apporter une aide utile dans l'appropriation des enjeux et vers la formation d'une opinion.

Aujourd'hui, le recours aux techniques de CCS n'est envisagé que pour les émissions résiduelles incompressibles. Comment s'assurer qu'il ne dissuade pas les industriels de décarboner leur processus de fabrication et les citoyens de revoir leurs modes de consommation ?

### Formes du débat

Ces débats peuvent être envisagés de plusieurs formes, par l'intermédiaire du Parlement et de consultations citoyennes largement ouvertes. Un projet ou une proposition de loi portant précisément sur la gestion du carbone pourrait être examinée au Parlement. Un temps de débat parlementaire adapté permettrait à toutes les parties prenantes d'être entendues, aux médias de relayer ces débats et donc aux citoyens de s'en saisir. La Stratégie nationale bas carbone devant être révisée tous les 5 ans, la très prochaine révision pourrait également être l'occasion de faire un focus sur la gestion du carbone pour permettre un débat développé. La conception et le pilotage de cette SNBC pourraient d'ailleurs être l'occasion d'avancer des expérimentations démocratiques nouvelles, de renouveler les relations entre science, industrie et société.

La gestion du carbone doit être débattue au niveau national, mais aussi européen. Européen car nous voyons déjà se conclure des partenariats entre États pour l'acheminement et le stockage. Et il nous semble utile d'harmoniser, le cas échéant, certaines réglementations (ce qui peut ou non être considéré comme « émission résiduelle », réglementations en termes de transport du CO<sub>2</sub>...).

Enfin, pour rapprocher ces décisions des personnes concernées et adapter leurs déclinaisons aux réalités, le territoire ne peut pas être oublié. La Stratégie nationale bas carbone l'indique : « Le déploiement de ces technologies gagnera à bien s'intégrer dans l'économie des territoires, avec idéalement un réemploi des infrastructures existantes et un stockage souterrain, le cas échéant off-shore. » Il faudra faire du sur-mesure avec les différentes réalités locales. La réussite de ces projets dépendra donc de l'implication des acteurs locaux, citoyens compris, de la qualité du dialogue créé et de la prise en compte concrète de leurs perceptions. L'acceptation sociale (ou la perception sociale) nous semble être une condition absolument nécessaire de la réussite de ces projets. Il nous apparaît indispensable d'impliquer les citoyens, partenaires sociaux, industriels, associations et collectivités très en amont dans la construction de projet.

Enfin, quel contrôle de la correcte mise en œuvre de ces projets et de la juste utilisation de fonds publics ? Cette mission pourrait être attribuée, localement, à un comité de parties prenantes. Composé des partenaires sociaux, d'associations environnementales, de représentants des collectivités locales. Ce comité pourrait s'assurer de la réelle captation des émissions de carbone résiduelles par les entreprises, de l'effort réel de décarbonation du processus industriel et de toute autre obligation qui serait définie en amont du projet. Cette méthode instituerait un contrôle social et sociétal de la gestion du carbone et redonnerait prise aux acteurs locaux sur ces transformations. C'est un gage supplémentaire de confiance, ingrédient d'autant plus indispensable quand il s'agit d'expérimenter une technologie qui n'a pas encore fait ses preuves.

# CONCLUSION

Cette note de synthèse a pris la forme d'un rapport d'étonnement à l'égard de la façon dont nous, Français et Européens, nous engageons dans l'exploration des technologies de capture et de stockage du carbone en vue d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Ces technologies apparaissent comme une composante nécessaire du mix d'initiatives et de décisions à prendre dans la trajectoire de réduction de notre empreinte carbone. Notre étonnement est venu qu'elles sont d'ores et déjà présentées comme s'inscrivant dans une stratégie de "gestion industrielle du carbone", sans qu'une délibération démocratique n'ait pu réellement se déployer et en gommant ou euphémisant les incertitudes scientifiques et techniques. Or, des choix fondamentaux accompagnent ou vont accompagner cette stratégie, qui sont décisifs pour le destin de notre collectivité nationale et européenne, des arbitrages, financiers notamment, et des décisions qui se feront par abandon de choix alternatifs et qui auront une empreinte territoriale et environnementale non négligeable.

Du rapport Brundtland (1987) jusqu'à un récent rapport publié par France Stratégie (Barasz et Garner, 2022), au niveau international comme en France, la notion de soutenabilité (*sustainability*) manifeste son statut hybride, à l'interface de la science et de l'action publique. Fondée sur l'idée de limites de notre environnement, elle est habituellement associée à un modèle de développement susceptible de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Elle évoque des qualités de résistance et de durabilité de modes d'organisation productive. En appréhendant cette notion au pluriel, ce séminaire entend interroger les modes d'organisation et de décision au regard de leurs soutenabilités tant écologique qu'économique, financière et sociale, mais aussi démocratique.

À travers la présente note, nous avons cherché à esquisser les voies d'une possible soutenabilité démocratique de la gestion industrielle du carbone dans laquelle nous sommes engagés, en pointant les obstacles présents et les exigences d'une telle soutenabilité.

## RÉFÉRENCES

ADEME, Transition(s) 2050,  
-----

ADEME, 2021, Valorisation du CO<sub>2</sub>  
-----

Barasz J. et Garner H. (coord.), 2022, *Soutenabilités ! Orchestrer et planifier l'action publique*, France Stratégie

<https://www.strategie.gouv.fr/publications/soutenabilites-orchestrer-planifier-laction-publique>  
-----

Brundtland G. H. (coord.), *Our Common Future*, Report of the World Commission on Environment and Development, United Nations: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>  
-----

Buck H. J., Carton W., Lund J. F. & Markusson N., 2022, "Why residual emissions matter right now", *Nature Climate Change*, n° 13, p. 351-358.  
-----

Dzierjarski B., Krzyzynska R. & Andersson K., 2023, "Current status of carbon capture, utilization, and storage technologies in the global economy: A survey of technical assessment", *Fuel*, vol. 342, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127776>  
-----

Friedlingstein et al., 2019  
-----

Gilbert C., 2003, "La fabrique des risques", *Cahiers internationaux de sociologie*, vol. 114, n° 1, p. 55-72.  
-----

Gilbert C. et Bourdeaux I., 1997, "Au-delà de l'alternative maîtrise - non-maîtrise des risques collectifs : propositions pour des analyses et politiques intermédiaires", *Natures, Sciences, Sociétés*, vol. 5, n° 3, 1997, p. 50-57.  
-----

IEA 2019, Total Energies et think tank EdEn  
-----

Rickels W., 2021, "Integrating Carbon Dioxide Removal Into European Emissions", *Frontiers in Climate*, vol. 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.690023>

## Lexique des acronymes

ADEME : Agence de la transition écologique

AIE : Agence internationale de l'énergie

BECCS : BioEnergie Carbon Capture Storage

BRGM : Bureau de recherche géologiques et minières

CCS : Carbon Capture Storage

CCUS : Carbon Capture, Utilization and Storage

CEA : Commissariat à l'énergie atomique

DACCS : Direct Air Carbon Capture Storage

EDC : (méthode d')Élimination du Carbone

ETS : Emissions Trading Schemes, également nommés systèmes d'échange de quotas d'émissions (SEQE)

GES : Gaz à effet de serre

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

IEEFA : Institut d'économie de l'énergie et d'analyse financière

IFPEN : Institut Français du Pétrole Energies Nouvelles

SEQE: Système de quotas d'émissions de l'Union européenne

SNBC : Stratégies Nationales Bas Carbone

## ANNEXES

### NOTE DE CADRAGE DE L'ATELIER

*Une thématique d'atelier d'investigation proposée par Laurent TESTOT pour le cycle national de l'IHEST 2024*

#### **Capter et séquestrer le carbone : possible ? nécessaire ? indispensable ?**

Le 13 décembre 2023, les négociateurs de la COP28 ont entériné des objectifs globaux de réduction des gaz à effet de serre (GES), en vue de maintenir le climat planétaire en dessous des 1,5°C de réchauffement par rapport aux températures de référence mesurées dans la seconde moitié du XIXe siècle. Mais les parties prenantes ont également validé la possibilité de continuer à recourir aux énergies fossiles, pour ne pas obliger à une transition brutale. Elles ont validé ce qui était déjà induit, assez discrètement, dans le 6<sup>e</sup> rapport du GIEC (trois volets, 2021-2022, voir par exemple les scénarios dits SSP) : il faudra recourir à le CCS (*Carbon Capture and Sequestration*) de manière massive si l'on veut rester sous la barre des +2°C.

Il existe très schématiquement deux façons de procéder à le CCS :

- La première, et la plus simple à mettre en œuvre, consiste à capter le plus important des GES, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sitôt émis, à la source. Par exemple, implémenter des filtres

sur les cheminées d'une centrale thermique brûlant du charbon permet de récolter du CO<sub>2</sub>, qui peut dès lors soit être utilisé pour des processus industriels, soit être stocké, par exemple dans des cavités en sous-sol. Certains acteurs, à l'instar du Danemark, ambitionnent ainsi de développer des capacités de stockage géologique ;

- La seconde vise à épurer l'atmosphère du CO<sub>2</sub> qu'elle contient (environ 420 PPM, parties par millions – ce qui signifie que dans l'air, sur un million de molécules, vous avez aujourd'hui 420 molécules de CO<sub>2</sub>) et à en disposer à l'identique de la première. Elle est décrite par divers spécialistes, mais sérieusement étudiée par des firmes depuis plusieurs décennies – un projet pilote tourne ainsi en Islande, en utilisant l'énergie géothermique. La plantation de forêts, la restauration de prairies ou de zones humides (famille des NBS, pour *Nature Based Solutions*), la manipulation chimique des océans ou l'initiative agricole dite de 4 pour mille (<https://4p1000.org/decouvrir/>) permettraient également d'augmenter la capacité des écosystèmes à capter le dioxyde de carbone. Nombre de projets de renaturation, modification ou création d'écosystèmes sont à l'étude. Pour mémoire, les écosystèmes sont aujourd'hui en mesure de capter environ 16 gigatonnes (Gt) de CO<sub>2</sub> par an, quand les activités humaines en ont émis en 2023 41 Gt (chiffre toujours à la hausse).

Cet atelier visera à déterminer si les différents processus de CCS sont crédibles. Comment pourrait-on les mettre en œuvre, pour quelle échelle coûts/bénéfices ? Sont-ils susceptibles d'entrer en concurrence avec d'autres urgences dans la répartition mondiale des moyens de recherche et de production industrielle ? Quels impacts sociétaux, quels effets systémiques, positifs ou négatifs sont-ils susceptibles d'exercer ? Quels seraient les dispositifs à privilégier, dans le respect des accords de Paris, par les acteurs à différentes échelles (communauté internationale, Europe, France, firmes, ONG, citoyens...)?



DÉCIDER AVEC LES SCIENCES



[WWW.IHEST.FR](http://WWW.IHEST.FR)

Institut des Hautes Études pour la Science et la Technologie  
Ministère de l'Enseignement supérieur,  
de la Recherche et de l'Innovation  
1 rue Descartes,  
75231 Paris cedex 05, France