



TENDANCES
CCUS

Le CCUS entre dans une période charnière

GUILLAUME MARCHAND • Ingénieur d'études en sciences sociales, MODIS/ ex-post-doctorant, Université de Pau & Pays Adouze, laboratoire Transitions Énergétiques et Environnementales

En entérinant l'objectif de « parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle », l'Accord de Paris a mené les États et les acteurs non-étatiques à se saisir du concept de neutralité carbone, et à s'intéresser aux « émissions négatives ». Ainsi, le sujet de la compensation a pris de l'ampleur, mais aussi, dans une moindre mesure, celui du captage de carbone en vue de son stockage géologique ou de son utilisation (CCUS). Actuellement, la plupart des scénarios internationaux de référence autour de la neutralité carbone (AIE, GIEC) incluent à des degrés divers des technologies de CCUS, mais au vu des difficultés passées et actuelles à les mettre en œuvre, des incertitudes demeurent quant à la possibilité de les déployer aux échelles prévues.



PANORAMA DES DONNÉES

Un boom des investissements sans précédent, porté par le secteur *oil and gas*

Les technologies CCUS visent à capter le CO₂ de fumées industrielles ou provenant de centrales électriques alimentées par des énergies fossiles et à le transporter jusqu'à un point de stockage afin de le séquestrer de façon permanente en couche géologique profonde, ou de le réutiliser (pour la production d'hydrocarbures, des boissons gazeuses, des carburants de synthèse, des serres ou des matériaux de construction)¹. Fin 2020, 26 projets de CCUS étaient opérationnels dans le monde². Ensemble, ils capturent l'équivalent de 40 millions de tonnes de CO₂ (MtCO₂) par an, avec différents procédés de captage (post-combustion, oxycombustion, pré-combustion^a), de transport (camions, bateaux, pipelines), de stockage et d'utilisation, ces procédés ayant eux-mêmes différents degrés de maturité technique et de viabilité économique. Actuellement, la principale utilisation du CO₂ capté est la récupération assistée de pétrole (*enhanced oil recovery - EOR*) dans les puits devenus peu productifs : sur les 26 projets opérationnels dans le monde, 20 sont financés grâce à l'EOR² (fig. 1).

Plusieurs pays ont récemment émis ou révisé des feuilles de route de décarbonation de l'économie incluant les technologies de CCUS, notamment l'Australie, le Canada, la Chine, les Pays-Bas, la Norvège, le Royaume-Uni et les États-Unis³. À

cela, il faut inclure les pays qui font des CCUS des instruments de leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) pour réduire le changement climatique après 2020 dans le cadre de l'accord de Paris : le Bahreïn, l'Égypte, l'Iran, l'Iraq, le Malawi, la Mongolie, l'Arabie Saoudite, l'Afrique du Sud et les Émirats arabes unis. Le Royaume-Uni a par exemple publié, après une période d'inactivité, une feuille de route en 2018, intitulée *Clean Growth Strategy*, souhaitant devenir l'un des leaders mondiaux des technologies de CCUS. Au sein de l'UE, la R&D autour des CCUS pourrait également être accélérée via le programme *Innovation Fund* (2020-2030), qui vise à stimuler le déploiement de nouveaux projets de décarbonation. Aux États-Unis, plusieurs programmes ont récemment été mis en place afin de favoriser le déploiement de ce type de technologie. À titre d'exemple, en 2016, a été lancée l'initiative *Carbon SAFE* qui vise à développer des sites de stockage géologique de capacité supérieure à 50 MtCO₂ et en 2018, le crédit d'impôt 45Q, qui existait depuis 2009 mais était confronté à des problèmes d'application, a été étendu. Ce mécanisme permet aux entreprises se lançant dans les CCUS d'obtenir, sous certaines conditions, un crédit d'impôt de 30 \$/t lorsque le CO₂ est capté pour l'EOR et 50 \$/t lorsque cela est fait pour du stockage géologique.

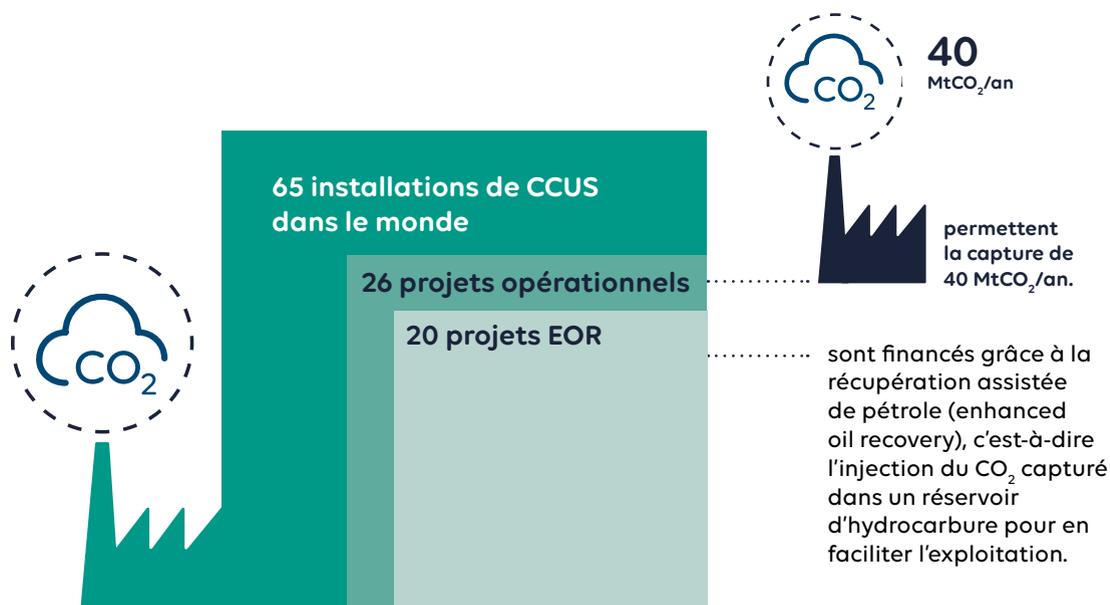
Ce contexte stratégique est donc favorable au lancement de nouveaux projets à l'échelle industrielle. Selon les chiffres avancés par l'Agence internationale de l'énergie (AIE), entre 2017 et 2020, plus de 30 projets de CCUS ont été annoncés dans le monde⁴. Si tous les projets annoncés étaient mis en œuvre, les capacités de stockage pourraient passer de 40 MtCO₂ par an à 130 MtCO₂/an. Entre début 2020 et mai 2021, un total de

^a Pour plus de détail sur ces procédés, leur maturité et leur viabilité : Ademe (2020). [Captage et stockage géologique de CO₂ \(CSC\) en France. Un potentiel limité pour réduire les émissions industrielles](#). Agence de la transition écologique

FIGURE 1

ÉTAT DES LIEUX DES PROJETS DE CCUS EN COURS DE DÉVELOPPEMENT ET OPÉRATIONNELS

Source : [Global CCS Institute, 2020](#)



12 milliards de dollars d'investissements dans des projets de CCUS ont été annoncés par des gouvernements et des industriels⁵. En 2020, les montants effectivement investis dans les CCUS ont explosé pour atteindre 3 Md\$ (+212 % comparé à 2019), en particulier grâce à quelques projets phares dédiés à l'industrie lourde et portés par des entreprises pétrolières et gazières⁶.

Parmi les projets récents en Europe, nous pouvons citer le projet de hub *Northern Lights* en Norvège, combinant la création d'infrastructures de transport et de stockage du carbone. Celui-ci est porté par Equinor, Shell et TotalEnergies, partenariat issu d'une consultation lancée par le gouvernement norvégien, avec pour objectif de stocker 0,8 à 1 MtCO₂/an lors de premières phases de développement et de passer ensuite à 5 MtCO₂/an en recevant le CO₂ de différentes sources européennes⁷. Le projet a été soutenu par le gouvernement norvégien, qui y a injecté 1,8 Md\$ en 2020 afin d'y adosser le projet *Longship*, pour capter les émissions d'une cimenterie et d'un incinérateur de déchets (**cf. cas d'étude Longship**).

En Grande-Bretagne, les géants pétroliers BP, ENI, Equinor, Shell et Total ont formé un consortium pour assurer le financement du projet *Net Zero Teesside* qui vise à décarboner la vallée industrielle du Teesside et ses nombreuses industries chimiques. Plus au sud, Equinor, l'entreprise sidérurgique British Steel et une dizaine d'autres partenaires s'unissent au sein de l'initiative *Zero Carbon Humber* pour décarboner le bassin industriel du Humber en ayant recours à l'hydrogène et au CCUS.

Les Pays-Bas ont également intégré les CCUS dans plusieurs documents stratégiques (une feuille de route spécifique en 2018 et le plan national pour le climat en 2019) et ont relancé un projet de hub dans le port de Rotterdam (projet *Porthos*) pour le captage et le stockage de 2 à 5 MtCO₂/an.

En France, le projet 3D à Dunkerque lancé en 2019 regroupe des industriels comme Axens, TotalEnergies, ArcelorMittal et l'IFPEN (Institut français du pétrole et des énergies nouvelles), avec plusieurs objectifs : démontrer l'efficacité de la technologie de captage développée par Axens/IFPEN, préparer le déploiement des CCUS sur le site sidérurgique d'ArcelorMittal afin de capter 0,5 à 1 MtCO₂/an et étudier la faisabilité d'un hub de collecte de CO₂ dans la région de Dunkerque (notamment pour stocker le CO₂ sous la mer du Nord)⁸.

Hors Europe, l'Amérique du Nord assume son statut de leader des CCUS, puisque 80 % des capacités de captage sont déployées aux États-Unis, avec une dizaine de sites en opération et environ le double si l'on compte les projets annoncés ou en phase de développement. La Chine, qui était jusqu'alors restée un peu en retrait avec un seul dispositif CCUS à échelle commerciale (CNPC Jilin, qui capture 0,6 MtCO₂/an), a annoncé deux nouveaux projets dans ce domaine. Toutefois, en dehors de l'UE, les opérations lancées entre 2015 et 2020 reposent encore majoritairement sur l'EOR pour assurer une certaine viabilité économique. L'AIE estime cependant que les nouvelles vagues de projets seront moins dépendantes de ce type de débouché⁴.

Au total, le CCUS a constitué le troisième poste de dépenses bas carbone du secteur *oil and gas* en 2020 (**cf. dossier Énergie**).

Sur les 66 projets de CCUS déjà opérationnels ou planifiés en Europe pour la décennie à venir, plus de 50 % sont financés par les entreprises du *oil and gas* membres de l'IOPG, l'association internationale des producteurs de pétrole et de gaz⁹.

Ce regain d'intérêt pour les CCUS, porté en grande partie par les entreprises pétrolières et gazières, intervient après une longue période d'efforts de la part d'acteurs pour faire reconnaître le CCUS comme une solution à part entière dans la transition vers une économie bas carbone. Cependant, leur déploiement à grande échelle est encore loin d'être acquis.



L'ŒIL DE L'OBSERVATOIRE

De 1990 à aujourd'hui, le long combat du CCUS pour se faire reconnaître comme une solution de décarbonation viable, légitime et faisable

Des années 1990 jusqu'au milieu des années 2010 : les projets pilotes... et les premières difficultés

Les premiers projets visant à capter le CO₂ avec une finalité de lutte contre le changement climatique, ou sous le coup d'une contrainte carbone (taxation, quotas d'émission), datent des années 1990. En Norvège, Statoil (maintenant Equinor), contraint par la taxation carbone pour son exploitation d'hydrocarbures *offshore*, débute l'injection de CO₂ à Sleipner en 1996. Il s'agit du premier projet de stockage de CO₂ à échelle industrielle en Europe, et en raison de cette nouveauté, il a été couplé à des programmes de R&D afin de répondre aux enjeux techniques et de sécurité posés par cette nouvelle activité. À Hawaï, pratiquement au même moment, un projet international mobilisant des équipes nord-américaines, norvégiennes et japonaises est lancé, mais une forte opposition locale appuyée par l'ONG Greenpeace conduira à son abandon en 2001¹⁰.

Avec les premières données collectées à Sleipner, démontrant la faisabilité du stockage géologique, au début des années 2000, les technologies de CCUS gagnent de l'intérêt à l'échelle mondiale, et un rapport spécial du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) est même consacré à cette question en 2005¹¹. Ce rapport explore la possibilité de leur emploi en partant du principe que les énergies fossiles occuperont encore une place importante dans le mix énergétique global des prochaines décennies et que les changements nécessaires en matière de comportement et de moyens de production seront difficiles à mettre en œuvre. Les chiffres proposés sont alors très ambitieux : les CCUS pourraient piéger 20 à 40 % des émissions mondiales (dont 30 à 60 % des émissions liées à la production d'énergie et 30 à 40 % de celles de l'industrie) et pourraient représenter 15

à 55 % des activités mondiales d'atténuation en 2100, ce qui nécessiterait le déploiement rapide de milliers de systèmes de captage.

Quelques années plus tard, le développement des technologies CCUS fait l'objet d'autres expérimentations, principalement en Amérique du Nord et en Europe, avec cependant des trajectoires différentes.

Sur le continent européen, au début des années 2010, l'UE cherche à stimuler des projets CCUS démonstrateurs par différents mécanismes, notamment la constitution d'un fonds de réserve (*New Entrant Reserve* ou *NER 300*) correspondant à 300 millions de quotas d'émissions de CO₂ issus de l'*Emission Trading System* (ETS)^b, soit l'équivalent de 4,5 à 9 milliards d'euros pour un cours du CO₂ variant de 15 à 30 euros par tonne, pour financer des projets permettant de lutter contre le réchauffement climatique. Cette stratégie était relativement ambitieuse puisqu'elle prévoyait la mise en place d'une douzaine de projets démonstrateurs à l'échelle industrielle d'ici 2015. Cependant, pour un certain nombre d'observateurs, elle a été un échec, puisqu'aucun projet CCUS n'a finalement été financé par le *NER 300* et que les autres projets dans ce domaine lancés nationalement ont, eux aussi, rencontré de nombreuses difficultés¹². En France, par exemple, les quelques projets démonstrateurs à l'échelle industrielle lancés à cette époque ont tous été abandonnés : c'est le cas notamment du projet ULCOS (*Ultra Low Carbon dioxide Steelmaking*) pour le captage sur un haut-fourneau d'ArcelorMittal à Florange et son stockage dans des aquifères salins près de Verdun. Toutefois, une expérimentation à plus petite échelle autour d'une chaîne complète de captage, transport et stockage du CO₂ a été mise en œuvre par Total (maintenant TotalEnergies) à Lacq entre 2010 et 2013, permettant le stockage définitif de 51 000 tCO₂¹³. Dans les territoires européens voisins, les projets de Barendrecht et ROAD aux Pays-Bas ainsi que celui d'Altmark en Allemagne ont également dû être abandonnés. Au Royaume-Uni, à l'origine un des fervents défenseurs du CCUS, un programme gouvernemental de soutien à des projets industriels a été interrompu en 2015, programme auquel concourrait Shell (Peterhead) et le consortium White Rose (Drax). Il s'agissait de la deuxième défection du gouvernement britannique dans ce domaine depuis 2010.

Différents facteurs peuvent expliquer cet échec dans le déploiement de la filière CCUS durant cette première moitié des années 2010 dans l'UE. L'un d'entre eux est économique : en raison des baisses successives du cours du carbone dans l'ETS, ces projets souffraient de problèmes de rentabilité et il était plus viable d'acheter des crédits carbone que d'investir dans ces technologies. De plus, cette période a été marquée par une croissance inattendue des énergies renouvelables, qui ont remporté peu à peu la préférence des pouvoirs publics en matière de solutions de décarbonation¹⁴. À cela, il faut ajouter un manque de soutien politique¹⁵ ainsi que des oppositions locales (facteur souvent évoqué pour expliquer

^b Système d'échange de quotas d'émissions de carbone au sein de l'UE et de pays de l'Association européenne de libre-échange (AELE) créé en 2005 et couvrant environ 40 % des émissions européennes.

les échecs de projets aux Pays-Bas et en Allemagne) en raison des différents risques soulevés par les CCUS (risques de fuite, voire de sismicité induite) mais aussi du modèle de transition énergétique qu'ils sous-tendent (maintien d'une large part de fossiles dans le mix énergétique, concurrence avec les renouvelables et les autres solutions fondées sur des changements comportementaux)¹⁶.

Sur le continent européen, seule la Norvège a poursuivi l'investissement dans les CCUS, un deuxième projet industriel ayant vu le jour à Snøhvit en 2010 avec une capacité de stockage de 0,7 MtCO₂/an opéré par Statoil (maintenant Equinor). Le CCUS a pu se développer dans cet État grâce à une taxation élevée du carbone (en tout cas plus élevée que celle de l'UE), mais aussi grâce à une forte volonté politique : le stockage du carbone y est qualifié de « mission vers la Lune » nationale¹⁷. Grâce à ce projet et celui de Sleipner, le pays stocke actuellement 1,7 MtCO₂/an, et est le seul pays européen avec des projets de CCUS industriels opérationnels.

En Amérique du Nord, le déploiement des CCUS connaît plus de succès notamment parce que certains projets sont associés à la récupération assistée d'hydrocarbures (*Enhanced Oil Recovery - EOR*), ce qui leur confère une rentabilité économique. Néanmoins, cette pratique pose des problèmes en matière de bilan carbone puisque les hydrocarbures ainsi obtenus, lorsqu'ils sont brûlés, rejettent plus de CO₂ dans l'atmosphère que celui qui a été injecté dans le réservoir et stocké^c. Ce problème est accentué quand le CO₂ utilisé est d'origine naturelle et non anthropique, ce qui est le cas dans 70 % des opérations d'EOR menées actuellement aux États-Unis⁴ : comme le CO₂ n'est pas retiré de l'atmosphère ou des fumées industrielles mais est produit entre autres pour stimuler la production d'hydrocarbures, le bilan carbone est donc encore plus négatif. Pour ces raisons, mais aussi parce qu'elle permet la prolongation des énergies fossiles, l'EOR, même si elle poursuit un objectif de stockage définitif à plus ou moins brève échéance, est considérée au sein de l'UE comme une activité « taboue »¹⁸.

L'un des projets phares d'EOR nord-américain est celui de Weyburn-Midale au Canada. Considéré à ses débuts comme un projet industriel de production d'hydrocarbure stimulée par injection de CO₂, il a donné lieu ensuite à un projet de recherche sur le stockage géologique de carbone (*the IEA-GHG Weyburn Midale CO₂ Monitoring and Storage research project* de 2005 à 2012, puis *SaskCO₂USER* de 2013 à 2015). Depuis 2014, une partie du CO₂ provient des fumées de la centrale à charbon de Boundary Dam (province du Saskatchewan). Cette chaîne de CCUS permet de capter 1 MtCO₂/an. Le projet de Weyburn-Midale est également connu pour avoir été l'objet d'une controverse autour de suspicions de fuite, les investigations ayant prouvé par la suite que le CO₂ présent en surface était d'origine naturelle¹⁹.

De plus, en Amérique du Nord, les projets industriels et commerciaux autour du CCUS bénéficient d'un soutien politique

plus important qu'en Europe. Les projets développés dans les années 2000 et au début des années 2010 ont ainsi bénéficié de différents mécanismes de financement public. Par exemple, le projet *Quest* (porté par Shell) a bénéficié de subventions du gouvernement de l'Alberta (740 millions de CAD) et du gouvernement fédéral canadien (120 millions de CAD) pour le captage et le stockage de carbone lié à la transformation de sables bitumineux et d'hydrogène à Edmonton (capacité de captage d'1,2 MtCO₂/an soit 30 % des émissions du site). En outre, aux États-Unis, certains projets ont pu bénéficier de fonds pour la recherche et le développement, le *U.S. Department of Energy* (DOE) proposant de tels financements pour le CCUS depuis 1997. Cela n'a toutefois pas empêché certains projets de connaître de lourdes difficultés : c'est le cas de *FutureGen 2.0* (Illinois), un projet de captage et stockage de CO₂ issu de fumées d'une centrale à charbon qui, après de nombreux obstacles de montage et plusieurs phases de suspension, a été définitivement abandonné en 2016 après la perte de ses financements fédéraux pour ne pas avoir mis en œuvre les activités prévues dans le temps imparti par le DOE²⁰.

Ailleurs dans le monde, les initiatives sont restées relativement peu nombreuses jusqu'à la mi-2010 : citons par exemple les projets d'EOR du groupe Petrobras au Brésil (3 MtCO₂/an) et d'Uthmaniyah en Arabie saoudite (0,8 MtCO₂/an), qui sont toujours en activité.

Fin des années 2010 : un regain d'intérêt

À la fin des années 2010, l'AIE et le Global CCS Institute, la principale association d'industriels autour du CCUS, évoquent un renouveau du CCUS et mettent au point des scénarios de réduction d'émissions tablant sur une relance de la filière à l'échelle mondiale. Dans le scénario dit de « développement durable » de l'AIE, modélisant l'atteinte de la neutralité carbone en 2070, 9,5 GtCO₂/an pourraient être captées et stockées et 0,9 GtCO₂/an captées et utilisées à cette date : 40 % serait issu d'unités de production d'électricité et de bioénergies, 25 % de l'industrie lourde, 30 % de la production d'hydrogène, d'ammoniac ou de biocarburants et 7 % de la capture directe dans l'air (DAC)⁴.

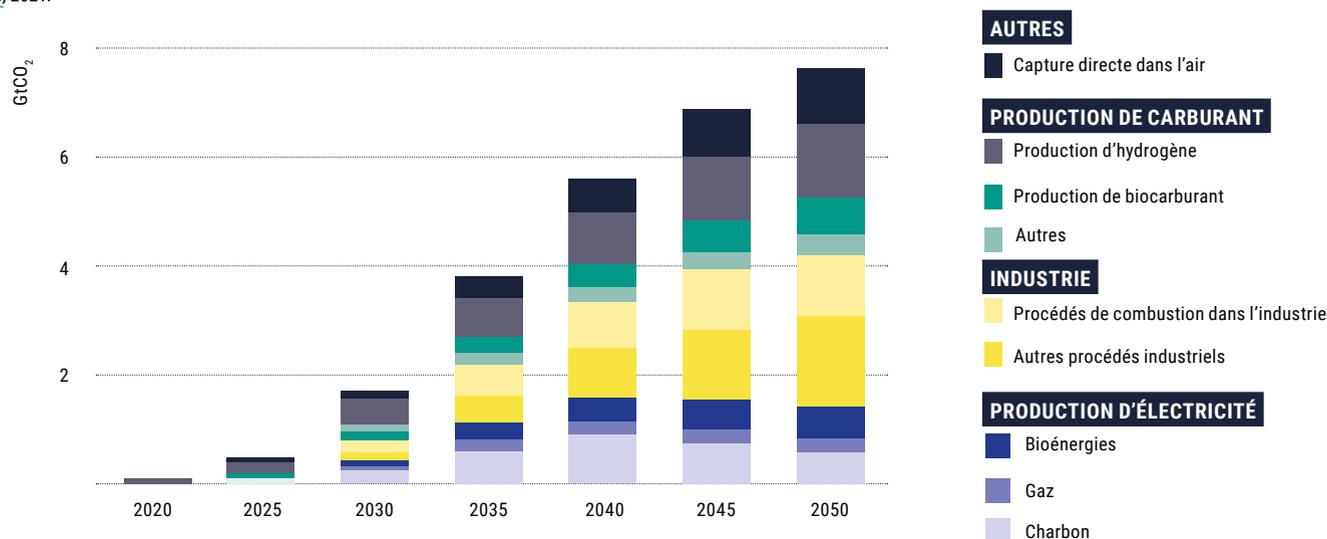
Dans son nouveau scénario pour l'atteinte des objectifs de neutralité carbone en 2050, l'AIE est encore plus ambitieuse et estime que les CCUS pourraient capter 7,6 GtCO₂/an en 2050⁵ (contre 5,6 GtCO₂/an dans le scénario de développement durable), suivant une répartition relativement similaire (**fig. 2**). L'UE est censée assumer le leadership dans ce domaine, au côté des États-Unis et de la Chine : l'AIE l'encourage à investir massivement dans le CCUS et les technologies d'émissions négatives (NET), voyant dans les plans de relance actuels une opportunité à ne pas manquer. Pour l'AIE, donc, les CCUS sont indispensables à l'atteinte de la neutralité carbone à un horizon raisonnable. Pour étayer son argumentaire, elle produit des scénarios avec une faible part de ce type de technologie dans les efforts de décarbonation²¹, qui montrent que sans les CCUS, la transition énergétique serait plus coûteuse et plus longue car elle nécessiterait des investissements lourds

c Farret (2017) estime qu'une tonne de CO₂ permet de récupérer en moyenne 0,25 tonne de pétrole qui une fois brûlée produira environ 2 tonnes de CO₂.

FIGURE 2

CAPTURE DU CO₂ PAR SOURCE DANS LE SCÉNARIO « ZÉRO ÉMISSION NETTE » D'ICI À 2050 DE L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE

Source : AIE, 2021.



dans des technologies de rupture qui n'ont pas encore été développées.

De plus, les CCUS regagnent aussi une certaine légitimité grâce au rapport spécial du GIEC « 1,5 °C », celui-ci faisant intervenir ces technologies et l'ensemble des NET dans trois des quatre grandes catégories de scénarios envisagés²². Certains défenseurs de ces technologies y ont vu la preuve ultime de leur inévitabilité, les scénarios du GIEC faisant généralement office de référence mondiale pour la mise en œuvre de politiques climatiques.

En plus de ces scénarios mettant en avant le recours aux CCUS, d'autres facteurs conduisent à un regain d'intérêt pour ces technologies. Les premiers sont d'ordre politique, puisque les engagements d'États à atteindre la « neutralité carbone » fleurissent depuis la signature de l'accord de Paris, engagements qui ont relancé les discussions autour des technologies pouvant compléter les moyens « naturels » de séquestration du carbone comme les CCUS ou les NET.

Les autres facteurs sont d'ordre économique : outre la remontée du prix du carbone qui pourrait conférer plus de rentabilité aux opérations de CCUS (passage de 25 €/t en janvier 2020 à plus de 50 €/t à l'été 2021 sur le marché carbone européen), le secteur de l'*oil and gas* voit dans le développement de cette filière une nouvelle opportunité économique, leur savoir-faire pouvant être précieux notamment pour les maillons de transport et de stockage.

Sur le plan sociétal, la perception des CCUS semble avoir évolué, bien qu'il soit encore méconnu du grand public et de la classe politique. En effet, ses principaux promoteurs ont su faire évoluer leurs discours pour le rendre plus acceptable et légitime dans les scénarios de transition énergétique envisagés. Si au début des années 2000 et 2010, les CCUS étaient présentés comme utiles au verdissement de la production d'énergie reposant sur les combustibles fossiles classiques

(notamment le charbon), ce qui provoquait des réactions de rejet de la part d'un certain nombre d'acteurs souhaitant sortir des fossiles, ce sont maintenant davantage ses potentialités en matière de réduction des émissions « incompressibles » de l'industrie lourde qui sont mises en avant, c'est-à-dire après intégration de sources d'énergie décarbonées et optimisation des procédés²³. En effet, trois secteurs industriels (ciment, sidérurgie et chimie) représentent à eux seuls 65 % des émissions de GES liées à l'industrie et n'utilisent que 1 % d'énergies renouvelables pour leurs activités²⁴. Leur décarbonation peut donc sembler hors de portée sans des technologies de rupture comme les CCUS (ou l'hydrogène, **cf. tendance Hydrogène**).

Selon leurs promoteurs, les CCUS pourraient ainsi permettre d'éviter la délocalisation des industries qui n'auraient pas réussi à achever leur décarbonation, devenant ainsi un groupe de technologies qui pourraient sauver les emplois nationaux et réduire la dépendance aux importations de produits industriels²⁵. L'association aux technologies d'émissions négatives (NET) contribue aussi à cette opération de revalorisation des CCUS puisque leur développement pourrait permettre le déploiement d'autres procédés qui pourraient retirer du carbone de l'atmosphère et favoriser le maintien de l'objectif d'1,5 °C (possibilité de déployer plus de NET en cas de dépassement)²⁶.

Enfin, le déploiement hypothétique des usages du carbone capté autres que l'EOR (dans des matériaux de construction²⁷ ou des objets en plastique par exemple²⁸) fait écho pour certains aux préoccupations sociétales en matière de recyclage des matières et des déchets¹⁴.

Néanmoins, ces nouveaux débouchés s'accompagnent de nouvelles inquiétudes sur le plan environnemental. En effet, à l'image du cas du EOR que nous avons déjà évoqué, le bilan carbone final de l'utilisation du CO₂ est incertain puisque le CO₂ risque de finir par retourner dans l'atmosphère à plus ou moins court terme (par exemple, au moment de la fin de vie d'un objet fabriqué à partir de CO₂). Pour les NET, de

nombreuses incertitudes reposent sur la possibilité de les mettre réellement en œuvre ainsi que leur durabilité sociale et environnementale. À titre d'exemple, les BECCS (bioénergies avec capture et séquestration du carbone), qui nécessitent une importante extensification et intensification agricole afin de produire la biomasse qui sera utilisée dans les centrales, soulèvent notamment des questions en matière de concurrence spatiale vis-à-vis d'autres formes d'occupation du sol (production agricole, végétation naturelle), de pressions sur la biodiversité mais aussi de pollutions²⁹.

Pour l'AIE, les dix prochaines années seront cruciales pour le déploiement des CCUS et des NET. Elle voit dans la multiplication des projets industriels et de R&D un des moyens de faire baisser les coûts et de démontrer la pertinence de ces technologies pour atteindre les objectifs climatiques fixés⁴. Mais est-ce que ce passage à l'échelle supérieure pour atteindre 1,6 GtCO₂ en 2030 et 7,6 GtCO₂ en 2050 est vraiment réalisable ?

Début des années 2020 : des verrous encore importants au déploiement des CCUS à grande échelle

La réponse à cette question est loin d'être simple, même pour une fervente promotrice des CCUS comme l'AIE. D'un côté, elle estime qu'un déploiement exponentiel de ces technologies est envisageable en prenant l'exemple des techniques de désulfuration des fumées dans les centrales thermiques, qui a connu une croissance fulgurante en 30 ans (1972-2012). De l'autre, elle est consciente de la fragilité de la situation économique actuelle : la première vague de projets démonstrateurs des CCUS a été freinée par la crise économique de 2008 ; il se peut que celle qui découlera de la pandémie de Covid-19 ait les mêmes conséquences⁴. À titre d'exemple, le projet *Petra Nova*, une des vitrines récentes du CCUS aux États-Unis, reposant aussi sur l'EOR, a été mis en pause en raison de la baisse des cours du pétrole en 2020. Certains analystes, comme R. Farret, voient dans le captage du CO₂ pour l'EOR un tremplin pour le développement des technologies CCUS puisque cela pourrait permettre une amélioration technique, une baisse des coûts et une plus grande familiarité du grand public avec ce type de technologies¹². Les récentes recommandations de l'AIE sur l'arrêt des nouvelles explorations de champs de pétrole d'ici 2025³⁰ et les annonces de certains gouvernements en ce sens peuvent effectivement jouer en la faveur d'une multiplication de systèmes de CCUS à des fins d'EOR pour prolonger la vie utile des puits existants. Cependant, la probable baisse des cours du pétrole dans les années à venir peut aussi avoir l'effet inverse.

Un autre facteur d'incertitude est lié à la mobilisation sociale et politique pour ce type de technologie. Du point de vue social, les CCUS et les NET demeurent largement méconnus du grand public, ce sont des technologies qui suscitent beaucoup moins d'intérêt et provoquent moins de controverses que le nucléaire ou les énergies renouvelables³¹. Néanmoins, elles génèrent de l'inquiétude en raison des risques industriels,

de fuite ou de sismicité induite³². De plus, leur assimilation à des technologies de géo-ingénierie³³, qui font l'objet d'une certaine méfiance, ou le fait de les présenter comme des solutions étant seulement au service des lobbys industriels et de l'*oil and gas* ne facilitent pas l'adhésion du grand public³⁴.

Sur l'échiquier politique, certains auteurs décrivent les CCUS comme des « technologies orphelines » (autrement dit, elles n'ont pas de fervents supporteurs ni de fervents opposants)¹⁷. D'une manière générale, jusqu'à présent, la classe politique s'est peu investie dans les débats autour des CCUS, en dehors de quelques nations particulières comme les États-Unis, le Canada ou la Norvège, des pays avec une forte tradition d'exploration des ressources géologiques sur leur territoire. Comme les incertitudes sur ces technologies sont assez nombreuses (quid de la réception sociale, des risques environnementaux ou des effets climatiques réels ?), la prise de position à ce sujet peut être dangereuse pour un acteur politique.

Du côté des grandes ONG environnementales, comme celles composant le « lobby vert » à Bruxelles (les « Green 10 »)^d, la mobilisation est également loin d'être forte. Greenpeace est la seule à avoir mené des campagnes contre les CCUS lors de la première vague de projets, notamment parce qu'ils étaient associés à l'idée de maintenir une large part de fossiles dans le mix énergétique mondial³⁵. Sa position semble avoir évolué aujourd'hui : elle n'est pas contre une utilisation marginale de ces technologies une fois que toutes les autres options possibles de décarbonation auront été épuisées³⁶. C'est une position que l'on retrouve aussi auprès du Climate Action Network, même si une note récente cherchait à prévenir du danger que pourrait représenter une trop grande foi dans les NET^{37,38}. Ces ONG portent, pour l'instant, leur attention sur des objets de mobilisation plus large, comme les engagements climatiques de certains acteurs étatiques ou économiques ainsi que le maintien des fossiles dans le futur mix énergétique, ce qui peut amener à formuler des critiques ponctuelles contre les technologies CCUS, mais cela ne constitue pas leur cœur de cible³⁹. Cela est peut-être lié au statut de *bridging technology*, le CCUS étant parfois mis en avant comme une solution provisoire afin d'assurer la transition entre le stade actuel fortement dépendant des fossiles et le stade désiré, celui d'une économie alimentée globalement par les énergies renouvelables.

Les promoteurs des CCUS doivent donc encore trouver les mots pour convaincre, ce qui n'est pas chose aisée étant donné que les promesses de développement économique, d'emplois ou de concurrence technologique ne permettent plus de faciliter l'acceptation des projets industriels⁴⁰. L'AIE et certains analystes souhaitent par exemple abolir la distinction entre « puits naturels » et « puits technologiques » de carbone pour faciliter l'adhésion du public et de la classe politique et éviter les critiques sur les « techno-fixes » (solutions technologiques à des problèmes créés en partie par le développement technologique lui-même)⁴¹. Une autre tendance que l'on voit se

^d Cette appellation fait référence aux ONG suivantes : Greenpeace Europe, CEE Bankwatch, Birdlife International, Climate Action Network Europe, WWF Europe, Naturfriends International, Environmental European Bureau, Health and Environmental Alliance, Friends of the Earth Europe, Transport and Environment.

dessiner actuellement est de mettre l'accent sur le rôle que pourrait jouer les CCUS dans la production d'un hydrogène décarboné (ou « hydrogène bleu »), une source d'énergie bénéficiant d'une aura plutôt positive (cf. **tendance Hydrogène**).

La principale question, et non des moindres, reste tout de même celle de la faisabilité de ce type de technologie. Du côté de leurs défenseurs, les CCUS ne posent pas de problème particulier. En effet, sur le papier, les possibilités de stockage géologique couvrent largement nos besoins. Par exemple, l'AIE estime que la mer du Nord peut stocker 80 années d'émissions actuelles provenant de l'UE⁴². Du côté des industriels, le stockage géologique est un procédé décrit comme simple et totalement réalisable car assimilé à un processus inverse à la production d'hydrocarbures⁴³.

Cependant, lorsque l'on s'essaye à la territorialisation des CCUS, autrement dit leur mise en œuvre concrète sur un ou plusieurs territoires donnés, les incertitudes et les difficultés à surmonter sont particulièrement nombreuses. En France, l'ADEME, agence publique spécialisée dans la transition énergétique, a publié un document cherchant justement à déterminer où il serait possible de faire du captage et du stockage de carbone sur son territoire métropolitain. En prenant en compte les contraintes géographiques (distance émetteur-puits), économiques (coût et rentabilité des différents maillons de la chaîne en fonction des volumes émis, transportés et stockés) et sociales (faible acceptabilité du stockage *onshore*) actuelles, elle conclut à un déploiement limité à trois pôles (Dunkerque, Le Havre et Lacq) et invite les industriels situés en dehors de ces zones à envisager d'autres procédés de décarbonation⁴⁴. Les hypothèses de départ utilisées par l'ADEME ont été critiquées par certains acteurs de la filière, ces derniers considérant que les coûts peuvent baisser et que d'autres solutions de transport (réutilisation des conduites de gaz existantes) et de stockage (par exemple en Méditerranée) sont envisageables à plus ou moins court terme, moyennant des investissements lourds de la part des acteurs privés et des pouvoirs publics⁴⁵.

Un autre aspect problématique concerne justement l'ampleur des travaux et dépenses nécessaires au déploiement du CCUS pour passer aux échelles prévues dans certains scénarios de l'AIE ou du GIEC. Pour le transport du CO₂, par exemple, les chiffres et les projections demeurent rares. En Europe, une modélisation de 2011, effectuée pour l'Espace économique européen, fondée sur un scénario prévoyant la capture de 1,39 GtCO₂/an à l'horizon 2050, estime que 18 728 km de pipeline seront nécessaires pour le transport et le stockage du CO₂ si ceux-ci sont développés dans une configuration optimale (coût/distance entre émetteurs et puits). Ces installations représenteraient un investissement cumulé de 28 milliards d'euros jusqu'à cette date⁴⁶. Or, l'objectif du scénario *Net Zero By 2050* (7,6 GtCO₂/an en 2050) est 5,4 fois plus élevé que l'hypothèse de ce scénario. Cette quantité de pipelines semble loin d'être négligeable, et pourtant, elle reste faible comparée aux réseaux utilisés en Europe pour le gaz naturel (200 000 km en 2005⁴⁷). Partant de la constatation que cela a déjà été mis en œuvre pour la production d'hydrocarbures, le déploiement de plusieurs milliers de kilomètres

de pipeline pour le CO₂ demeure une hypothèse plausible. Néanmoins, les réseaux existants ont été développés car les produits convoyés avaient une valeur économique réelle et représentaient des bénéfices potentiels pour les constructeurs ou exploitants, ce qui n'est pas le cas du carbone qui reste pour l'instant majoritairement une contrainte (en dehors de l'utilisation pour l'EOR).

Reste à savoir, donc, si les pouvoirs publics et le secteur privé accepteront de financer l'ensemble de ces travaux.



GRANDS ENSEIGNEMENTS

Depuis 2015, les CCUS connaissent un regain d'intérêt et les conditions semblent à nouveau favorables pour leur déploiement. Mais en raison d'un certain nombre d'incertitudes économiques (viabilité du CCUS), techniques (sécurité lors des différentes étapes de la chaîne de production) et stratégiques (quelle part leur accorder dans les stratégies de décarbonation ?), les acteurs privés et les pouvoirs publics hésitent encore à se lancer dans des projets de dimension industrielle ou dans le financement d'infrastructures. Actuellement, si les CCUS sont de plus en plus présentés comme pertinents pour certains secteurs d'activités (émissions de l'industrie lourde) et certaines applications (notamment pour le déploiement des NET), ils demeurent envisagés par les acteurs politiques comme des solutions secondaires ou des solutions de secours si les autres mécanismes de décarbonation venaient à faillir. Sur le plan sociétal, ils ne font pas l'objet d'un débat vivace et demeurent encore peu visibles en dehors de certaines sphères spécifiques (ONG, institutions spécialisées dans la transition énergétique) ou lors des tentatives de mises en œuvre de projets locaux. Peu d'acteurs politiques, institutionnels et territoriaux sont mobilisés en leur faveur. Pour ces raisons, leur déploiement à grande échelle, du moins dans les proportions envisagées par l'AIE ou certains scénarios du GIEC, de l'ordre de la gigatonne par an dès 2030, demeure très incertain.

BIBLIOGRAPHIE

RETOUR PAGE PRÉCÉDENTE

- 1 GCCSI (2019). [Global Status of CCS 2019. Targeting climate change](#). *Global CCS Institute*
- 2 GCCSI (2020). [Global Status of CCS 2020. CCS vital to achieve net-zero](#). *Global CCS Institute*
- 3 Greig, C., Bongers, G., Stott, C., Byrom, S. (2016). [Overview of CCS Roadmaps and Projects](#). *University of Queensland, Brisbane*
- 4 AIE (2020). [CCUS in Clean Energy Transition](#), Agence internationale de l'énergie
- 5 AIE (2021). [World Energy Investment 2021](#). Agence internationale de l'énergie
- 6 BloombergNEF (2021). [Energy Transition Investment Trends. Tracking global investment in the low-carbon energy transition](#). *BloombergNEF*
- 7 Collet, P. (18/05/2021). [Total investit dans un projet de stockage de CO₂ à l'échelle industrielle en Norvège](#). *Actu-Environnement*
- 8 ArcelorMittal (28/05/2019). [Lancement du projet européen innovant « 3D » pour capter et stocker le CO₂ à l'échelle industrielle](#).
- 9 IOGP (2021). [CCUS projects in Europe](#). *International Association of Oil & Gas Producers*
- 10 O'Neill, R.N., Nadaï, A. (2012). « [Risque et démonstration, la politique de capture et de stockage du dioxyde de carbone \(CCS\) dans l'Union européenne](#) », [Vertigo] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 12 (1)
- 11 IPCC (2005). [Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage](#). *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- 12 Farret, R. (2017). [Captage et stockage géologique du CO₂, retours d'expériences et perspectives](#). *INERIS*
- 13 Monne, J. (2015). [Carbon capture and storage: The Lacq pilot](#). *Global CCS Institute*
- 14 Popiolek, N. (2019). [Le captage et le stockage du carbone à l'ère du renouveau ?](#) *La revue de l'énergie*, 645, pp. 75-81.
- 15 Chailloux, S. (2020). [Making the subsurface political: How enhanced oil recovery techniques reshaped the energy transition](#). *Environment and Planning C: Politics and Space*, 38(4), pp. 733-750.
- 16 Geden, O., Scott, V., Palmer, J. (2018). [Integrating carbon dioxide removal into EU climate policy: Prospects for a paradigm shift](#). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(4).
- 17 Bui, M., et al. (2018). [Carbon capture and storage \(CCS\): the way forward](#). *Energy & Environmental Science*, 11(5), pp. 1062-1176.
- 18 Expression utilisée par un acteur de la filière CCUS en France lors d'un entretien réalisé en avril 2021.
- 19 Boyd, A. D., Liu, Y., Stephens, J. C., Wilson, E. J., Pollak, M., Peterson, T. R., Einsiedel, E., Meadowcroft, J. (2013). [Controversy in technology innovation: Contrasting media and expert risk perceptions of the alleged leakage at the Weyburn carbon dioxide storage demonstration project](#). *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 14, pp. 259-269.
- 20 Room, J. (05/02/2021). [FutureGen Dead Again: Obama Pulls Plug On 'NeverGen' Clean Coal Project](#). *Think Project*
- 21 AIE (2019). [The role of CO₂ Storage: exploring clean energy pathways](#). Agence internationale de l'énergie
- 22 IPCC (2018). [Special Report on Global Warming of 1.5°C](#). *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- 23 Voir à ce sujet les communications proposées autour du congrès OSE qui tournaient principalement autour des applications industrielles et présentaient le CCUS comme le meilleur moyen de lutter contre les émissions incompressibles : [21ème Édition du congrès OSE - Sophia Antipolis - 30/09/2021 - Évènement OSE 2021 \(mines-paristech.fr\)](#)
- 24 REN21 (2021). [Renewables 2021. Global Status Report](#)
- 25 Entretiens avec des acteurs de la filière, avril-mai 2021. Voir aussi Tagliapietra, S. (04/12/2020). [Une coalition mondiale pour la neutralité carbone](#). *Le Monde*
- 26 Le Hir, P. (2018). [Climat : le pari des émissions négatives](#). *Le Monde*
- 27 Stassi, F. (2020). [Capter et stocker le CO₂ des cimenteries dans un béton plus vert](#). *L'Usine nouvelle*
- 28 Veolia (10/12/2015). [AirCarbon, le plastique « carbon-negative »](#).
- 29 NégaWatt (2020). [Quelle place pour le nucléaire et les énergies renouvelables dans les trajectoires mondiales de neutralité carbone ?](#) *association négaWatt*
- 30 Mediavilla, L. (21/05/2021). [La fin des nouveaux gisements, un casse-tête pour l'industrie pétrolière](#). *L'Express*
- 31 Arnauld de Sartre, X., Chailloux, S. (à paraître). « L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ – retour sur un débat non émergé », *Natures Sciences et Sociétés*, hors-série 'Pour une géologie politique' (à paraître fin 2021).
- 32 Pour les enquêtes sur la perception en France : Ha-Duong, M. « Risque et perception du public » in Ha-Duong, M., Chaabane, N. (2010). *Le captage et le stockage du CO₂. Enjeux techniques et sociaux en France*. Editions Quae, Collection Update Sciences & Technologies.
- 33 Varet, J. (2014). [La géo-ingénierie climatique](#). *Encyclopédie du développement durable*.
- 34 Voir par exemple les articles parus dans Reporterre (Robert, A. (06/05/2021). [Stockage de CO₂, les manœuvres de Total](#)) et Le Monde (Joeres, A et Götze, (10/04/2021). [Les fausses promesses des technologies de captage de carbone pour réduire les émissions de CO₂](#))
- 35 Greenpeace (2008). [Faux espoirs. Pourquoi le captage et la séquestration du carbone ne sauveront pas la planète](#)
- 36 Entretien avec un responsable de campagne de Greenpeace, avril-mai 2021.
- 37 Moussally, J.P. (2010). « Le point de vue du Réseau Action Climat France » in Ha-Duong, M., Chaabane, N. (2010). *Le captage et le stockage du CO₂. Enjeux techniques et sociaux en France*. Editions Quae, Collection Update Sciences & Technologies
- 38 CAN (2021). [Position : Carbon Capture, Storage and Utilisation](#). *Climate Action Network*
- 39 Voir par exemple les campagnes de Greenpeace « TOTAL, une ambition climaticide » (2020) ou celle de Notre Affaire à Tous, 350.org et Les Amis de la Terre « TOTAL la stratégie du chaos climatique » (2019)
- 40 Fournis, Y., Fortin, M. J. (2015). [Une définition territoriale de l'acceptabilité sociale : pièges et défis conceptuels](#). [Vertigo] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 15(3)
- 41 Geden, O., Scott, V., Palmer, J. (2018). [Integrating carbon dioxide removal into EU climate policy: Prospects for a paradigm shift](#). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(4)
- 42 AIE (2020), Partie « Regional opportunities »
- 43 Collen, V. (27/10/2020). [Pourquoi les compagnies pétrolières misent sur le stockage du CO₂](#). *Les Echos*
- 44 Ademe (2020). [Captage et stockage géologique de CO₂ \(CSC\) en France. Un potentiel limité pour réduire les émissions industrielles](#). *Agence de la transition écologique*
- 45 Entretiens menés avec des acteurs de la filière, avril-mai 2021
- 46 Morbee, J., Serpa, J., Tzimas, E. (2011). [Optimal planning of CO₂ transmission infrastructure: The JRC InfraCCS tool](#). *Energy Procedia*, 4, pp. 2772-2777.
- 47 Papadakis, G.A. (2005). [Overview of pipelines in Europe - advantages and disadvantages](#). *Commission économique pour l'Europe des Nations unies*.