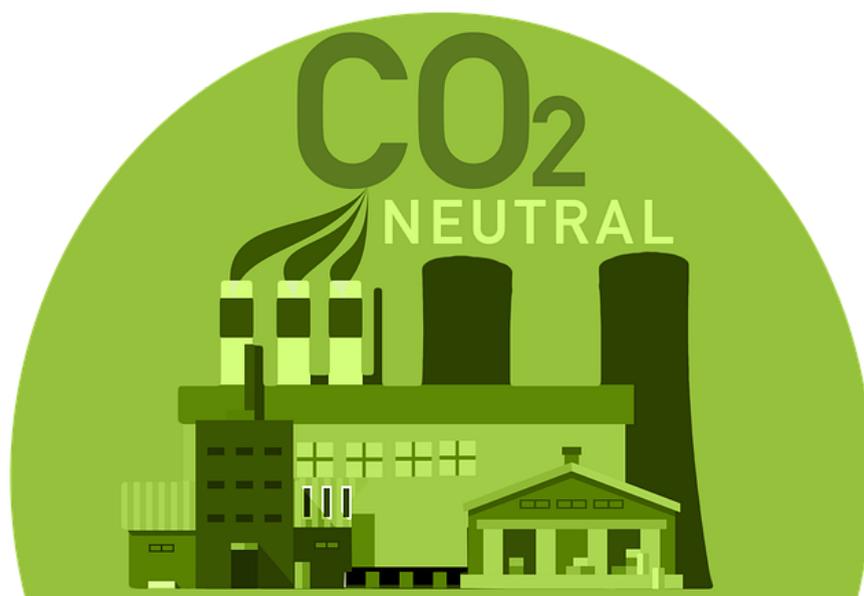


La Capture et le Stockage / Utilisation du CO₂

S'agit-il d'une solution déterminante pour lutter contre le réchauffement climatique?



Clara ALLOIS
Elise COSTA
Clément DESROCHES
Paul DHALLUIN

Louis HENNION
Evan LETELLIER
Guillaume RAMOS
Yinuo ZHANG

2023

Cette publication a été réalisée par des étudiants en troisième année du cycle ingénieur de Mines Paris PSL Research University. Il présente le travail réalisé dans le cours intitulé « Descriptions de controverse », qui a pour objectif d'introduire les étudiants à l'univers incertain de la recherche scientifique et technique et de les sensibiliser aux enjeux de la participation citoyenne.

Mines Paris décline toute responsabilité pour les erreurs et les imprécisions que peut contenir cet article. Vos réactions et commentaires sont bienvenus. Pour signaler une erreur, réagir à un contenu ou demander une modification, merci d'écrire à la responsable de l'enseignement : madeleine.akrich@mines-paristech.fr.

Introduction

Début 2021, Elon Musk a promis de récompenser à hauteur de 100 millions de dollars la meilleure technologie de captage du carbone. Imaginée par la fondation Xprize, cette initiative vise à stimuler l'industrie et à inciter au développement de technologies de rupture, pour capter et stocker le CO₂¹. Un an après, le groupe III du GIEC publie son dernier volet, étudiant les scénarios de réduction d'émissions de gaz à effet de serre pour limiter le changement climatique en exhibant des moyens d'action. Parmi ceux-ci est évoqué le CSC (Capture et Stockage du Carbone, CCS en anglais pour Carbon Capture and Storage). «Le CSC est une option pour réduire les émissions provenant de sources d'énergie et d'industries fossiles à grande échelle, à condition que le stockage géologique soit disponible.»² lit-on. Le stockage de carbone, présenté comme une solution majeure dans la lutte contre le changement climatique, est en fait une technologie issue de l'industrie des hydrocarbures. Celle-ci a émergé dans les années 70 aux Etats Unis, portée par les développements de la technologie de l'Enhanced Oil Recovery (EOR) qui vise à déloger les 40 à 60% d'hydrocarbures restants dans les réservoirs déjà utilisés en injectant du CO₂ dans les puits. Les acteurs industriels historiques ayant développé cette technologie sont donc à l'origine des entreprises pétrolières comme la compagnie norvégienne Equinor. C'est à partir de la publication du rapport spécial du GIEC de 2018³ sur le réchauffement climatique qu'émerge une deuxième vague de projets avec un objectif de réduction des quantités de CO₂ dans l'atmosphère. En effet, du côté industriel, ce rapport a été un rebond pour le CSC et de nouveaux projets ont été alors développés comme celui de Northern Lights en Norvège par TotalÉnergies. Néanmoins, il est également montré dans le 6ème rapport du GIEC qu'à l'heure actuelle les taux de déploiement du CSC dans le monde sont bien inférieurs à ceux correspondants aux scénarios modélisés limitant le réchauffement de la planète à 1,5°C ou 2°C.⁴ Aujourd'hui, au niveau français, c'est TotalÉnergies qui favorise le plus le développement du secteur avec le projet Northern Lights en Norvège.

Le CSC peut-il être considéré comme une solution déterminante pour limiter le changement climatique ?

Cette controverse soulève diverses problématiques. La première phase de réflexion sera centrée sur la souhaitabilité du développement de cette technologie. Nous verrons que le domaine de la capture et du stockage de carbone englobe un ensemble de technologies variées et largement débattues, et qu'en dépit du soutien récent du GIEC, industriels, scientifiques, ONG, pouvoirs publics et acteurs locaux peinent à s'entendre sur la souhaitabilité des projets de stockage de carbone. Nous étudierons cette première controverse à l'échelle mondiale en comparant les points de vue des différents acteurs. Nous nous concentrerons ensuite dans un second temps sur les controverses liées à l'acceptabilité sociale en évoquant les craintes des populations locales ainsi que les solutions mises en place par les industriels pour favoriser l'acceptabilité. Enfin, nous étudierons dans un troisième temps un enjeu primordial au développement de cette technologie : la question du financement. Les acteurs industriels font en effet face à de nombreux problèmes de rentabilité sur le CSC, et les

¹ XPrize. (s.d.) «\$100M prize for carbon removal». Site de l'entreprise XPrize. Disponible sur <https://www.xprize.org/prizes/carbonremoval>. [Consulté le 07/01/2023]

² IPCC. (2022). «Summary for Policymakers. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change». Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926.001.

³ GIEC. (2018) «Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Résumé à l'intention des décideurs». Organisation météorologique mondiale. Disponible sur: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

⁴ ibid

questions du mode de financement et du rôle de la sphère politique sont cruciales. Nous nous focaliserons sur l'Europe et en particulier sur le cas de la France pour ces deux dernières parties.

Un secteur complexe comprenant de multiples technologies; laquelle choisir ?

La naissance du CSC est historiquement liée aux innovations du secteur pétrolier. La séquestration du carbone trouve en effet ses racines aux Etats Unis dans les années 70, avec les premières démonstrations de la technologie EOR - Enhanced Oil Recovery - (1972: projet à Val Verde, Texas, 1982: projet Enid, Oklahoma)⁵. Comme nous le verrons par la suite, la séquestration du carbone n'était cependant pas la motivation première des géants pétroliers. De l'autre côté de l'Atlantique, avec l'introduction de taxes carbone -notamment en Norvège en 1991-, les entreprises énergétiques se penchent ensuite sur le CSC⁶ pour diminuer les émissions de carbone de leurs activités pétrolières offshore. Equinor (ex-Statoil), qui exploite le champ de gaz de Sleipner en Norvège, lance alors le premier projet CSC de grande envergure: il sépare le CO₂ du gaz extrait offshore et ré-injecte ce CO₂ dans les strates géologiques exploitées. On constate donc que les premières technologies furent fortement portées par les acteurs pétroliers ou énergétiques, et l'exemple de Sleipner ouvrira la voie à de nombreux autres projets de CSC⁷.

Malgré une perte d'intérêt globale pour le CSC suite à l'avènement du gaz de schiste et à la crise financière de 2008, la technologie de la capture de carbone revient aujourd'hui sur le devant de la scène. Le CSC étant présenté comme une technologie clef pour atteindre les objectifs de Paris par différentes organisations internationales comme le GIEC, de nombreux projets naissent et se développent. Dans le même temps, les acteurs non-gouvernementaux de la protection de l'environnement dénoncent le CSC (Reporterre⁸ ou Carbon Market Watch⁹) et y voient avant tout un levier d'inaction climatique ainsi qu'un frein à la conception de processus industriels authentiquement décarbonés.

Une première partie de la controverse soulevée par les acteurs du CSC porte donc sur la question du développement et de la mise à l'échelle de cette technologie. Alors que les industriels sont favorables à l'utilisation du CSC et y voient une aubaine pour la réduction de leurs émissions¹⁰, les acteurs luttant contre le réchauffement climatique essaient de ralentir son développement.¹¹

Les différentes techniques de capture de carbone

La capture du CO₂ est la première étape de la réduction des émissions. Pour comprendre les débats autour de ce sujet, il faut d'abord séparer la capture du carbone en deux grandes familles : la

⁵ International Energy Agency. (2016) «20 Years of Carbon Capture and Storage: Accelerating Future Deployment». OECD, doi: 10.1787/9789264267800-en

⁶ ibid

⁷ Pigeon, J. (2016). «Les technologies de Captage, Transport et Stockage du CO₂ (CTSC) dans l'Axe-Seine : description des futurs possibles d'un dispositif technique de réduction des émissions de gaz à effet de serre.» Thèse de doctorat. Université du Havre.

⁸ Heuillard, Y. (2021, 10 Février). « La capture et le stockage du carbone, un remède pire que le mal ». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/La-capture-et-le-stockage-du-carbone-un-remede-pire-que-le-mal>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹ Stoefs, W. (2021, 20 Septembre). « There is no cheating the atmosphere ». Carbon market watch. Disponible sur <https://carbonmarketwatch.org/2021/09/20/there-is-no-cheating-the-atmosphere/>. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰ TotalÉnergies. (2020, 31 Janvier) «Le captage-stockage de CO₂, une solution prometteuse.» Site de l'entreprise TotalÉnergies. Disponible sur <https://totalenergies.com/fr/dossiers/le-captage-stockage-de-co2-une-solution-prometteuse>. [Consulté le 07/01/2023]

¹¹ Center for International Environmental Law. (2021, 19 Juillet) «It's Time to End Carbon Capture of Climate Policy : An Open Letter to US and Canadian Leaders». Disponible sur https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2021/07/CCS-Ad_The-Washington-Post_FINAL.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

capture naturelle et la capture technologique. La séquestration naturelle se fait dans un puits de carbone comme les océans, les forêts, et dans une moindre mesure les prairies et le reste du couvert végétal qu'il soit naturel ou sous conduite humaine (pâturages, cultures, jardins, etc.). La séquestration industrielle, sur laquelle nous avons concentré notre travail, se focalise à ce jour sur deux types de sources qui sont d'un côté l'air ambiant dans lequel le CO₂ est très dilué, et de l'autre les fumées (généralement d'usines) dans lesquelles le gaz est plus concentré.

La DAC (Direct Air Capture) consiste à prélever le CO₂ directement dans l'atmosphère. Cette solution, encore en développement, est présentée comme prometteuse comme l'écrit l'AIE dans son rapport :

«Le DAC joue un rôle important et croissant dans les scénarios "net zéro".»¹²

Cette technologie permet théoriquement de réaliser des émissions négatives, si l'alimentation énergétique du dispositif génère moins de CO₂ qu'il n'en capte, comme l'explique Mahdi Fasihi, chercheur à l'université technologique de Lappeenranta en Finlande¹³, dans son étude sur le DAC. Néanmoins, M. Fasihi montre dans son rapport que cette technologie pose question quant à la faisabilité de sa réalisation, à son efficacité et à son coût. De fait, la DAC ne traite qu'une source diluée de CO₂ (ce gaz ne représente que 0.5% de l'air ambiant), ce qui signifie qu'il faut filtrer de grandes quantités d'air pour capter une quantité significative de CO₂. Pour fixer les idées, il faudrait filtrer l'équivalent de 800 piscines olympiques pour récupérer 1 tonne de CO₂ atmosphérique¹⁴. Aujourd'hui, malgré les incertitudes restantes autour du coût et de la consommation énergétique potentiellement démesurés de telles techniques généralisées à large échelle, les start-up du secteur se multiplient. Parmi celles-ci, l'entreprise suisse Climeworks affiche comme objectif de retirer 1% du CO₂ de l'atmosphère d'ici 2050. Les investisseurs sont particulièrement attirés par ces technologies, comme en témoigne la levée de fonds de 600 millions d'euros de Climeworks le 5 Avril dernier¹⁵. Outre-Atlantique, la startup canadienne Global Thermostat a levé 68 millions de dollars en 2019. Malgré l'intérêt pour cette innovation technologique, Aïcha El Khamlichi, ingénieure à l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) explique dans son interview pour le journal Socialter que les coûts et consommations énergétiques associés sont encore trop importants:

«Un des obstacles majeurs aux technologies de capture et de séquestration du carbone est son prix. Mais ces investissements massifs pourraient à terme les faire baisser. [...] Autre inconvénient de taille : la faible rentabilité énergétique de ces technologies, malgré des objectifs ambitieux... voire irréalistes selon la chercheuse. En 2017, Climeworks admettait qu'il faudrait construire pas moins de 750 000 usines supplémentaires pour capter 1% du dioxyde de carbone atmosphérique mondial»¹⁶

¹² International Energy Agency. (2022, Avril) «Direct Air Capture. A key technology for net zero». IEA. Disponible sur https://iea.blob.core.windows.net/assets/78633715-15c0-44e1-81df-41123c556d57/DirectAirCapture_Akeytechnologyformetzero.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

¹³ Fasihi, M. et O. Efimova, C. Breyer, (2019) «Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants», Journal of Cleaner Production, Volume 224, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.086

¹⁴ Garric, A. et P. Mouterde. (2022, 22 Janvier) «Le captage et le stockage de CO₂, solution d'avenir pour le climat ou mirage ?». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/01/26/le-captage-et-stockage-du-co2-solution-d-avenir-pour-le-climat-ou-mirage_6110976_3244.html. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁵ Mann, N. (2022, 14 Avril). «Au-delà de Climeworks, les technologies de captage de CO₂ dans l'air se multiplient.» L'Usine nouvelle. Disponible sur <https://www.usinenouvelle.com/editorial/l-instant-tech-au-dela-de-climeworks-les-technologies-de-captage-de-co2-dans-l-air-se-multiplient.N1993422>. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁶ Kloetzli, S. (2018, 12 Juillet) «Les technologies de capture du carbone pourront-elles contrer le réchauffement climatique ?» Socialter. Disponible sur <https://www.socialter.fr/article/les-technologies-de-capture-du-carbone-pourront-elles-contrer-le-rechauffement-climatique-1>. [Consulté le 07/01/2023]

La seconde technique de captage de CO₂ est celle consistant à récupérer le CO₂ là où il est plus concentré, c'est-à-dire directement à la sortie des sites les plus polluants (cimenteries, aciéries, centrales thermiques). Le captage de CO₂ à partir des fumées d'usine présente plusieurs avantages par rapport à la Direct Air Capture (DAC). Comme le souligne Habib Azarabadi, chercheur à l'Université d'Arizona, cette technologie induit des coûts de capture par tonne de CO₂ bien inférieurs à ceux obtenus par la DAC pour une grande partie des installations. Cependant, il précise que pour les installations où la mise en place de capture directe est très coûteuse, le DAC peut revenir moins cher¹⁷. Ce dispositif est plus ancien et fut développé à l'origine par les industries d'hydrocarbures dans les années 70 pour le développement de l'EOR. Cette technologie historique mature¹⁸ du point de vue de l'efficacité n'est pourtant pas très développée en raison d'un manque de financement. Selon Sébastien Chailleux, maître de conférences à Sciences-Po Bordeaux, et enseignant chercheur sur l'impact sociologique de la transition énergétique, avec qui nous avons pu nous entretenir :

«Au niveau de l'Union européenne, le développement du CCUS a été adossé au marché carbone. Mais étant donné que le marché carbone a plongé lui aussi à cause de la crise financière en 2008- 2009, on était sur un système qui n'était même plus assez incitatif vis-à-vis des grands émetteurs de CO₂ et donc on a perdu une décennie car le prix du carbone était en dessous de 20€ pendant quasiment 10 ans»¹⁹

Cette solution a été par exemple développée par l'entreprise TotalÉnergies à Lacq en 2010. Cependant, après environ une année de fonctionnement, le projet a été mis à l'arrêt suite aux contestations locales et au manque de rentabilité. Ce n'est qu'assez récemment que des coalitions d'industriels et des financements publics apparaissent comme le montre le projet pilote du partenariat entre ArcelorMittal, TotalÉnergies, Axens et l'IFPEN à Dunkerque.²⁰ De plus, la capture de CO₂ à partir des fumées d'usine pose la question de l'incitation à l'inaction. En effet, ces technologies de captage permettent à des industries très émettrices de réduire fortement leurs émissions tout en perpétuant leur mode de fonctionnement fossile, comme le juge Carbon Market Watch (association à but non lucratif qui a pour but de veiller à ce que la tarification du carbone et d'autres politiques climatiques réduisent effectivement les niveaux de pollution). Cette association y voit :

«Un gâchis et prône au contraire de concentrer les efforts sur la décarbonisation en amont (hydrogène par exemple pour les hauts fourneaux) plutôt que de limiter les effets en aval (en filtrant les fumées).»²¹

On retrouve ici un point clef de la controverse du CSC : ne vaut-il pas mieux concentrer les efforts sur la cause -les technologies émettrices- plutôt que sur la conséquence ?

On constate donc que plusieurs technologies de capture de carbone existent, certaines depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui, le DAC semble davantage financé et soutenu par les

¹⁷ Azarabadi, H. (2020). «Post-Combustion Capture or Direct Air Capture in Decarbonizing US Natural Gas Power?» Environ. Sci. Technol. doi: 10.1021/acs.est.0c00161

¹⁸ ibid

¹⁹ Entretien réalisé avec Sébastien Chailleux le 02/11/2022

²⁰ TotalÉnergies. (2022, 22 Mars) «Démarrage du pilote industriel « 3D » de captage et de stockage de CO₂ à Dunkerque». Site de l'entreprise TotalÉnergies. Disponible sur <https://totalenergies.com/fr/medias/actualite/communiqués-presse/france-demarrage-du-pilote-industriel-captage-co2-3d-dunkerque>. [Consulté le 07/01/2023]

²¹ Stoefs, W. (2022, 10 Janvier) «A sustainable carbon cycle or a vicious emissions cycle?» Carbon Market Watch. Disponible sur <https://carbonmarketwatch.org/2022/01/10/a-sustainable-carbons-cycle-or-a-vicious-emissions-cycle/>. [Consulté le 07/01/2023]

investisseurs²². Mais, finance-t-on la bonne technologie ? Le captage fait directement sur les sites polluants permet en effet d'atteindre dans une grande partie des cas le coût de captage de la tonne de CO₂ le moins cher²³. Cependant, le fait qu'à l'heure actuelle les plus pollueurs soient les initiateurs de ces projets semble freiner la volonté d'investissement.

Le devenir du carbone, une question délicate

La diversité et l'efficacité des méthodes de capture du carbone ne constituent qu'une partie des enjeux relatifs au CSC. Une fois le carbone capté, la problématique de son devenir se pose. Deux stratégies émergent des initiatives du secteur. La première consiste à considérer le CO₂ comme un «déchets» et à le stocker en profondeur dans des roches poreuses. C'est le CSC (Captage et Stockage du Carbone). Une seconde approche consiste à valoriser le carbone capté en vue d'une réutilisation en lui trouvant un usage. C'est le CUC (Captage et Utilisation du Carbone).

Le CSC exploite la porosité des roches (aquifères salins, roches pétrolières) pour y stocker du CO₂. C'est en quelque sorte le principe inverse de l'extraction de gaz dans un puits d'hydrocarbures. Historiquement, les acteurs pétroliers furent pionniers dans le développement de cette technologie. En 1996, l'opérateur Statoil ainsi que les partenaires Esso, Norsk, Hydro, Elf et TotalÉnergies (ex-Total), lancent le premier projet CSC d'échelle sur un gisement gazier en mer du Nord (Norvège). Motivés par la récente taxe carbone norvégienne (1991) et par la teneur excessive en CO₂ du gaz extrait, les acteurs choisissent d'extraire une partie du CO₂ du gaz pour la réinjecter, sous terre. D'après Helge Kongsjorden, chercheur au laboratoire privé d'Equinor à Trondheim (Norvège), la séquestration du CO₂ capté à partir du gaz à Spleiner représente environ 1 Mt/an soit 2 à 3% des émissions annuelles norvégiennes.²⁴

Dans sa synthèse «Faux espoir», Greenpeace soulève cependant les risques induits par l'injection souterraine de CO₂. L'intégrité du stockage sur le long terme y est notamment questionnée :

« Il est impossible de garantir un stockage sûr et permanent du CO₂. Un taux de fuite, même très faible, pourrait saper tout effort d'atténuation des changements climatiques. »²⁵

Les conséquences d'éventuelles fuites sont à prendre en compte, comme le rappelle Laurent Catoire, responsable de l'Unité chimie et procédés à l'ENSTA Paris. Il distingue deux catégories de risque. Si, pour l'homme, une fuite ne serait visiblement dangereuse qu'en milieu clos où le CO₂ pourrait s'accumuler, le principal risque pour la biodiversité réside dans l'acidification des eaux souterraines et ses conséquences sur la faune et la flore locales.²⁶ L'évaluation des risques demeure cependant complexe en raison du peu de recul dont disposent les industriels. De fait, freinés par la lourdeur des

²² Budinis, S. (2022, Septembre) «Direct Air Capture», IEA, Paris. Disponible sur <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>.

²³ Azarabadi, H. (2020). «Post-Combustion Capture or Direct Air Capture in Decarbonizing US Natural Gas Power?». Environ. Sci. Technol. doi: 10.1021/acs.est.0c00161

²⁴ Kongsjorden, H. et O. Kårstad, T. Torp. (1998) «Saline aquifer storage of carbon dioxide in the Sleipner project». Waste Management, Volume 17, Issues 5–6, Pages 303-308, doi: 10.1016/S0956-053X(97)10037-X.

²⁵ Rochon, E. (2008, Mai) «Faux espoir». Greenpeace International. Disponible sur https://cdn.greenpeace.fr/site/uploads/2017/02/faux-espoir.pdf?_ga=2.172225126.475964195.1673102098-1811481672.1672733525. [Consulté le 07/01/2023]

²⁶ Catoire, L. (2022, 8 Mars). «CO₂ : un stockage souterrain possible, mais pas accepté». Polytechnique Insights.

Disponible sur <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/industrie/lacceptation-sociale-est-un-obstacle-majeur-au-stockage-souterrain-du-co2/>. [Consulté le 07/01/2023]

investissements requis, les projets d'échelle sont rares : en 2021, l'AIE en recense une trentaine²⁷. Dans une analyse du projet Spleiner de 2010, Ringrose, Eiken et Hermanrud, chercheurs travaillant pour Equinor et/ou Statoil, soulignent notamment que le risque est intimement lié à la technique de mesure de la capacité d'un puits. Dans leur synthèse, ils avancent que la capacité d'un puits est une grandeur subjective, car celle-ci dépend des risques de fuite que la compagnie est prête à prendre²⁸. Leur étude évoque par exemple des écarts importants entre six estimations, réalisées entre 1996 et 2009, parfois divergentes d'un facteur 100. Mais un chercheur à l'IFPEN que nous avons interviewé en octobre 2022 est plus optimiste :

« La nature a piégé du CO2 partout depuis des millions d'années. On a essayé de trouver des structures géologiques qui pourraient reproduire ce phénomène, et on le fait déjà avec du gaz naturel. Ça me paraît donc jouable pour le CSC. »²⁹

On observe donc une nuance dans les opinions entre les propos rassurants des pro-CSC qui avancent des études (notamment les pétroliers), et l'appel à la prudence d'une partie de la communauté scientifique.

La valeur du CO2 stocké dans le cadre du CSC n'est autre que celle que les différents acteurs lui donnent, et c'est pourquoi historiquement, ce n'est pas cette méthode qui a été développée en premier mais l'EOR. C'est en effet la technique de valorisation controversée à l'origine de la filière CUC. Une autre méthode de valorisation comme matière première existe, mais est elle aussi critiquée pour ses possibilités et échelles limitées.

Historiquement, l'intérêt pour la capture du CO2 est né avec l'EOR. Il s'agit d'un ensemble de techniques permettant de poursuivre l'extraction du pétrole ou du gaz d'un gisement une fois que les méthodes de récupération primaire et secondaire ont été épuisées. Un sous-type d'EOR - l'EOR par injection - consiste à introduire des gaz tels que le CO2 dans le gisement pour pousser le pétrole hors du puits et augmenter les rendements. L'EOR par injection de CO2 est une technique déjà éprouvée qui trouve son origine aux Etats Unis dans les années 70-80³⁰, et connaît depuis une constante croissance [Figure 1].

²⁷ International Energy Agency (2021) «*Carbon capture, utilisation and storage*». Site de l'IEA. Disponible sur <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>. [Consulté le 07/01/2023]

²⁸ Ringrose, P., O. Eiken et C. Hermanrud (2010). «*Injection, stockage et surveillance à Sleipner (Norvège) : une rétrospective de 15 ans*». Géologues. 166. 69-75

²⁹ Entretien réalisé avec un enseignant-chercheur de l'IFPEN le 25/10/2022

³⁰ Falwell, P. (2015, Janvier). «*Understanding the National Enhanced Oil Recovery Initiative*». Center for Climate and Energy Solutions. Disponible sur <https://www.c2es.org/document/understanding-the-national-enhanced-oil-recovery-initiative/>. [Consulté le 07/01/2023]

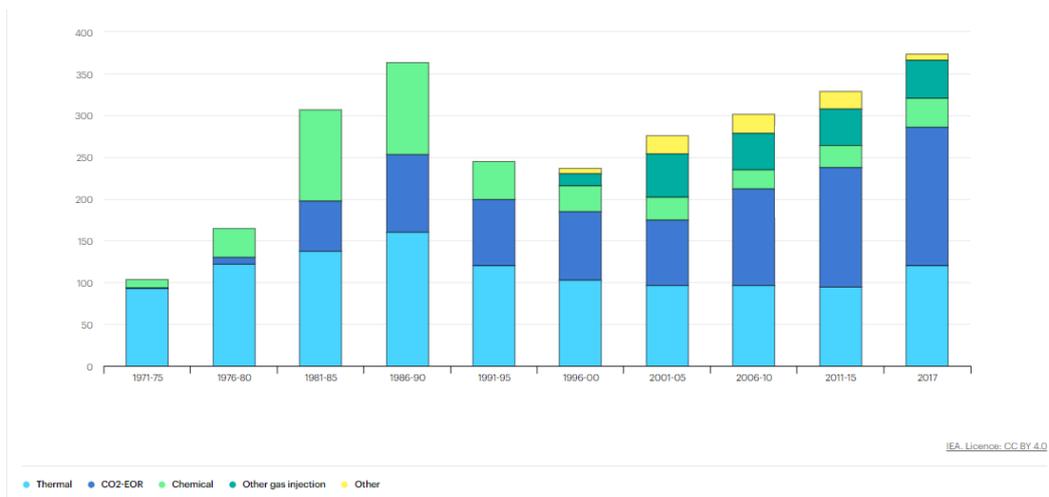


Figure 1 : Nombre de projets EOR en opération entre 1971 et 2017

Source : McGlade, C., G. Sondak et M. Han (2018, 28 Novembre) «Number of EOR projects in operation globally, 1971-2017», AIE, Disponible sur <https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery>. [Consulté le 07/01/2023]

S'il permet de lier l'utile (stockage de CO₂) au bénéfique (viabilité économique, pour les industriels), l'EOR suscite néanmoins de fortes critiques chez les défenseurs de l'environnement, comme Reporterre³¹. Dans un article en cinq parties, Reporterre pointe du doigt que le moteur économique est avant tout l'extraction d'hydrocarbures supplémentaires, la séquestration du carbone restant un corollaire. Le média y voit également une incitation à produire davantage d'énergies fossiles et qualifie la technologie de contre-productive. De plus, le CO₂ utilisé est majoritairement d'origine naturelle (poches souterraines de CO₂) car bien moins cher que le CO₂ capté³². Pour réaliser des émissions négatives, la source doit donc être une émission d'origine anthropique (biomasse, usines, etc) [Figure 2].

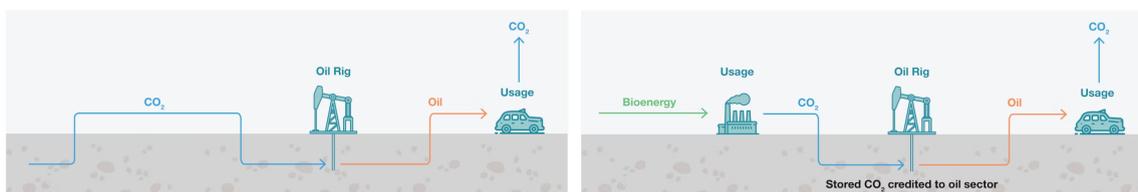


Figure 2:

A gauche la source est une poche souterraine de CO₂, aucun CO₂ atmosphérique n'est enfoui.

A droite, la source est une usine, on peut envisager réduire les émissions globales du cycle.

Source : McGlade, C. (2019, 11 Avril) «Can CO₂-EOR really provide carbon-negative oil?», AIE, Disponible sur <https://www.iea.org/commentaries/can-co2-eor-really-provide-carbon-negative-oil>. [Consulté le 07/01/2023]

La seconde façon de valoriser le carbone est son utilisation comme matière première. Toutefois, les cas d'utilisation sont limités car le CO₂ est le produit final de l'oxydation du carbone

³¹ Robert, A. et A.-R. Kokabi (2021, 06 Mai) «Stockage de CO₂: les manœuvres de Total». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/Stockage-de-CO2-les-manoeuvres-de-Total>. [Consulté le 07/01/2023]

³² El Khamlichi, A., T. Gourdon, et S. Padilla. (2020, Juillet) «Le Captage et Stockage géologique du CO₂ (CSC) en France : Le CSC, un potentiel limité pour la réduction des émissions industrielles». ADEME. Disponible sur https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2020/07/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

et est donc un réactif chimique très inerte³³. Quelques cas d'utilisation existent (culture sous serre, gaz réfrigérant, agent neutralisant³⁴) et comptent pour environ 0.8Mt/an en France et 230Mt/an dans le monde selon l'ADEME³⁵, des quantités à mettre en relation avec les 38Gt annuelles émises dans le monde. De nouveaux cas de valorisation sont envisagés notamment dans les domaines de l'industrie chimique, des biocarburants et de la production de ciment³⁶. Enfin, un autre frein au CUC reste la nécessité d'un transport plus local (camions, bateaux), faute de développement à des échelles plus larges.

À quelle échelle géographique développer la technologie ?

Dans un contexte global, la solution du CSC pourrait être décisive³⁷, mais dans certains pays comme la France, le potentiel de cette technologie est limité comme le souligne l'ADEME³⁸, en raison du nombre restreint de sites de stockages possibles. Se pose donc la question de l'échelle de déploiement de cette technologie.

La diffusion de la technologie du CSC serait accompagnée corollairement d'un réseau de transport du CO₂ adapté. En effet, alors que les premiers projets intégraient le captage et stockage au même endroit, on assiste aujourd'hui à un découplage des différentes briques du CSC avec un éloignement des zones de captage et de stockage. Comme l'explique Sébastien Chailleux, le CSC a connu ces dernières années un développement plus tourné vers un stockage en offshore qu'en onshore, notamment en raison de l'absence de protestations au niveau local, et ces nouveaux sites de stockage impliquent un transport du CO₂ depuis les industries³⁹ situées sur la terre ferme, ainsi qu'une gestion internationale, tous les pays ne disposant pas de sites de stockage adaptés dans leurs eaux. Le chercheur mentionne également la question des émissions produites par ce transport⁴⁰, notamment en raison des distances entre lieux de captage et de stockage de plus en plus importantes. Celles-ci sont notamment induites par le choix des technologies utilisées pour ce transport de CO₂ (pipeline, bateau, camion), qui conditionne le type de réseau de CSC à mettre en place (mondial, européen ou national). Des pipelines transportant du CO₂ sont déjà en place -3000 kilomètres au total, surtout situées aux Etats-Unis, le gaz étant utilisé pour extraire davantage de pétrole⁴¹. Sur de plus longues distances - au-delà de 1000 km-, le transport par bateau semble être le plus économique, avec une utilisation possible des tankers transportant du gaz naturel liquéfié pour l'acheminement de

³³ Cailloce, L. (2016). «Le CO₂, une ressource à exploiter ?» CNRS. Disponible sur <https://lejournal.cnrs.fr/articles/le-co2-une-ressource-a-exploiter> [Consulté le 07/01/2023]

³⁴ Air Liquide. (s.d.) «Enrichissement en CO₂ dans les serres» Site de l'entreprise Air Liquide. Disponible sur: <https://fr.airliquide.com/solutions/enrichissement-en-co2-dans-les-serres> [Consulté le 07/01/2023]

³⁵ Robert, A. et A.-R. Kokabi (2021, 06 Mai) «Stockage de CO₂: les manœuvres de Total». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/Stockage-de-CO2-les-manoevres-de-Total>. [Consulté le 07/01/2023]

³⁶ ibid

³⁷ Lefvert, A., E. Rodriguez, M. Fridahl, S. Grönkvist, S. Haikola, et A. Hansson. (2022, Mai) «What Are the Potential Paths for Carbon Capture and Storage in Sweden? A Multi-Level Assessment of Historical and Current Developments». Energy Research & Social Science. Volume 87, doi: 10.1016/j.erss.2021.102452.

³⁸ El Khamlichi, A., T. Gourdon, et S. Padilla. (2020, Juillet) «Le Captage et Stockage géologique du CO₂ (CSC) en France : Le CSC, un potentiel limité pour la réduction des émissions industrielles». ADEME. Disponible sur https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2020/07/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

³⁹ Chailleux, S. et X. Arnaud de Sartre (2021). «L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.» Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁴⁰ Finon, D. et M. Damian (2011, Janvier) «Le captage et le stockage du carbone, entre nécessité et réalisme». Natures Sciences Sociétés, Volume 19, pages 56-61. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2011-1-page-56.htm>. [Consulté le 07/01/2023]

⁴¹ Club CO₂. (s.d.) «Transporter le CO₂». Site du Club CO₂. Disponible sur <https://www.club-co2.fr/fr/content/transporter-le-co2>. [Consulté le 07/01/2023]

CO₂⁴². Il convient donc non seulement de prendre en compte les coûts (l'installation de pipelines nécessite des investissements importants) mais des opposants au CCS mentionnent également les risques associés au transport, comme le risque de fuite ou de décharge illicite du CO₂ par bateau ou pipeline⁴³. En effet, contrairement au gaz, le CO₂ ne peut être utilisé que dans des conditions très spécifiques, et l'objectif est ici plutôt de le stocker pour s'en défaire, notamment dans le cadre du CSC (il n'y a pas la même problématique pour le CUC car le CO₂ y est réutilisé). Des détracteur du CSC affirment que des industriels peu scrupuleux pourraient donc être tentés de relâcher le CO₂ qu'ils étaient censés transporter, d'autant plus que certaines zones ne peuvent pas être surveillées (transport maritime), comme le souligne Yves Heuillard dans son article pour Reporterre :

«L'histoire nous a montré de façon répétée l'honnêteté relative de certains acteurs industriels et, concernant le carbone, la manipulation du marché des quotas de carbone par le grand banditisme. Par exemple, comment être certain qu'un navire gazier transportant 100.000 tonnes de CO₂ arrivera bien à destination quand il sera si facile d'ouvrir les robinets, et de dégazer en pleine mer ? Dans ce cas, pas de marée noire, pas de produit toxique, pas d'odeur, pas de saveur, aucune trace, aucune conséquence. Avec un gazoduc, ce serait encore plus facile.»⁴⁴

La multiplication des vecteurs augmente également les risques d'accidents et de fuites, notamment si un transport a lieu par camion par exemple.

Il apparaît donc que la question des moyens de transport du CO₂ est un facteur clé contribuant à la détermination de l'échelle de déploiement de la technologie de CCS. Le développement des réseaux de transport est également conditionné à une évolution législative, et en particulier à une facilitation du transport du CO₂ par bateau ou par voie terrestre par rapport aux gazoducs, comme le mentionne l'entreprise TotalÉnergies dans sa contribution déposée auprès de l'UE⁴⁵.

Conclusion de la Partie

Bien que les industriels ne soient encore qu'au stade initial de développement de leurs projets de CSC, et ce en marge de leurs activités principales (Northern Lights ne tournera à plein régime qu'en 2025), l'importance stratégique du développement de ces technologies fait naître de nombreux débats quant aux spécificités techniques de cet outil de décarbonation. Captage massif dans l'air ou au plus près des usines carbo-intensives, stockage dans les sous-sols géologiques ou revalorisation du carbone, chaque industriel a un intérêt à défendre son processus adapté à ses besoins : ArcelorMittal favorise par exemple les projets de décarbonation à la sortie de ses usines, alors que d'autres industriels moins émissifs défendent une décarbonation plus globale. Chaque technologie possède ses avantages et ses inconvénients.

Cependant, depuis que les instances internationales comme le GIEC ou l'ADEME se sont emparées de la problématique, le débat concernant le CSC a dépassé le cercle technologique et

⁴² ibid

⁴³ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « *Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂* ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausses-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

⁴⁴ Heuillard, Y. (2021, 10 Février). « *La capture et le stockage du carbone, un remède pire que le mal* ». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/La-capture-et-le-stockage-du-carbone-un-remede-pire-que-le-mal>. [Consulté le 07/01/2023]

⁴⁵ Robert, A. et A.-R. Kokabi (2021, 06 Mai) « *Stockage de CO₂: les manœuvres de Total* ». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/Stockage-de-CO2-les-manoeuvres-de-Total>. [Consulté le 07/01/2023]

logistique. Aujourd'hui se posent davantage des questions d'ordre social ou économique, mises sous le feu des projecteurs par l'émergence de projets pilotes comme celui de TotalÉnergies à Lacq.

Acceptabilité : Comment réconcilier industries et locaux ?

Lors du développement et de la mise à l'échelle des projets de CSC, un nouveau nœud de controverse émerge en raison de la confrontation du projet avec les populations locales. Au-delà des seuls aspects technico-économiques concernant les technologies, les industriels font souvent face à une opposition locale des populations au développement des sites de CSC: là où les industriels essaient de développer des projets de décarbonation, les populations s'y opposent pour différentes raisons socio-environnementales.

L'importance de l'opinion publique était souvent un aspect sous-estimé lors du développement de ces projets, comme nous l'a confié un exécutif chargé des projets CSC au sein de TotalÉnergies. En apprenant des échecs des projets CSC des années 2010 (Le Lacq, France ou Barendrecht, Pays-Bas), les industriels trouvent aujourd'hui indispensable pour l'implantation de ces projets de comprendre les interactions avec l'opinion publique et les différentes controverses nées des tensions socio-environnementales: celles-ci sont notamment liées aux risques associés à la technologie, et sont non seulement corrélées à la distance entre lieu de captation du CO₂ et lieu de stockage, mais aussi à l'implantation de l'industriel porteur de projet dans la région.

Un scepticisme historique du grand public

Les projets de CSC onshore, et plus particulièrement les projets de stockage de carbone dans les sols, se heurtent au problème de leur acceptabilité sociale et se voient contestés par des populations locales craignant pour l'environnement et pour la santé humaine. Ces dernières se basent notamment sur des études scientifiques et sur l'existence de projets ayant échoué ou ayant eu des effets dommageables⁴⁶.

La principale motivation derrière l'opposition des riverains provient des risques possibles de fuites de CO₂. Comme le montre la synthèse réalisée par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)⁴⁷ les fuites au sein des sols peuvent engendrer la contamination des nappes souterraines desquelles est tirée l'eau potable, avec la migration de saumure vers des zones d'eau douce, ce qui présente un risque pour la biodiversité et pour la santé humaine⁴⁸. D'après une étude de l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) réalisée en 2012, la présence de CO₂ dissout dans l'eau entraîne l'augmentation des concentrations de métaux toxiques⁴⁹. Les mêmes experts géologues du BRGM insistent cependant sur le caractère limité des risques et soutiennent la position des porteurs de projets en mettant en avant leurs connaissances des milieux géologiques de stockage et leur capacité à éviter les fuites⁵⁰.

⁴⁶ Gough, C., R. Cunningham et S. Mander (2017). «*Societal responses to CO₂ storage in the UK: media, stakeholder and public perspectives.r*» Energy Procedia, Volume 114, Pages 7310-7316. Doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1861

⁴⁷ Lions, J. et O. Bouc (2013). «*Synthèse sur les impacts potentiels du stockage géologique du CO₂ sur les ressources en eau souterraines*». Rapport de recherche, BRGM, ONEMA.

⁴⁸ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) «*Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂* ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausses-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

⁴⁹ Laperche, D. (2012, 11 décembre). «*Quels risques pour le stockage de CO₂ ?*». Actu-environnement. Disponible sur <https://www.actu-environnement.com/ae/news/quels-risques-pour-stockage-dioxyde-de-carbone-17285.php4>. [Consulté le 07/01/2023]

⁵⁰ ibid

Selon Sébastien Chailleux⁵¹ - qui a mené une étude portant sur l'acceptabilité sociale des projets de CSC -, une autre source de préoccupation des populations directement touchées par les projets de stockage est la sismicité qu'ils peuvent induire⁵² : des tremblements de terre pourraient être causés par l'injection de grandes quantités de gaz carbonique dans le sous-sol, mettant en péril l'intégrité des constructions à la surface. Il cite notamment le projet d'In Salah dans le centre de l'Algérie⁵³ pour illustrer son propos. Il s'agit d'un projet pionnier mondial de CSC onshore qui a permis d'accumuler une expérience très utile pour les projets de CSC dans le monde entier. Le projet a été basé sur l'extraction de CO₂ du flux de production provenant de plusieurs gisements de gaz de la région de Krechba. L'injection débutée en 2004 a permis l'enfouissement de plus de 3,8 millions de tonnes de CO₂. L'analyse du réservoir et des données sismiques et géomécaniques ainsi que l'observation de la remontée des sols (environ 15 mm en 7 ans) due à l'enfouissement de carbone ont conduit à la décision de suspendre l'injection de CO₂ en juin 2011. Ce risque est cependant remis en question par une partie de la communauté scientifique spécialisée en raison des progrès techniques réalisés au cours des dernières années⁵⁴ et des projets qui ont pu aboutir sans présenter de problème de sismicité⁵⁵.

Comme le présente Laurent Catoire, responsable de l'Unité chimie et procédés à l'ENSTA Paris⁵⁶, les populations locales ne font pas non plus abstraction du risque de fuites de CO₂ dans l'atmosphère, au vu par exemple de la catastrophe du lac Nyos en 1986 au Cameroun, qui a provoqué la mort de 1800 personnes asphyxiées par le CO₂, et cela même si ce CO₂ était contenu dans une poche naturelle. Bien que, comme l'explique Laurent Catoire, ce risque est bien contrôlé par un choix approprié du lieu de stockage (un espace non clos évitant la concentration de CO₂), cette expérience rappelle aux riverains que le risque n'est pas nul et contribue à leur hostilité.

Pour les acteurs industriels, la solution de l'enfouissement offshore a constitué dès les premiers projets de CSC une opportunité de passer outre les problématiques d'acceptabilité. Comme le décrit un cadre de TotalEnergies dans l'entretien qu'il nous a donné le 16 novembre 2022, il est toujours plus simple de monter un projet de stockage dans les zones moins densément peuplées, et a fortiori au large des côtes. Cependant, selon S. Chailleux⁵⁷, une opposition locale existe tout de même, même si elle est moindre, qui rassemble ONG défenseurs de la biodiversité et professionnels de la mer. Les risques de fuites existent en effet également dans les cas d'enfouissements offshore. Leur conséquence serait l'acidification des mers ou des océans et la création de zones mortes⁵⁸, portant gravement atteinte aux écosystèmes.

⁵¹ Entretien réalisé avec Sébastien Chailleux le 2 Novembre 2022.

⁵² Zoback, M. D. et S. M. Gorelick (2012). «*Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide.*» Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(26), 10164-10168. Doi: 10.1073/pnas.120247310

⁵³ Ringrose, P.S., A.S. Mathieson, I.W. Wright, F. Selama, O. Hansen, R. Bissell, N. Saoula et J. Midgley (2013) «*The In Salah CO₂ Storage Project: Lessons Learned and Knowledge Transfer*» Energy Procedia, Volume 37, Pages 6226-6236,. Doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.551.

⁵⁴ White, J. A., & Foxall, W. (2016). «*Assessing induced seismicity risk at CO₂ storage projects: Recent progress and remaining challenges.*» International Journal of Greenhouse Gas Control, 49, 413-424. Doi: 10.1016/j.ijggc.2016.03.021

⁵⁵ Hill, B. «*Seismic Risk Won't Threaten the Viability of Geologic Carbon Storage*» (2012, 20 juin) Clean Air Task Force. Disponible sur <https://www.catf.us/2012/06/seismic-risk-wont-threaten-the-viability-of-geologic-carbon-storage/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁵⁶ Catoire, L. (2022, 8 Mars). «*CO₂ : un stockage souterrain possible, mais pas accepté*». Polytechnique Insights. Disponible sur

<https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/industrie/lacceptation-sociale-est-un-obstacle-majeur-au-stockage-souterrain-du-co2/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁵⁷ Entretien réalisé avec Sébastien Chailleux le 2 Novembre 2022.

⁵⁸ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) «*Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂*». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausse-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

Les oppositions locales auxquelles sont confrontés les porteurs de projets de CSC en Europe sont qualifiées par ces derniers comme s'inscrivant dans une attitude NIMBY (*Not In My BackYard*)⁵⁹, ou plus précisément -puisque'il s'agit d'un enfouissement de CO₂- dans une attitude NUMBY (*Not Under My BackYard*)⁶⁰. Cette attitude serait liée la position de populations directement en contact avec des infrastructures de projets d'aménagement et donc sujettes à des nuisances potentielles. L'acronyme NIMBY est controversé, car il est utilisé par les porteurs de projet pour décrédibiliser les mouvements de contestation locaux, accusés d'égoïsme. Comme l'indique le cadre chez TotalÉnergies que nous avons interviewé le 16 novembre 2022, l'industrie du stockage de carbone ne fait pas exception. La plupart des problèmes touchant les populations riveraines mènent à ce genre de qualification par les oppositions, quelle que soit l'industrie. À l'opposé, les locaux se défendent en mettant en avant des arguments socio-environnementaux⁶¹.

L'opposition des populations locales à l'implantation de projets de stockage de carbone comporte différentes facettes. En premier lieu, les protestations sont motivées par la crainte de la technologie et des risques encourus pour l'environnement voisin et la santé des riverains. Ces protestations émergent petit à petit en raison de la méconnaissance des technologies au premier abord⁶². Le discours de l'opérateur quant à la technologie est alors crucial dans l'existence et la portée du refus local⁶³. La manière qu'a le porteur du projet de présenter les risques associés à celui-ci a donc une incidence significative sur les éventuelles contestations. Dans le projet Altmark Clean⁶⁴, l'opérateur de stockage GDF Suez a revu sa position sur les risques encourus en reconnaissant leur existence après l'avoir niée. L'analyse de S. Chailleux révèle que le public s'est senti trompé et a provoqué l'abandon du projet⁶⁵.

La position des riverains ne se limite pas au simple refus des risques mais s'inscrit également dans une démarche responsabilisante. Un argument important de l'opposition est en effet le refus de voir son environnement devenir un lieu de stockage pour des émissions tierces. Comme le montre C. Merk, la distance entre la population et le projet de stockage joue un grand rôle dans son acceptabilité⁶⁶. Les projets de CSC sont d'autant plus difficilement acceptés par les populations locales accueillant le stockage que le site de stockage est éloigné du site de captage. Cet effet est encore plus considérable dans le cas où ces sites ne correspondent pas au même pays⁶⁷. Les populations jugent que chacun doit se rendre responsable de ses émissions et refusent de voir leur

⁵⁹ Chailleux, S. et X. Arnaud de Sartre (2021). « *L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.* » Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁶⁰ Merk, C., Å. Dyrnes Nordø, G. Andersen, O. M. Læg Reid, E. Tvinnereim (2022) « *Don't send us your waste gases: Public attitudes toward international carbon dioxide transportation and storage in Europe.* » Energy Research & Social Science, Volume 87. Doi: 10.1016/j.erss.2021.102450.

⁶¹ Jobert, A. (1998). « *L'aménagement en politique. Ou ce que le syndrome NIMBY nous dit de l'intérêt général.* » Politix, 42, 67-92. Doi: 10.3406/polix.1998.1725

⁶² Ashworth, P. et C. Cormick (2011) « *Enabling the social shaping of CCS technology* ». Hart Publishing. ISBN: 9781841132686.

⁶³ Bertaud du Chazaud, S. (2018, 30 Août) « *L'acceptabilité des projets d'ingénierie du sous-sol: questionnaire et mise en perspective autour de cas concrets* » APESA, Centre technologique au service des transitions. Disponible sur: <https://www.apesa.fr/acceptabilite-sociale-des-projets-dingenierie-sous-sol/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁶⁴ Kühn, M., M. Tesmer, P. Pilz (2012, Septembre) « *CLEAN: project overview on CO₂ large-scale enhanced gas recovery in the Altmark natural gas field (Germany).* » Environmental Earth Sciences, Volume 67, pages 311-321. Doi: 10.1007/s12665-012-1714-z

⁶⁵ Chailleux, S. et X. Arnaud de Sartre (2021). « *L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.* » Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁶⁶ Merk, C., Å. Dyrnes Nordø, G. Andersen, O. M. Læg Reid, E. Tvinnereim (2022) « *Don't send us your waste gases: Public attitudes toward international carbon dioxide transportation and storage in Europe.* » Energy Research & Social Science, Volume 87. Doi: 10.1016/j.erss.2021.102450.

⁶⁷ *ibid.*

territoire devenir une « décharge »⁶⁸. Cet argument d'opposition est notamment la raison pour laquelle le projet de Barendrecht porté par Shell aux Pays-Bas a été un échec⁶⁹ : le CO₂, capté au sortir des raffineries de Rotterdam, devait être stocké dans un réservoir de gaz déplété à 2000 mètres sous la ville de Barendrecht. La population locale, notamment rassemblée au sein du groupe d'activistes « CO₂ is no »⁷⁰, s'est opposée à cette importation de carbone et le projet a été abandonné. A l'inverse, un projet en « auto-consommation » (selon les mots de S. Chailleux⁷¹), où le CO₂ est stocké là où il est produit, entraîne moins d'opposition puisqu'il s'intègre entièrement dans l'éco-système local.

Pistes de réconciliation des acteurs

Le manque de confiance entre opérateurs et riverains peut parfois contribuer à expliquer le non aboutissement d'un projet. Comme l'explique S. Chailleux⁷², alors que les opérateurs tiennent largement les populations locales comme responsables des échecs en les accusant d'avoir une position NIMBY, cette responsabilité est controversée dans la mesure où elle pourrait aussi servir à camoufler un manque de viabilité technico-économique des projets ou même des problèmes plus structurels liés à la technologie même.

Dans son analyse de la perception publique du CSC en Europe, le projet européen NearCO₂⁷³ souligne le fait que le confinement du débat sur les aspects techniques du CSC met en position de force le porteur de projet face à un public qui ne possède pas un niveau de connaissance et de sensibilisation adapté. L'utilisation d'un langage plus adéquat peut alors être une stratégie de l'opérateur vis-à-vis de ses opposants afin de regagner une confiance qui manque à la faisabilité du projet. D'autres solutions sont possibles pour éviter les écueils des projets passés. Par exemple, S. Brunsting⁷⁴ souligne l'intérêt de la pro-activité des opérateurs dans leurs négociations, alors que ceux-ci se cantonnent souvent aux obligations légales. De nombreux points peuvent être négociés avec les riverains pour satisfaire à leurs demandes, notamment en ce qui concerne la localisation exacte du site ou encore l'emplacement des infrastructures, bien que ces paramètres aient souvent un impact sur la rentabilité du projet. Le cas de Chapelle-de-Rousse dans le Béarn est très parlant à ce niveau. Chapelle-de-Rousse constitue le projet pilote de CSC de TotalÉnergies en France. Il a consisté en l'injection entre 2010 et 2013 de 50 kilotonnes de carbone à 4500 mètres dans un réservoir de gaz déplété. Ce projet s'est heurté à des oppositions qui ont pu être levées par une action volontaire de Total qui a mis en place des commissions locales⁷⁵. Un autre aspect que souligne S.

⁶⁸ Chailleux, S. et X. Arnaud de Sartre (2021). «L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.» Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁶⁹ Brunsting, S., M. de Best-Waldhober, C.F.J. Feenstra et T. Mikunda (2011), «Stakeholder participation practices and onshore CCS: Lessons from the Dutch CCS Case Barendrecht.» Energy Procedia, Volume 4, pages 6376-6383. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.655.

⁷⁰ Feenstra, C.F.J., T. Mikunda, et S. Brunsting, (2010, Juin) «What happened in Barendrecht?» Global CCS Institute, Disponible sur <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/8172/barendrecht-ccs-project-case-study.pdf> [Consulté le 07/01/2023]

⁷¹ Entretien réalisé le 2 Novembre 2022.

⁷² Chailleux, S. et X. Arnaud de Sartre (2021). «L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.» Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁷³ Brunsting, S., J. Desbarats, M. de Best-Waldhober, E. Duetschke, C. Oltra, P. Upham, H. Riesch. (2011) «The public and CCS: the importance of communication and participation in the context of local realities.» Energy Procedia, Volume 4, pages 6241-6247. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.637.

⁷⁴ ibid

⁷⁵ Ha-Duong, M., M. Gaultier, and B. deGuillebon (2011) « Social aspects of Total's Lacq CO₂ capture, transport and storage pilot project.» Energy Procedia, Volume 4, pages 6263-6272. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.640.

Brunsting⁷⁶ dans la récupération de la confiance entre les parties concerne l'intégration d'experts au débat, ceux-ci étant susceptibles d'être perçus comme indépendants. Cependant, reste la question de l'identification des experts compétents en CSC. Les incertitudes liées aux données scientifiques sur la fiabilité du stockage du CO₂ peuvent compliquer la situation. L'exemple du projet de Ketzin, dans le Brandebourg, en Allemagne, illustre l'importance du recours à un observateur impartial dans le cadre des efforts de communication. La confiance du public dans le GFZ (centre de recherche allemand en géosciences), étant donnée son identité en tant qu'institut de recherche, était élevée et a conduit à l'acceptation par le public de la technologie et du projet.

Un autre élément peut également favoriser l'implantation de projets de CSC et permettre une meilleure acceptabilité. Il s'agit de la proximité qu'entretient l'entreprise porteuse du projet avec la population locale. Comme l'explique Bertaud du Chazaud et al.⁷⁷, un projet CSC a en effet beaucoup plus de chances d'être accepté et d'aboutir si l'opérateur qui le conduit est implanté historiquement auprès des populations locales. De par son intégration territoriale, l'industriel est connu des locaux et leur est lié économiquement, ce qui facilite les discussions et diminue les protestations. Ainsi, sur trois projets de CSC en Allemagne, seul le projet de Ketzin a pu voir le jour. Il s'agit d'un projet qui s'est étalé entre 2008 et 2013. 67 kilotonnes de CO₂ ont été stockées dans du grès. Il n'a conduit à aucune contestation, le territoire étant habitué aux activités de stockage de l'opérateur, une entreprise locale. Les deux autres projets, Altmark et Jänschwalde, ont été abandonnés à la suite d'oppositions se focalisant sur les risques de fuites et sur les historiques de pollution des opérateurs en question⁷⁸. À Chapelle-de-Rousse, dans le bassin de Lacq, TotalÉnergies n'avait pas envisagé de contestation en raison de la fréquence des projets d'extraction en sous-sol dans la région et surtout en raison de son implantation historique auprès des populations locales. Son image d'entreprise très fortement implantée localement lui a permis une communication et une négociation facilitées auprès des élus ce qui a ouvert la voie à l'atténuation de l'opposition⁷⁹. Il apparaît donc que pour qu'un projet de CSC soit faisable et acceptable, son insertion dans une dynamique de développement local est primordiale.

Vers la nécessité de changer d'arène

Le débat sur le CSC est souvent confiné autour d'enjeux localisés et extrêmement spécifiques. Il se limite fréquemment à des aspects techniques de terrain et s'exporte mal dans les autres arènes. Comme l'expliquent les sociologues Rebeca Neri O'Neill et Alain Nadaï⁸⁰, l'arène de débat se situe majoritairement entre les scientifiques, les industriels et les locaux. La conférence GHGT (Greenhouse Gas Control Technologies) tenue en Octobre 2022 est un exemple des débats publics ouverts sur le CSC. Mais, le collège intervenant est principalement constitué d'acteurs scientifiques et industriels.

⁷⁶ Brunsting, S., J. Desbarats, M. de Best-Waldhober, E. Duetschke, C. Oltra, P. Upham, H. Riesch. (2011) «*The public and CCS: the importance of communication and participation in the context of local realities.*» Energy Procedia, Volume 4, pages 6241-6247. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.637.

⁷⁷ Bertaud du Chazaud, S. (2018, 30 Août) «*L'acceptabilité des projets d'ingénierie du sous-sol: questionnement et mise en perspective autour de cas concrets*» APESA, Centre technologique au service des transitions. Disponible sur: <https://www.apesa.fr/acceptabilite-sociale-des-projets-dingenierie-sous-sol/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁷⁸ Kühn, M., M. Tesmer, P. Pilz (2012, Septembre) «*CLEAN: project overview on CO₂ large-scale enhanced gas recovery in the Altmark natural gas field (Germany).*» Environmental Earth Sciences, Volume 67, pages 311-321. Doi: 10.1007/s12665-012-1714-z

⁷⁹ Ha-Duong, M., M. Gaultier, and B. deGuillebon (2011) «*Social aspects of Total's Lacq CO₂ capture, transport and storage pilot project.*» Energy Procedia, Volume 4, pages 6263-6272. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.640.

⁸⁰ Neri O'Neill, R. et A. Nadaï. (2012, 19 Juin) «*Risque et démonstration, la politique de capture et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) dans l'Union européenne*». Vertigo. Doi: 10.4000/vertigo.12172

Le sujet du CSC est également peu développé dans les médias actuellement, mis à part dans la presse spécialisée. Ce résultat a été obtenu par les politistes et géographes Sébastien Chailleux et Xavier Arnauld de Sartre⁸¹ qui ont réalisé une analyse de presse entre 1997 et 2020 afin de déterminer si le CSC était un sujet développé ou non, et à quelle échelle. Une autre analyse de presse de 2016⁸² portant sur un projet particulier, le projet CSC à Lacq exploité par Total entre 2009 et 2013, en est venu aux mêmes conclusions. Plusieurs journaux nationaux furent effectivement consultés et analysés (Le Monde, Libération, Le Figaro, ainsi que La Tribune et Les Echos) pour évaluer l'impact social du projet de CSC au-delà de l'axe Lacq – Jurançon. Il fut observé que le projet de Lacq n'était mentionné que sporadiquement, toujours dans le contexte de la question plus générale du CSC. Les acteurs de l'analyse ont dès lors conclu que ce projet local n'est jamais devenu un objet de débat au niveau national. Une analyse plus locale réalisée avec le journal Sud Ouest a montré qu'un débat public avait bien eu lieu avant et après la période de consultation publique et que le projet existait dans la presse régionale en tant que sujet d'actualité entre 2007 et 2011. Néanmoins, le débat sur les conséquences locales du projet CSC fut mis de côté en 2012.

Le rôle vulgarisateur de la presse généraliste pose donc question. Cependant, comme l'évoque Sébastien Chailleux lors de notre entretien :

« En réalité ce n'est pas forcément uniquement le problème des journalistes. C'est aussi en lien avec l'argument du portage politique »⁸³

Il y a une corrélation entre l'état du débat politique et les médias : ces derniers ne se saisissent pas du CSC car les politiques eux-mêmes n'en parlent pas. Les porteurs politiques pourraient donner davantage de visibilité au CSC et permettre à la controverse de changer d'arène. Ce manque de portage peut s'expliquer par un problème de soutenabilité du CSC, déjà évoqué précédemment. Comment défendre le CSC quand cela reviendrait à subventionner les compagnies pétrolières responsables en partie du changement climatique ? Pour Sébastien Chailleux :

« Il n'y a pas eu de grand débat médiatique mais il n'y a pas eu de grand débat politique non plus »⁸⁴

Ainsi, les débats publics ayant actuellement lieu sur le CSC sont uniquement locaux et portent sur un projet particulier dans un endroit circonscrit. Pourtant, les arguments soulevés lors des manifestations ponctuelles ne se restreignent pas à la dimension régionale et sont ancrés dans une critique globale du système économique et du manque de planification découlant de la prise de conscience de l'urgence climatique et du besoin de décarbonation. Les opérateurs, tout comme les locaux s'opposant au CSC, souhaiteraient donc que des débats se tiennent dans une arène plus large afin de parvenir à une décision globale permettant l'acceptation locale ou non et la résolution de la controverse à leur niveau. L'ensemble des acteurs que nous avons interviewés pour cette analyse confirme unanimement l'absence d'un débat national en France. Un enseignant chercheur de l'IFPEN pense par exemple que :

« La politique fait défaut parce qu'elle ne porte pas le débat à un niveau national. Elle le traite en donnant des outils pour faire des procédures locales »⁸⁵

⁸¹ Chailleux, S. et X. Arnauld de Sartre (2021). « L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé. » Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

⁸² Ha-Duong, M., M. Gaultier, B. de Guillebon, G. Mardon (2015) « Carbon capture and storage - The Lacq pilot. Project and injection period 2006-2013 », Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI), pages 216-241. Disponible sur : <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/194253/carbon-capture-storage-lacq-pilot.pdf>. [Consulté le 07/01/2023]

⁸³ Entretien réalisé avec Sébastien Chailleux le 02/11/2022

⁸⁴ ibid

⁸⁵ Entretien réalisé avec un enseignant-chercheur de l'IFPEN le 25/10/2022

Pour revenir enfin sur la mobilisation médiatique en tant que telle, celle-ci est également sujette à controverse. Les opposants à la technologie invoquent notamment l'exemple de la couverture médiatique japonaise⁸⁶ du CSC en critiquant un discours minimisant les risques et sur-estimant les quantités possiblement stockables, ou encore l'exemple de la couverture allemande⁸⁷ dont la méthodologie peinerait à mettre en valeur les enjeux climatiques globaux en se cantonnant à une balance risques/potentiel.

Dans le cadre de notre rapport, nous avons réalisé une analyse quantitative portant sur le nombre d'articles concernant le CSC parus dans la presse généraliste française (voir figure 3) et dans la presse scientifique (voir figure 4 et 5) publiés depuis 2001 (voir figure 4 et 5). Concernant le nombre d'articles scientifiques mondiaux, on observe une augmentation à partir de 2008 puis une stabilisation à partir de 2017 autour de 3000 articles par an. Cela montre que le débat se situe bien autour de l'arène scientifique depuis quelques années. En ce qui concerne le nombre d'articles parus dans la presse généraliste, notre analyse confirme celle réalisée par Sébastien Chailleux et Xavier Arnauld de Sartre⁸⁸ de 1997 à 2020. On distingue deux pics : le premier, de 2007 à 2015, s'explique par l'actualité nationale (avec le projet du Lacq) et mondiale (avec par exemple la réunion des membres de l'OPEC à Bali ; le second pic s'explique un début de priorisation du sujet écologique. Cependant, on observe dans notre analyse une augmentation significative du nombre d'articles portant sur le CSC pour les années 2021 et 2022. La couverture médiatique serait-elle en train de changer ?

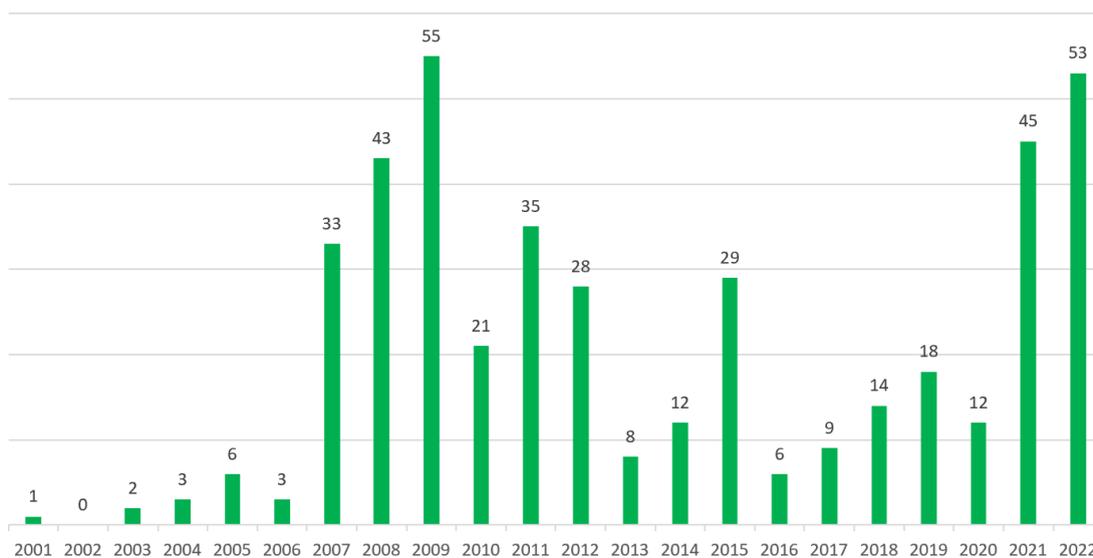


Figure 3 : Nombre d'articles de la presse généraliste française portant sur le CSC par année

⁸⁶ Asayama, S., et A. Ishii (2017, Septembre) « *Selling Stories of Techno-Optimism? The Role of Narratives on Discursive Construction of Carbon Capture and Storage in the Japanese Media* ». *Energy Research & Social Science*, Volume 31, Pages 50-59. Doi: 10.1016/j.erss.2017.06.010.

⁸⁷ Otto, D., M. Pfeiffer, M. Madruga de Brito, et M. Gross (2022, 15 Juin) « *Fixed Amidst Change: 20 Years of Media Coverage on Carbon Capture and Storage in Germany* ». *Sustainability* Volume 14. Doi: doi.org/10.3390/su14127342

⁸⁸ Chailleux, S. et X. Arnauld de Sartre (2021). « *L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO₂ : retour sur un débat non émergé.* » *Natures Sciences Sociétés*, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043

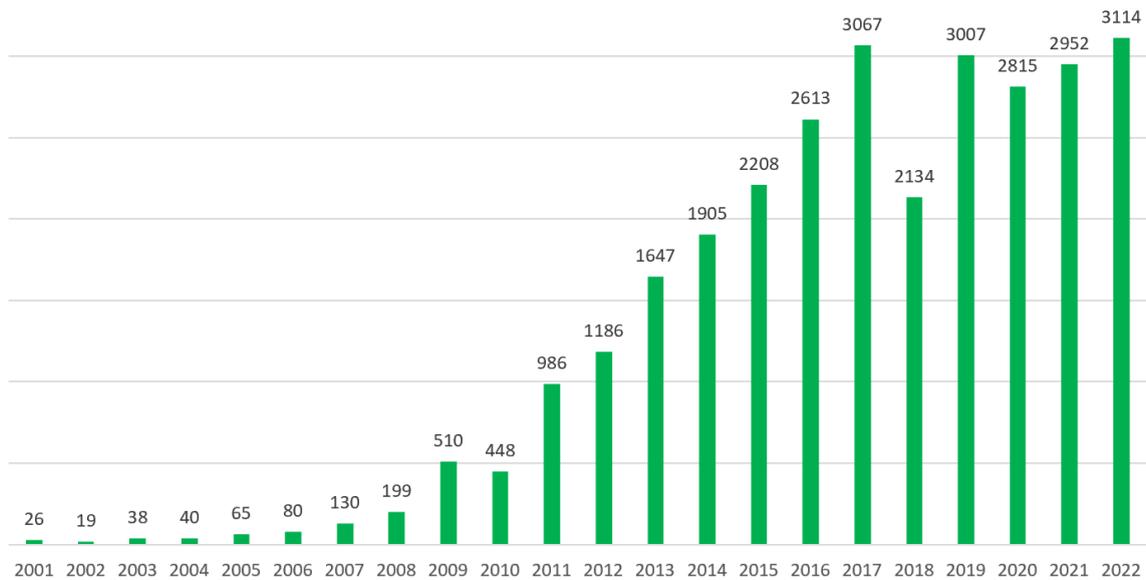


Figure 4 : Nombre d'articles de la presse scientifique mondiale portant sur le CSC par année

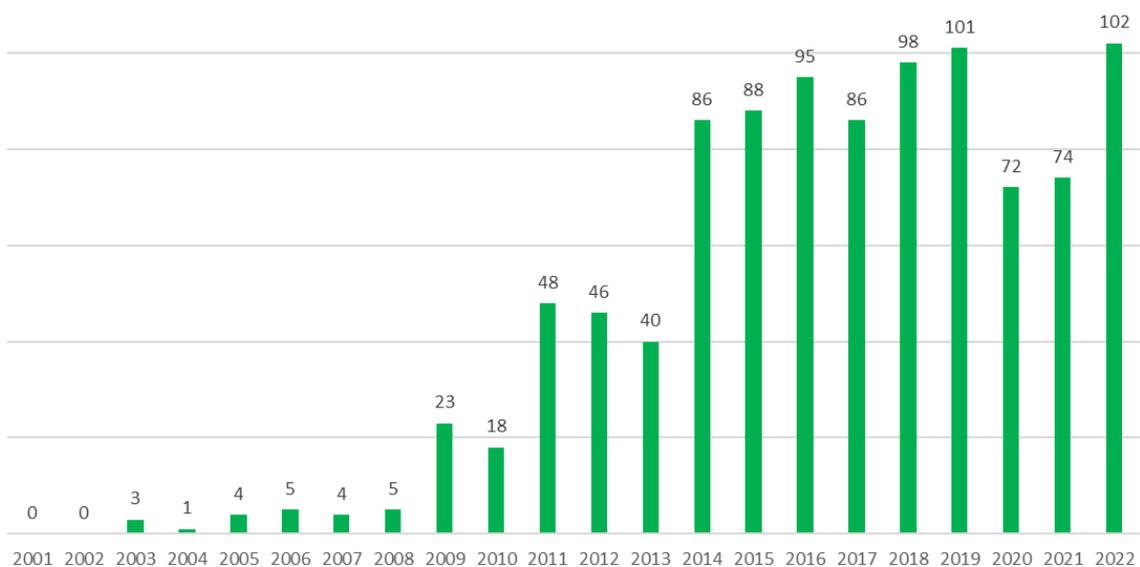


Figure 5 : Nombre d'articles de la presse scientifique française portant sur le CSC par année

Conclusion de la Partie

Ainsi, la technologie de CSC implique des risques divers, notamment liés à de potentielles fuites de CO₂ et donc des dangers d'asphyxie, de sismicité, et de retour du CO₂ stocké dans l'atmosphère, annulant ainsi les effets du stockage. Dès lors, les contestations locales émergent spontanément lorsque des projets s'implantent. La résolution de ces conflits est parfois rendue difficile par le décalage relatif au niveau de connaissances des opérateurs et des riverains qui s'y opposent.

D'une façon générale, le sujet du CSC n'a pas réussi à s'imposer dans le débat médiatique, et ne fait pas l'objet d'un débat dans la sphère publique à l'échelle nationale et européenne. Cette

absence de débat médiatique est directement liée à l'absence de débat politique sur ce sujet. Cependant, une nette augmentation du nombre d'articles concernant le CSC dans la presse a pu être observée au cours des dernières années.

Ainsi, l'acceptabilité sociale constitue un des premiers freins au développement du secteur. Elle a été la cause de plusieurs échecs de projets. Cependant, un autre facteur est à l'origine de multiples échecs. Il s'agit du coût et du manque de rentabilité de cette technologie. En effet, par nature, le stockage d'un déchet comme le CO₂ ne présente pas de rentabilité intrinsèque et ne génère pas de revenus sans financements extérieurs. C'est pourquoi, historiquement, un autre enjeu majeur du développement du CSC est la question de son financement.

Comment financer le développement du CSC?

Le CSC soulève de profonds débats en matière de choix technologiques, de souhaitabilité et d'acceptabilité sociale. Si le recours à cette technologie semble nécessaire dans le cadre de la trajectoire 1,5°C (GIEC), la question de son financement est également sujette à controverses. Dans cette dernière partie, et dans l'hypothèse d'une reconnaissance du CSC comme outil de décarbonation, nous tenterons d'interroger le rôle des États, des entreprises et d'autres acteurs dans le financement de son développement.

Nous noterons dans cette partie que le fort coût de la technologie suscite des interrogations chez les industriels quant à sa viabilité. Ensuite, nous questionnerons le rôle des organismes intergouvernementaux dans le financement du développement du CSC. Enfin, nous tenterons de comprendre pourquoi les sphères politiques nationales ne financent que très peu cette technologie en France.

Capter le carbone, oui, mais à quel prix ?

Le constat selon lequel le CSC est encore une technologie coûteuse et non mature du point de vue économique est globalement partagé. Chacun des entretiens que nous avons menés avec des personnes travaillant dans des domaines variés, de l'industrie pétrolière à l'administration française en passant par la recherche, a confirmé cet état de fait. Ainsi, l'enseignant chercheur à l'IFPEN que nous avons interviewé déclarait :

« La technologie [sur le plan scientifique] est relativement mature, mais elle est encore coûteuse. Donc elle n'est pas mature en ce sens. »⁸⁹

Pour des données plus chiffrées, l'IEA a réalisé en 2019 une étude du coût associé au captage de CO₂ qui montre le coût moyen (en dollars américains) par secteur et par tonne captée [Figure 6].

⁸⁹ Entretien réalisé avec un enseignant-chercheur de l'IFPEN le 25/10/2022

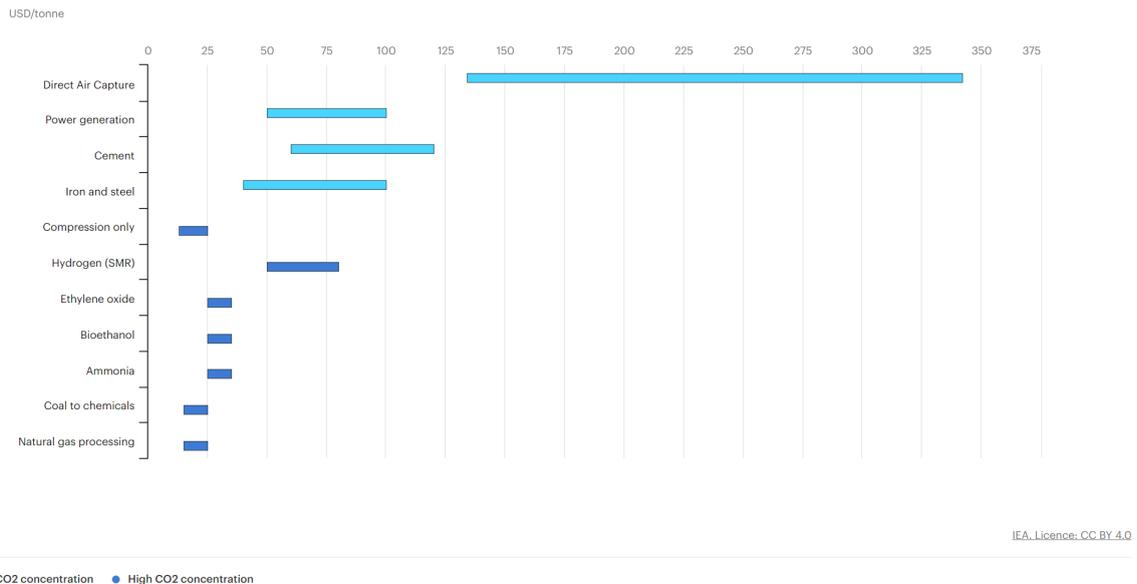


Figure 6 : Coût nivelé de la capture du CO₂ par secteur et concentration initiale de CO₂

Source : Baylin-Stern, A. et N. Berghout (2021, 17 Février), « Levelised cost of CO₂ capture by sector and initial CO₂ concentration, 2019 », AIE, Disponible sur <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>. [Consulté le 07/01/2023]

Ce graphique illustre également la forte variabilité du coût en fonction de la technologie utilisée, et que le journaliste Roman Epitropakis explique ainsi dans son article publié le 5 septembre 2022 dans Les Echos Planète:

« Cette variabilité du prix reflète de grandes disparités entre les industries pour qui il est plus ou moins facile de capter le gaz rejeté. Car plus les rejets industriels concentrent une forte part de CO₂, plus il sera facile d'un point de vue énergétique de le récupérer. »⁹⁰

Or, comme évoqué par l'enseignant chercheur à l'IFPEN lors de son entretien en Octobre 2022, pour que le CSC devienne viable, c'est un secteur global qu'il faudra créer. Au vu de ces variations de prix, on comprend mieux pourquoi il avait émis des réserves quant à la création effective de ce secteur.

De plus, l'Energy Transitions Commission -un groupe de réflexion international axé sur la croissance économique et l'atténuation du changement climatique réunissant de grands pétroliers, des acteurs des industries lourdes, des chercheurs et des lobbies- considère que cette tendance des coûts élevés ne va pas se renverser en moins de 10 ans. En effet, dans son rapport publié en 2018⁹¹ - soit la même année que le rapport du GIEC- les auteurs estiment que le CSC pourrait devenir plus rentable dans les années 2030-2040 qu'il ne l'est aujourd'hui. Cette vision se veut optimiste, mais elle n'est pas partagée par tous. En effet, l'ONU considérait déjà en 2008 que le CSC ne pourrait être implémenté à grande échelle à temps pour lutter efficacement contre le changement climatique en affirmant :

⁹⁰ Epitropakis, R. (2022, 09 Septembre) « La captation du carbone: vraie solution ou faux espoir ? » Les Echos Planète. Disponible sur: <https://planete.lesechos.fr/enquetes/la-captation-du-carbone-vraie-solution-ou-faux-espoir-14795/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹¹ Energy Transitions Commission. (2018, Novembre) « Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century ». Energy Transitions Commission. Disponible sur: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible>. [Consulté le 07/01/2023]

« Le CSC arrivera sur le champ de bataille bien trop tard pour aider le monde à éviter un dangereux changement climatique. »⁹²

Ce propos est rejoint par celui de Greenpeace, une ONG internationale de protection de l'environnement, qui reprend cette citation dans son rapport de la même année, et ajoute même la remarque suivante :

« Si le CSC est un jour en mesure de produire des résultats, ce sera trop peu, et trop tard. »⁹³

Cette non-viabilité financière a été source, d'après Greenpeace, d'un greenwashing délétère lié à cette technologie encore non implémentée à grande échelle. L'ONG donne ainsi l'exemple dans ce même rapport d'une centrale électrique à charbon dans le Kent, qui avait obtenu la mention officielle britannique de "carbone capture ready" (*trad : prêt à la capture du carbone*). Greenpeace n'était pas le seul acteur à avoir cette position. Par exemple, les chercheurs britanniques Nils Markusson et Stuart Haszeldine affirmaient dans leur papier de novembre 2010 :

« La notion de "prêt à la capture" s'accompagne de sérieuses incertitudes et ne garantit pas que les nouvelles centrales fossiles construites seront aptes à la capture ou à la réduction à l'avenir. En tant que stratégie réglementaire, elle a été sur-promise au Royaume-Uni. »⁹⁴

Le débat autour de cette mention britannique semble s'être éteint de lui-même. Cependant, les accusations de greenwashing pour des activités de CCS en général sont nombreuses, et des exemples récents, tels que celui de Shell⁹⁵, en attestent.

Pour l'instant, la seule technologie de CSC rentable est l'EOR. Mais, comme le rappelle le directeur CSC chez TotalÉnergies dans l'entretien qu'il nous a accordé en novembre 2022, les entreprises pétrolières américaines récupéraient du CO₂ pour augmenter leur production de pétrole. Deux journalistes indépendantes allemandes soulignaient ainsi l'ironie de l'EOR dans un article publié en avril 2021⁹⁶, même si le professeur de l'IFPEN que nous avons interviewé portait un autre regard sur la question :

« Alors on voit [l'EOR] comme une bouteille vide ou une bouteille pleine. Si vous le voyez comme une bouteille vide, vous dites, ce n'est pas très sympa, parce qu'on utilise le CO₂ pour produire plus d'hydrocarbures fossiles, et donc on va rajouter du carbone d'origine fossile dans l'atmosphère, ce n'est pas bien du tout. De l'autre, vous pouvez dire, dans la transition énergétique, on a besoin d'énergie en grande quantité. On n'est pas à même de développer les renouvelables au rythme où l'on devrait les développer. Donc il va nous falloir encore et toujours du pétrole dans cette transition. Et il

⁹² UNDP (2008, 01 Janvier) « *Human Development Report: Fighting climate change: Human solidarity in a divided world* ». UNDP. Disponible sur: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-20078>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹³ Rochon, E. (2008, Mai) « *Faux espoir* ». Greenpeace International. Disponible sur <https://cdn.greenpeace.fr/site/uploads/2017/02/faux-espoir.pdf>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹⁴ Markusson, N. et H. Stuart (2010, Novembre) « *Capture ready regulation of fossil fuel power plants - Betting the UK's carbon emissions on promises of future technology* ». Energy Policy, Volume 38, pages 6695-6702. Doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.039

⁹⁵ Gilslam, S. (2022, 31 Janvier) « *Shell accused of greenwashing emissions from carbon capture tech* ». Industry Europe. Disponible sur:

<https://industryeurope.com/sectors/energy-utilities/shell-accused-of-greenwashing-emissions-from-carbon-capture-/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹⁶ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « *Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂* ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausses-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

est plus subtil d'en produire plus là on a déjà mis en place des infrastructures que d'aller chercher des infrastructures ailleurs. Et quand je dis ailleurs, il y a l'Arctique qui pourrait être une cible... »⁹⁷

Malgré ces difficultés, certes nuancées, les financements étatiques continuent de jouer une place centrale. Par exemple, le projet Northern Lights⁹⁸, qui vise à offrir à l'industrie européenne la possibilité de séquestrer de manière sûre et permanente ses émissions de CO₂, est approuvé par le Ministère Norvégien du Pétrole et de l'Énergie. Il fait partie du projet de CSC à grande échelle appelé Langskip dont investissements et ses coûts d'exploitation sont estimés à 25,1 milliards NOK dont environ 16,8 milliards NOK (soit l'équivalent de 1,57 milliards d'euros) sont financés par l'aide de l'Etat norvégien. Ainsi, les organismes nationaux et intergouvernementaux ont un nouveau rôle à jouer sur le financement de cette technologie notamment depuis le développement du marché carbone européen.

Rôle des organismes intergouvernementaux

La France se situe dans un ensemble politique plus vaste qu'il est essentiel de prendre en compte, car celui-ci joue un rôle majeur dans la définition des politiques climatiques : l'Union Européenne (UE). Or, l'UE vise la neutralité carbone d'ici 2050, et l'un de ses piliers pour atteindre cet objectif est le CSC. Le soutien de l'UE pour le CSC n'est pas récent : dès 2003, l'UE cite cette technologie dans la première directive du marché du carbone, et en 2009, l'UE produit une directive exclusivement au sujet du CSC⁹⁹.

Ce soutien se matérialise à travers les financements importants de cette technologie qu'offre l'UE. De 2009 à 2021, l'UE a investi près d'1 milliard d'euros sur les projets de CSC, et ce soutien financier continue aujourd'hui. Cependant, l'utilité de ces investissements ne fait pas l'unanimité. Par exemple, ils ont été remis en question par Annika Joeres et Suzanne Götze, deux journalistes allemandes indépendantes dont un article a été traduit puis publié dans Le Monde. En effet, dans un article publié le 10 avril 2021 (année où le CSC revenait sur le devant de la scène), les deux journalistes qualifiaient d'«échec» les premiers projets européens de CSC:

«Toutes les tentatives pour séparer et séquestrer le gaz indésirable ont jusqu'ici échoué [...] en raison du coût des projets ou d'oppositions locales».¹⁰⁰

Plus précisément, pour les projets ne causant a priori pas de problème d'acceptabilité sociale, la question des coûts est essentielle, et les financements européens trop faibles, comme nous l'a expliqué un enseignant chercheur de l'IFPEN dans l'interview qu'il nous a donnée le 25 octobre 2022 :

« Pour tous les projets de stockage qui ont été proposés à terre en Europe, les populations s'y sont opposées. Les seuls projets qui existent sont des projets qui vont stocker le CO₂ au large de la Norvège, pour le moment. [...] Le projet ROAD associé à une centrale à charbon au Pays Bas n'a eu lieu alors qu'il était offshore parce qu'on n'a pas trouvé 450 millions d'euros pour le faire. Il n'y a pas de business model. L'Europe a dit, je mets 300 millions d'euros (projet ENR dans années 2015-20, par là), mais il manquait 150 millions d'euros au minimum pour le faire. Et là on ne trouve pas un Bill

⁹⁷ Entretien réalisé avec un enseignant-chercheur de l'IFPEN le 25/10/2022

⁹⁸ Lepic, B. (2021, 09 Mars) « Norway approves plan for Northern Lights project ». Offshore Energy. Disponible sur: <https://www.offshore-energy.biz/norway-approves-plan-for-northern-lights-project/>. [Consulté le 07/01/2023]

⁹⁹ European Commission. (s.d.) « Carbon capture, storage and utilisation ». European Commission. Disponible sur: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/carbon-capture-storage-and-utilisation_en. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰⁰ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂ ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausses-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

Gates ou quelqu'un comme ça qui sort des millions pour les mettre sur le sujet. Donc il a été abandonné. »¹⁰¹

Les deux journalistes allemandes ont aussi interrogé Artur Runge-Metzger, de la direction générale de l'action pour le climat à la Commission de Bruxelles, sur les types de projets de CSC qu'il était pertinent de financer. La réponse de l'intéressé est la suivante :

« Nous ne soutiendrons plus financièrement le CCS pour les centrales à charbon. [...] Pour [les industries de ciment et d'acier], le captage et stockage du CO₂ est l'ultime espoir d'atteindre la neutralité carbone en 2050, comme le préconise l'accord de Paris sur le climat. »¹⁰²

Malgré ces réserves, l'UE continue d'investir dans le CSC. En effet, en 2022, la Commission Européenne a annoncé investir à travers le Fonds d'Innovation (un programme de financement européen de technologies bas-carbones cherchant notamment à développer les processus de captation, de stockage et d'utilisation du CO) 1,8 milliards d'euros dans 17 projets à grandes échelles de technologies bas-carbones, dont 7 projets de CSUC¹⁰³.

L'UE soutient aussi le CSC à travers son marché du carbone. Le CSC est explicitement inclus dans le marché du carbone européen depuis 2015 (une tonne de CO₂ captée et stockée est considérée comme non émise), et cela est qualifié comme une incitation « forte » par la Commission Européenne, même si le prix du carbone a souvent été trop bas pour déclencher un réel engouement, comme l'explique Vincent Collen dans un article des Echos¹⁰⁴. Car, comme le rappellent les deux journalistes allemandes Annika Joeres et Suzanne Götze :

« La rentabilité du stockage du CO₂ dépend en partie du dispositif européen d'échange de quotas d'émissions »¹⁰⁵.

Cette dépendance permet d'expliquer pourquoi de nombreux lobbies se sont positionnés à Bruxelles sur le sujet, même si, comme nous a dit l'Adjoint au directeur au marchés carbonés du ministère de la Transition Énergétique et Écologique dans l'entretien qu'il nous a donné le 4 Novembre 2022, « Bruxelles, c'est le paradis du lobby ! Mais c'est comme ça que ça fonctionne... ». Toujours lors de l'entretien, il a différencié deux grands types de lobbies. D'une part, les ONG environnementales :

« Au niveau européen, je crois qu'en termes d'ONG, c'est Bellona qui est basée en Norvège justement. C'est la position intermédiaire, parce que c'est une ONG environnementale quelque part, mais très [CSC]. Alors que des ONG type WWF, Greenpeace, ce n'est pas trop leur truc. Enfin, je ne connais pas toutes leurs positions, mais, je serais surpris qu'il soit à fond là-dedans. Voilà, il y a différents acteurs mais je pense que c'est Bellona le champion du CCS sur les ONG. »¹⁰⁶

¹⁰¹ Entretien réalisé avec un enseignant-chercheur de l'IFPEN le 25/10/2022

¹⁰² ibid

¹⁰³ Global CCS Institute. (2022, 18 Juillet) « *EU Innovation Fund to Invest in Seven CCS and CCU Projects* ». Global CCS Institute. Disponible sur: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/eu-innovation-fund-to-invest-in-seven-ccs-and-ccu-projects/>. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰⁴ Collen, V. (2020, 15 Décembre). « *Une technologie coûteuse et controversée* ». Les Echos. Disponible sur: <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/la-capture-du-co2-une-technologie-couteuse-et-controversee-1274273>. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰⁵ Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « *Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂* ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausse-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰⁶ Entretien réalisé avec l'Adjoint au directeur au marchés carbonés du ministère de la Transition Énergétique et Écologique le 04/11/2022

D'autre part, les lobbys industriels :

« Ils ne sont pas focalisés sur le social. Ils veulent que le CCS fasse partie des options, qu'il soit possible pour maximiser leur portfolio de solutions de décarbonation mais eux leur souci premier c'est payer moins de taxes environnementales et recevoir plus d'argent public, pour décarboner. »¹⁰⁷

Justement, Bellona et plusieurs groupes pétroliers dont TotalÉnergies ont la même position en faveur des carbon removal certificates (CDR), ou « certificats d'élimination du CO₂ ». Dans un article du 6 mai 2021 pour Reporterre¹⁰⁸, Aline Robert et Alexandre-Reza Kokabi critiquaient le lobbyisme de TotalÉnergies pour réformer le marché du carbone et permettre la revente sur ce marché des CDR, puisqu'ils considèrent notamment qu'il y a un « risque de double comptage des tonnes effectivement enfouies » (à la fois au niveau du site d'émission-captage, et du site de stockage). Ce lobbyisme semble avoir fonctionné, comme en témoignent la Communication de l'UE du 15 Décembre 2021 et les critiques qui ont suivi de la part de l'association Carbon Market Watch dans son article du 10 janvier 2022¹⁰⁹. Plusieurs points noirs sont mis en avant dans l'article : la difficulté à calculer si un processus est à émissions négatives ou positives, la porosité entre CSC et CUC qu'il faudrait selon eux clarifier -car des stockages temporaires (plastiques, bois) sont qualifiés comme permanents dans la communication- et la position sur les CDR ambiguë qui laisse entendre un changement de réglementation du marché du carbone, qui, selon l'article, fragiliserait celui-ci. Malgré ces critiques, ou justement à cause d'elle, le lobbyisme a continué, comme le montre la note de 2022 de Bellona dans laquelle il est écrit que :

« Un cadre de certification efficace peut garantir que seuls les CDR de haute qualité et fiables sont crédités »¹¹⁰.

Une fois encore, ce lobbyisme semble se traduire dans les actions de l'UE, puisque une initiative sur ce sujet est en passe d'être adoptée.¹¹¹

Un cran au-dessus, l'idée d'une réglementation mondiale d'allocation des droits d'émissions liée au CSC inquiète certains, comme Christina Voigt, professeure de droit de l'université d'Oslo, qui s'interroge sur la question de responsabilité et affirme en 2021 :

« Un quota d'une tonne de CO₂ capturée se vendra facilement en Bourse, mais personne ne peut garantir que ce dioxyde de carbone restera vraiment dans le sol »¹¹².

¹⁰⁷ Entretien réalisé avec l'Adjoint au directeur au marchés carbonés du ministère de la Transition Énergétique et Écologique le 04/11/2022

¹⁰⁸ Robert, A. et A.-R. Kokabi (2021, 06 Mai) « Stockage de CO₂: les manœuvres de Total ». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/Stockage-de-CO2-les-manoeuvres-de-Total>. [Consulté le 07/01/2023]

¹⁰⁹ Stoefs, W. (2022, 10 Janvier) « A sustainable carbon cycle or a vicious emissions cycle? » Carbon Market Watch. Disponible sur <https://carbonmarketwatch.org/2022/01/10/a-sustainable-carbons-cycle-or-a-vicious-emissions-cycle/>. [Consulté le 07/01/2023]

¹¹⁰ Clean Air Taskforce (2022, 21 Décembre) « Carbon Dioxide Removal and Certification - What is it and why is it needed ? ». Site de la CATF. Disponible sur <https://www.catf.us/resource/carbon-dioxide-removal-certification-what-is-it-and-why-is-it-needed/>. [Consulté le 07/01/2023]

¹¹¹ European Commission (s.d.) « Certification of carbon removals – EU rules ». Site de la Commission Européenne. Disponible sur :

https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en [Consulté le 07/01/2023]

¹¹² Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO₂ ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausse-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]

Autre point important à évoquer au niveau mondial, les COP - qui sont des lieux où différents acteurs de la lutte contre le changement climatique se rencontrent. Lors de la COP27, Global CCS Institute a organisé une conférence pour discuter de son rapport sur le CSC¹¹³, qui met en exergue l'importance d'un cadre réglementaire favorable pour les financements privés de CSC. Le Global CCS Institute est considéré comme un lobby important par l'adjoint au directeur marchés carbone du ministère de la Transition Énergétique et Écologique, qui nous a confié lors de son entretien :

« Ça m'a l'air d'un point de vue extérieur d'être un très gros lobby. Enfin, ils ont l'air d'avoir pas mal de moyens et d'être influents, parce qu'à chaque fois, c'est leur chiffre qu'on voit sur les [CSC]. »¹¹⁴

Malgré cette influence, cette COP ne s'est pas conclue sur des engagements forts, montrant par là la difficulté pour aboutir à une coopération internationale : « Nous devons drastiquement réduire les émissions maintenant, et c'est une question à laquelle cette COP n'a pas répondu », a regretté le secrétaire général de l'ONU Antonio Guterres¹¹⁵ à l'issue de la conférence climatique.

Pourquoi la France ne finance pas spécifiquement ce secteur ?

Comme nous venons de le voir, de nombreux types de financements publics sont définis à l'international. Néanmoins, pour qu'une technologie se développe, il faut également des soutiens nationaux qu'ils soient financiers ou politiques. L'ensemble des acteurs que nous avons interviewé pour cette analyse confirme unanimement le manque d'un débat national en France et de soutien politique à la technologie. Comme nous l'expliquions dans la deuxième partie, le débat est surtout situé au niveau de l'arène scientifico-industrielle.

En effet, lors de la conférence GHGT 16 et au cours l'entretien qu'il nous a donné le 25 Octobre 2022, un enseignant chercheur de l'IFPEN a mis en avant l'importance du rôle de la politique nationale dans le déploiement du CSC : il rappelle que c'est parce que la Norvège a mis en place une taxe carbone en 1990 que cette technologie s'est développée en mer dès 1994. Il semble donc nécessaire pour lui que le débat se « politise » et devienne un débat national « pour ou contre le CSC » afin que des financements spécifiques au CSC se développent. Mais aujourd'hui, le débat ne s'est pas encore politisé au niveau français qui est la cause du faible financement associé au CSC.

Les raisons de cette forme d'absence de politisation du débat sont multiples. Nous avons échangé avec un membre du département marchés carbone du ministère de la Transition Écologique et Solidaire sur ce sujet. La première raison qu'il avance est un manque de portage politique du sujet comme nous l'expliquions précédemment. En effet, pour l'heure, aucun ministre, député ou sénateur ne s'est « approprié » le sujet, limitant grandement les débats parlementaires sur le CSC. D'après lui, il n'y a pour le moment pas d'intérêt politique à soutenir le CSC car « ce n'est clairement pas porteur », un argument confirmé par S.Chailleux lors de notre entretien avec lui. Le second point évoqué par ce membre du ministère est bien entendu la présence d'autres alternatives. Le ministère de la transition écologique a réalisé de nombreuses consultations publiques à la suite de la première

¹¹³ Rassool, D. (2022) « *Unlocking Private Finance to Support CCS Investments* ». Global CCS Institute. Disponible sur : <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/06/Unlocking-Private-Finance-for-CCS-Thought-Leadership-Report-1.pdf>. [Consulté le 07/01/2023]

¹¹⁴ Entretien réalisé avec l'Adjoint au directeur au marchés carbonés du ministère de la Transition Énergétique et Écologique le 04/11/2022

¹¹⁵ France 24 (2022, 20 Novembre) « *La COP27 se termine sur un bilan contrasté* ». Site de France 24. Disponible sur : <https://www.france24.com/fr/plan%C3%A8te/20221120-la-cop27-se-terme-sur-un-bilan-contrast%C3%A9-l-ue-d%C3%A9-c3%A7ue>. [Consulté le 07/01/2023]

stratégie nationale bas carbone¹¹⁶ et il en ressortait qu' « Il y avait quand même globalement une idée que les gens préféreraient des solutions basées sur les comportements, sur la sobriété, sur des moyens low tech. Les paris technologiques étaient assez mal vu du point de vue société civile ». Il est nécessaire de préciser que nous n'avons pas d'informations concernant la représentativité des votants pour cette consultation publique. Mais cela contraste avec des volontés philanthropiques comme celles d'Elon Musk ou de Bill Gates qui investissent aujourd'hui de grandes sommes sur les ruptures technologiques¹¹⁷. Finalement, en évoquant la stratégie nationale bas carbone¹¹⁸, le membre du ministère de la transition écologique et solidaire explique que la France mise et investit davantage sur la réduction d'émissions que sur l'absorption de CO₂. Il explique que le mix énergétique français permet de faire ce choix et que d'après lui, le CSC n'est pas nécessaire à court terme et ne le sera peut être jamais pour la France. En conséquence, dans la SNBC, comme le dit le membre du ministère :

« Il y a du CSC mais vraiment à petite dose ». ¹¹⁹

On lit dans la SNBC un objectif de 15 Mt CO₂eq capté d'ici 2050. Cela contraste la place prépondérante qu'occupent dans la stratégie d'autres technologies comme l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables . En résulte pour ces dernières un accompagnement fort et ciblé de la part du gouvernement pour développer précisément ces technologies. Ce n'est pas le cas pour le CSC qui ne bénéficie pas de financements spécifiques à l'échelle nationale. On constate donc très clairement que le manque de débat national autour du sujet entraîne un manque d'objectifs nationaux et un manque de financement. Il est important de nuancer ce propos puisqu'il existe des projets CSC financés par des fonds de l'État. Avec des plans de financement comme France Relance ou France 2030 ce sont des milliards d'euros de financements pour la décarbonation de l'industrie dont font parfois partie les projets de CSC.

On peut néanmoins conclure qu'au niveau national, la France n'a pas priorisé le développement de cette technologie par rapport à d'autres. Cela contraste avec d'autres pays européens comme le Royaume Uni où l'on peut lire dans le business model du gouvernement pour cette technologie que :

« L'ambition du Royaume-Uni est de capter et de stocker 20 à 30 millions de tonnes d'émissions de carbone par an d'ici 2030 » ¹²⁰

C'est considérablement plus que la France. D'autres pays comme l'Allemagne ou les Pays Bas tablent également sur ce secteur comme l'illustre sur son site le Global CCS Institute où l'on peut voir l'ensemble des projets CCS en cours de développement (voir figure 7).

¹¹⁶ Stratégie Nationale Bas Carbone (2020, Janvier) « *Projet de consultation du Public* ». Ministère de la Transition écologique et solidaire. Disponible sur: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf [Consulté le 07/01/2023]

¹¹⁷ Neate, R. (2021, 08 Février) « *Elon Musk pledges \$100m to carbon capture contest* ». The Guardian. Disponible sur: <https://www.theguardian.com/environment/2021/feb/08/elon-musk-pledges-100m-to-carbon-capture-contest>. [Consulté le 07/01/2023]

¹¹⁸ Stratégie Nationale Bas Carbone (2020, Janvier) « *Projet de consultation du Public* ». Ministère de la Transition écologique et solidaire. Disponible sur: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf [Consulté le 07/01/2023]

¹¹⁹ Entretien réalisé avec un membre du ministère de la transition écologique et solidaire le 4 Novembre 2022.

¹²⁰ Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2022, Janvier) « *Carbon Capture, Usage and Storage* ». UK Government. Disponible sur: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1045066/ccus-transport-storage-business-model-jan-2022.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

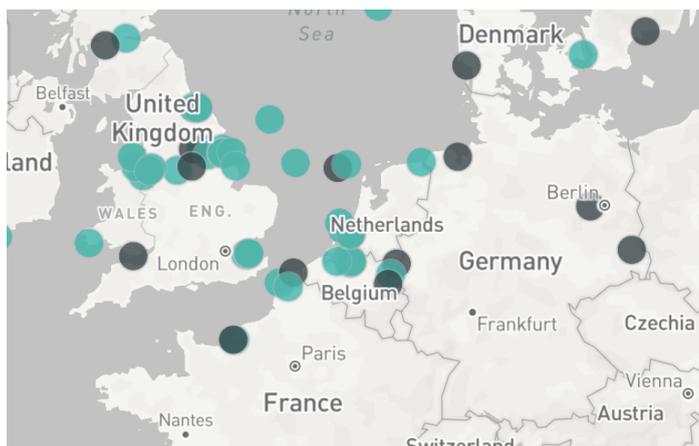


Figure 7: Ensemble des projets CCS en cours de développement en Europe de l'Ouest

Source : Global CCS Institute (2019, 17 Octobre), « CCS Facilities », site de la Global CCS Institute. Disponible sur <https://co2re.co/FacilityData>. [Consulté le 07/01/2023]

On constate donc que les objectifs mondiaux fixés par le GIEC sont transposés différemment suivant les pays. Une directive légale émise par la Commission Européenne est toujours transposée et adaptée aux lois du pays en question et il s'agit du même type de processus ici, les pays ayant adapté les recommandations du GIEC en fonction de leur propre situation. Mais ce choix est-il cohérent ici? Traiter de façon nationale la problématique mondiale du réchauffement climatique a ses limites selon certains. Ainsi, Kian Mintz Woo, chercheur en philosophie à l'Université de Cork, en Irlande, explique dans son papier de 2021 (au moment où la question du CSC revenait sur le devant de la scène en Europe) que :

« Nous sommes face à un dilemme moral quant au CSC, et plus particulièrement sur la question des lieux où le mettre en place : dans les nouveaux pays industriels qui polluent le plus actuellement et n'ayant pas forcément les ressources géologiques ni juridiques pour, ou bien dans les pays développés possédant la législation et les financements adaptés, et ayant les ressources géologiques adéquates. »¹²¹

Bien qu'il ne prenne pas position à la fin de son article, Mintz-Woo appelle néanmoins à préciser le type de coopération voulue entre les États. Ainsi, malgré la nécessité d'adapter la stratégie mondiale à chaque pays, une coopération financière semble nécessaire pour créer des infrastructures mondiales pouvant également profiter à des pays plus pauvres.

Conclusion de la Partie

Historiquement, la question de la rentabilité du CSC est un des freins majeurs à son développement. Peu de valeurs référence font consensus internationalement en raison de la variabilité des coûts associés à chaque technologie et à chaque projet. Ainsi, comme cela a été évoqué, les projets CSC ont eu du mal à se développer pendant les années 2000-2010, emportés par la chute du marché carbone européen et la crise financière de 2008. C'est depuis 2018 et le rapport spécial du GIEC qui a reboosté le marché Carbone européen que l'engouement a repris, et de nouvelles formes de financements émergent via des subventions publiques nationales et internationales suscitant de nouveaux espoirs. Néanmoins, la France n'a pour l'instant pas pris cette direction au niveau politique, investissant peu dans le CSC. En France, c'est TotalÉnergies qui

¹²¹ Mintz-Woo, K. et J. Lane. (2021, 18 Novembre) « Why and Where to Fund Carbon Capture and Storage ». Science and Engineering Ethics, Volume 27. Doi: 10.1007/s11948-021-00344-3.

pousse au développement du secteur en appelant l'Union Européenne au financement, mais cet acteur est peu écouté pour le moment.

Conclusion

Il est important d'avoir à l'esprit que le CSC regroupe une large gamme de technologies ayant chacune ses spécificités. C'est pourquoi il est difficile d'aboutir à un consensus technique et de déterminer si cette solution pourra répondre aux attentes de décarbonation. Chacune des phases (captage, transport, stockage ou réutilisation) présente des difficultés du point industriel. Au cours de leur développement, ces technologies ont soulevé des controverses classiques de doute scientifique mais sont aujourd'hui largement considérées comme matures et comportant des risques contrôlés par les experts scientifiques. Néanmoins, seuls peu de projets économiquement viables ont vu le jour en raison du manque de financements externes ou des contestations locales. Ce dernier point a transformé le secteur et a mené au développement de la plupart des projets actuels en offshore. Certains industriels trouvent cependant des solutions en arrivant à créer un dialogue fructueux avec les populations locales, notamment grâce à un ancrage historique fort dans la région du projet.

C'est surtout depuis la publication du rapport spécial du GIEC que la donne change pour le CSC. De nouveaux acteurs s'emparent du débat au niveau public et l'on constate une augmentation drastique de publications de la presse sur le sujet. C'est notamment le cas des lobbys environnementaux qui adressent de nouvelles critiques au CSC, en soulignant le caractère paradoxal d'une technologie de décarbonation historiquement portée par des acteurs pétroliers. Néanmoins, le sujet est encore peu présent dans les arènes politiques et médiatiques nationales, lesquelles s'engendrent réciproquement. Ainsi, le sujet reste malgré tout relativement confiné dans des arènes médiatiques et politiques locales et le portage médiatique du CSC reste faible, ce qui limite une forme de consensus et d'émergence d'objectifs communs vis-à-vis de ce secteur en France.

Enfin, de nouvelles technologies comme le Direct Air Capture sont aujourd'hui développées. Perçues comme des ruptures technologiques, elles bénéficient d'un attrait très important pour les investisseurs, contrairement aux technologies plus anciennes. Ces technologies pourraient modifier profondément le secteur du captage, notamment pour les acteurs pétroliers via des coalitions internationales, à la fois industrielles (Northern Lights par exemple) et politiques. Le marché carbone, en forte croissance ces dernières années, pourrait aider ces acteurs à trouver davantage d'équilibre économique. On assiste donc à une évolution profonde du secteur avec l'émergence de startups venant contester les technologies historiques et une volonté croissante des états de développer des projets. C'est sans doute l'union entre ces acteurs historiques -détenteurs d'un véritable savoir-faire dans le stockage et la gestion des puits d'hydrocarbures- avec des acteurs montrant une volonté écologique forte qui pourrait permettre un plein développement des potentialités du secteur.

■ Matériel et méthodes

L'étude de la controverse sur la capture et le stockage / utilisation du CO₂ a été réalisée à l'aide de quatre sources d'informations :

- Les articles de presse nationale et internationale;
- Les articles scientifiques et les rapports des experts;
- La littérature grise;
- Les entretiens menés avec les acteurs de la controverse.

Tout d'abord, nous avons étudié les presses et les articles scientifiques afin de mieux comprendre le sujet. Ensuite, nous avons recueilli deux corpus d'articles avec les équations suivant : « TEXT= "captage et de stockage du dioxyde de carbone" | "carbon capture and storage" | "Séquestration géologique du dioxyde de carbone" | "confinement du dioxyde de carbone" | "Séquestration géologique du carbone" | "confinement du carbone" » pour la presse nationale issu de la base de données de Europresse; « TOPIC = carbon capture and storage » pour l'article scientifique internationale issu de la base de données de Web of Science. Nous avons écarté les sigles « CSS » et « CSC » qui peuvent renvoyer à d'autres notions.

À l'aide de l'outil statistique d'Europresse et de Web of Science, nous avons pu obtenir les articles publiés par année. On remarque que le CSC a été mentionné la première fois en 2000, puis on constate une croissance à partir de 2008 et ensuite une stabilisation à partir de 2017. Afin d'utiliser le logiciel IRaMuTeQ qui permet d'une analyse automatisée des textes, l'exportation du corpus Europresse vers Excel a été réalisée à l'aide de la plateforme CorText. Ces résultats ainsi que les regroupements des éléments nous ont permis d'obtenir une liste de mot-clés.

Toutes ces méthodes nous ont permis de réaliser une analyse quantitative de la fréquence d'apparition d'articles scientifiques ou de presse généraliste sur le sujet.

Références bibliographiques

NB: les références apparaissant plusieurs fois dans le texte n'ont pas été doublées ici

PUBLICATION SCIENTIFIQUE

- 2 IPCC. (2022). «Summary for Policymakers. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change». Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926.001.
- 3 GIEC. (2018) «Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Résumé à l'intention des décideurs». Organisation météorologique mondiale. Disponible sur: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf. [Consulté le 07/01/2023]
- 5 International Energy Agency. (2016) «20 Years of Carbon Capture and Storage: Accelerating Future Deployment». OECD, doi: 10.1787/9789264267800-en
- 12 International Energy Agency. (2022, Avril) «Direct Air Capture. A key technology for net zero». IEA. Disponible sur https://iea.blob.core.windows.net/assets/78633715-15c0-44e1-81df-41123c556d57/DirectAirCapture_Akeytechnologyfornetzero.pdf. [Consulté le 07/01/2023]
- 13 Fasihi, M. et O. Efimova, C. Breyer, (2019) «Techno-economic assessment of CO2 direct air capture plants», Journal of Cleaner Production, Volume 224, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.086
- 17 Azarabadi, H. (2020). «Post-Combustion Capture or Direct Air Capture in Decarbonizing US Natural Gas Power?» Environ. Sci. Technol. doi: 10.1021/acs.est.0c00161
- 24 Kongsjorden, H. et O. Kårstad, T. Torp. (1998) «Saline aquifer storage of carbon dioxide in the Sleipner project». Waste Management, Volume 17, Issues 5–6, Pages 303-308, doi: 10.1016/S0956-053X(97)10037-X.
- 27 International Energy Agency (2021) «Carbon capture, utilisation and storage». Site de l'IEA. Disponible sur <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/carbon-capture-utilisation-and-storage>. [Consulté le 07/01/2023]
- 28 Ringrose, P., O. Eiken et C. Hermanrud (2010). «Injection, stockage et surveillance à Sleipner (Norvège) : une rétrospective de 15 ans». Géologues. 166. 69-75
- 37 Lefvert, A., E. Rodriguez, M. Fridahl, S. Grönkvist, S. Haikola, et A. Hansson. (2022, Mai) « What Are the Potential Paths for Carbon Capture and Storage in Sweden? A Multi-Level Assessment of Historical and Current Developments ». Energy Research & Social Science. Volume 87, doi: 10.1016/j.erss.2021.102452.
- 39 Chailleux, S. et X. Arnauld de Sartre (2021). «L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO2 : retour sur un débat non émergé.» Natures Sciences Sociétés, 12-24. Doi: 10.1051/nss/2021043
- 40 Finon, D. et M. Damian (2011, Janvier) « Le captage et le stockage du carbone, entre nécessité et réalisme ». Natures Sciences Sociétés, Volume 19, pages 56-61. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2011-1-page-56.htm>. [Consulté le 07/01/2023]
- 46 Gough, C., R. Cunningham et S. Mander (2017). «Societal responses to CO2 storage in the UK: media, stakeholder and public perspectives.» Energy Procedia, Volume 114, Pages 7310-7316. Doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1861

- 52 Zoback, M. D. et S. M. Gorelick (2012). «Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide.» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(26), 10164-10168. Doi: 10.1073/pnas.120247310
- 53 Ringrose, P.S., A.S. Mathieson, I.W. Wright, F. Selama, O. Hansen, R. Bissell, N. Saoula et J. Midgley (2013) «The In Salah CO2 Storage Project: Lessons Learned and Knowledge Transfer» *Energy Procedia*, Volume 37, Pages 6226-6236,. Doi: 10.1016/j.egypro.2013.06.551.
- 54 White, J. A., & Foxall, W. (2016). «Assessing induced seismicity risk at CO2 storage projects: Recent progress and remaining challenges». *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 49, 413-424. Doi: 10.1016/j.ijggc.2016.03.021
- 60 Merk, C., Å. Dyrnes Nordø, G. Andersen, O. M. Læg Reid, E. Tvinnereim (2022) « Don't send us your waste gases: Public attitudes toward international carbon dioxide transportation and storage in Europe. » *Energy Research & Social Science*, Volume 87. Doi: 10.1016/j.erss.2021.102450.
- 61 Jobert, A. (1998). «L'aménagement en politique. Ou ce que le syndrome NIMBY nous dit de l'intérêt général». *Politix*, 42, 67-92. Doi: 10.3406/polix.1998.1725
- 62 Ashworth, P. et C. Cormick (2011) « Enabling the social shaping of CCS technology ». Hart Publishing. ISBN: 9781841132686.
- 64 Kühn, M., M. Tesmer, P. Pilz (2012, Septembre) «CLEAN: project overview on CO2 large-scale enhanced gas recovery in the Altmark natural gas field (Germany).» *Environmental Earth Sciences*, Volume 67, pages 311-321. Doi: 10.1007/s12665-012-1714-z
- 69 Brunsting, S., M. de Best-Waldhober, C.F.J. Feenstra et T. Mikunda (2011), «Stakeholder participation practices and onshore CCS: Lessons from the Dutch CCS Case Barendrecht.» *Energy Procedia*, Volume 4, pages 6376-6383. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.655.
- 73 Brunsting, S., J. Desbarats, M. de Best-Waldhober, E. Duetschke, C. Oltra, P. Upham, H. Riesch. (2011) «The public and CCS: the importance of communication and participation in the context of local realities.» *Energy Procedia*, Volume 4, pages 6241-6247. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.637.
- 75 Ha-Duong, M., M. Gaultier, and B. deGuillebon (2011) « Social aspects of Total's Lacq CO2 capture, transport and storage pilot project.» *Energy Procedia*, Volume 4, pages 6263-6272. Doi: 10.1016/j.egypro.2011.02.640.
- 80 Neri O'Neill, R. et A. Nadaï. (2012, 19 Juin) « Risque et démonstration, la politique de capture et de stockage du dioxyde de carbone (CCS) dans l'Union européenne ». *Vertigo*. Doi: 10.4000/vertigo.12172
- 86 Asayama, S., et A. Ishii (2017, Septembre) « Selling Stories of Techno-Optimism? The Role of Narratives on Discursive Construction of Carbon Capture and Storage in the Japanese Media ». *Energy Research & Social Science*, Volume 31, Pages 50-59. Doi: 10.1016/j.erss.2017.06.010.
- 87 Otto, D., M. Pfeiffer, M. Madruga de Brito, et M. Gross (2022, 15 Juin) « Fixed Amidst Change: 20 Years of Media Coverage on Carbon Capture and Storage in Germany ». *Sustainability* Volume 14. Doi: doi.org/10.3390/su14127342
- 94 Markusson, N. et H. Stuart (2010, Novembre) « Capture ready regulation of fossil fuel power plants - Betting the UK's carbon emissions on promises of future technology ». *Energy Policy*, Volume 38, pages 6695-6702. Doi: 10.1016/j.enpol.2010.06.039
- 121 Mintz-Woo, K. et J. Lane. (2021, 18 Novembre) « Why and Where to Fund Carbon Capture and Storage ». *Science and Engineering Ethics*, Volume 27. Doi: 10.1007/s11948-021-00344-3.

PRESSE

- 8 Heuillard, Y. (2021, 10 Février). « La capture et le stockage du carbone, un remède pire que le mal ». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/La-capture-et-le-stockage-du-carbone-un-remede-pire-que-le-mal>. [Consulté le 07/01/2023]
- 9 Stoefs, W. (2021, 20 Septembre). « There is no cheating the atmosphere ». Carbon market watch. Disponible sur <https://carbonmarketwatch.org/2021/09/20/there-is-no-cheating-the-atmosphere/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 14 Garric, A. et P. Mouterde. (2022, 22 Janvier) «Le captage et le stockage de CO2, solution d'avenir pour le climat ou mirage ?». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/planete/article/2022/01/26/le-captage-et-stockage-du-co2-solution-d-avenir-pour-le-climat-ou-mirage_6110976_3244.html. [Consulté le 07/01/2023]
- 15 Mann, N. (2022, 14 Avril). «Au-delà de Climeworks, les technologies de captage de CO2 dans l'air se multiplient.» L'Usine nouvelle. Disponible sur <https://www.usinenouvelle.com/editorial/l-instant-tech-au-dela-de-climeworks-les-technologies-de-captage-de-co2-dans-l-air-se-multiplient.N1993422>. [Consulté le 07/01/2023]
- 16 Kloetzli, S. (2018, 12 Juillet) «Les technologies de capture du carbone pourront-elles contrer le réchauffement climatique ?» Socialter. Disponible sur <https://www.socialter.fr/article/les-technologies-de-capture-du-carbone-pourront-elles-contrer-le-rechauffement-climatique-1>. [Consulté le 07/01/2023]
- 21 Stoefs, W. (2022, 10 Janvier) «A sustainable carbon cycle or a vicious emissions cycle?» Carbon Market Watch. Disponible sur <https://carbonmarketwatch.org/2022/01/10/a-sustainable-carbons-cycle-or-a-vicious-emissions-cycle/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 31 Robert, A. et A.-R. Kokabi (2021, 06 Mai) «Stockage de CO2: les manœuvres de Total». Reporterre. Disponible sur <https://reporterre.net/Stockage-de-CO2-les-manoeuvres-de-Total>. [Consulté le 07/01/2023]
- 43 Joeres, A. et S. Götze. (2021, 10 Avril) « Les fausses promesses des technologies de captage du carbone pour réduire les émissions de CO2 ». Le Monde. Disponible sur https://www.lemonde.fr/climat/article/2021/04/10/climat-les-fausses-promesses-des-technologies-de-captage-du-carbone_6076305_1652612.html. [Consulté le 07/01/2023]
- 49 Laperche, D. (2012, 11 décembre). «Quels risques pour le stockage de CO2 ?». Actu-environnement. Disponible sur <https://www.actu-environnement.com/ae/news/quels-risques-pour-stockage-dioxyde-de-carbone-17285.php4>. [Consulté le 07/01/2023]
- 90 Epitropakis, R. (2022, 09 Septembre) « La captation du carbone: vraie solution ou faux espoir ? » Les Echos Planète. Disponible sur: <https://planete.lesechos.fr/enquetes/la-captation-du-carbone-vraie-solution-ou-faux-espoir-14795/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 104 Collen, V. (2020, 15 Décembre). « Une technologie coûteuse et controversée ». Les Echos. Disponible sur: <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/la-capture-du-co2-une-technologie-couteuse-et-controversee-1274273>. [Consulté le 07/01/2023]
- 115 France 24 (2022, 20 Novembre) « La COP27 se termine sur un bilan contrasté ». Site de France 24. Disponible sur: <https://www.france24.com/fr/plan%C3%A8te/20221120-la-cop27-se-terme-sur-un-bilan-contrast%C3%A9-l-ue-d%C3%A9-c%C3%A7ue>. [Consulté le 07/01/2023]

- 117 Neate, R. (2021, 08 Février) « Elon Musk pledges \$100m to carbon capture contest ». The Guardian. Disponible sur: <https://www.theguardian.com/environment/2021/feb/08/elon-musk-pledges-100m-to-carbon-capture-contest>. [Consulté le 07/01/2023]

LITTÉRATURE GRISE

- 1 XPrize. (s.d.) « \$100M prize for carbon removal ». Site de l'entreprise XPrize. Disponible sur <https://www.xprize.org/prizes/carbonremoval>. [Consulté le 07/01/2023]
- 7 Pigeon, J. (2016). « Les technologies de Captage, Transport et Stockage du CO₂ (CTSC) dans l'Axe-Seine : description des futurs possibles d'un dispositif technique de réduction des émissions de gaz à effet de serre. » Thèse de doctorat. Université du Havre.
- 10 TotalÉnergies. (2020, 31 Janvier) « Le captage-stockage de CO₂, une solution prometteuse. » Site de l'entreprise TotalÉnergies. Disponible sur <https://totalenergies.com/fr/dossiers/le-captage-stockage-de-co2-une-solution-prometteuse>. [Consulté le 07/01/2023]
- 11 Center for International Environmental Law. (2021, 19 Juillet) « It's Time to End Carbon Capture of Climate Policy : An Open Letter to US and Canadian Leaders ». Disponible sur https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2021/07/CCS-Ad_The-Washington-Post_FINAL.pdf. [Consulté le 07/01/2023]
- 20 TotalÉnergies. (2022, 22 Mars) « Démarrage du pilote industriel « 3D » de captage et de stockage de CO₂ à Dunkerque ». Site de l'entreprise TotalÉnergies. Disponible sur <https://totalenergies.com/fr/medias/actualite/communiqués-presse/france-demarrage-du-pilote-industriel-captage-co2-3d-dunkerque>. [Consulté le 07/01/2023]
- 22 Budinis, S. (2022, Septembre) « Direct Air Capture », IEA, Paris. Disponible sur <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>.
- 25 Rochon, E. (2008, Mai) « Faux espoir ». Greenpeace International. Disponible sur <https://cdn.greenpeace.fr/site/uploads/2017/02/faux-espoir.pdf> [Consulté le 07/01/2023]
- 26 Catoire, L. (2022, 8 Mars). « CO₂ : un stockage souterrain possible, mais pas accepté ». Polytechnique Insights. Disponible sur <https://www.polytechnique-insights.com/tribunes/industrie/lacceptation-sociale-est-un-obstacle-majeur-au-stockage-souterrain-du-co2/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 30 Falwell, P. (2015, Janvier). « Understanding the National Enhanced Oil Recovery Initiative ». Center for Climate and Energy Solutions. Disponible sur <https://www.c2es.org/document/understanding-the-national-enhanced-oil-recovery-initiative/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 32 El Khamlichi, A., T. Gourdon, et S. Padilla. (2020, Juillet) « Le Captage et Stockage géologique du CO₂ (CSC) en France : Le CSC, un potentiel limité pour la réduction des émissions industrielles ». ADEME. Disponible sur https://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2020/07/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf. [Consulté le 07/01/2023]
- 33 Cailloce, L. (2016). « Le CO₂, une ressource à exploiter ? » CNRS. Disponible sur <https://lejournel.cnrs.fr/articles/le-co2-une-ressource-a-exploiter> [Consulté le 07/01/2023]
- 34 Air Liquide. (s.d.) « Enrichissement en CO₂ dans les serres » Site de l'entreprise Air Liquide. Disponible sur: <https://fr.airliquide.com/solutions/enrichissement-en-co2-dans-les-serres> [Consulté le 07/01/2023]
- 41 Club CO₂. (s.d.) « Transporter le CO₂ ». Site du Club CO₂. Disponible sur <https://www.club-co2.fr/fr/content/transporter-le-co2>. [Consulté le 07/01/2023]
- 47 Lions, J. et O. Bouc (2013). « Synthèse sur les impacts potentiels du stockage géologique du CO₂ sur les ressources en eau souterraines ». Rapport de recherche, BRGM, ONEMA.

- 55 Hill, B. «Seismic Risk Won't Threaten the Viability of Geologic Carbon Storage» (2012, 20 juin) Clean Air Task Force. Disponible sur <https://www.catf.us/2012/06/seismic-risk-wont-threaten-the-viability-of-geologic-carbon-storage/> [Consulté le 07/01/2023]
- 63 Bertaud du Chazaud, S. (2018, 30 Août) « L'acceptabilité des projets d'ingénierie du sous-sol: questionnement et mise en perspective autour de cas concrets » APESA, Centre technologique au service des transitions. Disponible sur: <https://www.apesa.fr/acceptabilite-sociale-des-projets-dingenierie-sous-sol/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 70 Feenstra, C.F.J., T. Mikunda, et S. Brunsting, (2010, Juin) «What happened in Barendrecht?» Global CCS Institute, Disponible sur <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/8172/barendrecht-ccs-project-case-study.pdf> [Consulté le 07/01/2023]
- 82 Ha-Duong, M., M. Gaultier, B. de Guillebon, G. Mardon (2015) « Carbon capture and storage - The Lacq pilot. Project and injection period 2006-2013 », Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI), pages 216-241. Disponible sur : <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/194253/carbon-capture-storage-lacq-pilot.pdf>. [Consulté le 07/01/2023]
- 91 Energy Transitions Commission. (2018, Novembre) « Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century ». Energy Transitions Commission. Disponible sur: <https://www.energy-transitions.org/publications/mission-possible>. [Consulté le 07/01/2023]
- 92 UNDP (2008, 01 Janvier) « Human Development Report: Fighting climate change: Human solidarity in a divided world ». UNDP. Disponible sur: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-20078>. [Consulté le 07/01/2023]
- 95 Gilsam, S. (2022, 31 Janvier) « Shell accused of greenwashing emissions from carbon capture tech ». Industry Europe. Disponible sur: <https://industryeurope.com/sectors/energy-utilities/shell-accused-of-greenwashing-emissions-from-carbon-capture-/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 98 Lepic, B. (2021, 09 Mars) « Norway approves plan for Northern Lights project ». Offshore Energy. Disponible sur: <https://www.offshore-energy.biz/norway-approves-plan-for-northern-lights-project/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 99 European Commission. (s.d.) « Carbon capture, storage and utilisation ». European Commission. Disponible sur: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/carbon-capture-storage-and-utilisation_en. [Consulté le 07/01/2023]
- 103 Global CCS Institute. (2022, 18 Juillet) « EU Innovation Fund to Invest in Seven CCS and CCU Projects ». Global CCS Institute. Disponible sur: <https://www.globalccsinstitute.com/news-media/latest-news/eu-innovation-fund-to-invest-in-seven-ccs-and-ccu-projects/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 110 Clean Air Taskforce (2022, 21 Décembre) «Carbon Dioxide Removal and Certification - What is it and why is it needed ?». Site de la CATF. Disponible sur <https://www.catf.us/resource/carbon-dioxide-removal-certification-what-is-it-and-why-is-it-needed/>. [Consulté le 07/01/2023]
- 111 European Commission (s.d.) «Certification of carbon removals – EU rules». Site de la Commission Européenne. Disponible sur: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13172-Certification-of-carbon-removals-EU-rules_en [Consulté le 07/01/2023]
- 113 Rassool, D. (2022) « Unlocking Private Finance to Support CCS Investments ». Global CCS Institute. Disponible sur:

- <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/06/Unlocking-Private-Finance-for-CCS-Thought-Leadership-Report-1.pdf>. [Consulté le 07/01/2023]
- 116 Stratégie Nationale Bas Carbone (2020, Janvier) « Projet de consultation du Public ». Ministère de la Transition écologique et solidaire. Disponible sur: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-01-20_MTES_SNBC2.pdf [Consulté le 07/01/2023]
- 120 Department for Business, Energy and Industrial Strategy (2022, Janvier) « Carbon Capture, Usage and Storage ». UK Government. Disponible sur: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1045066/ccus-transport-storage-business-model-jan-2022.pdf. [Consulté le 07/01/2023]

Entretiens

- Enseignant-chercheur et professeur à IFP School sur les sujets de capture et stockage du Carbone. Co-titulaire de la Chaire "Carbon management and negative CO2 emissions technologies towards a low carbon future" (CARMA).
Entretien réalisé le 25 Octobre 2022.
- Sébastien Chailleux, maître de conférence en science politique à Sciences Po Bordeaux. Auteur de "L'acceptabilité au prisme du stockage géologique de CO2 : retour sur un débat non émergé", étude sur l'acceptabilité sociale autour des technologies de capture de carbone.
Entretien réalisé le 2 Novembre 2022.
- Exécutif chargé des projets CSC chez TotalÉnergies.
Entretien réalisé le 16 Novembre 2022.
- Adjoint au chef de bureau des marchés carbone chez Ministère de la Transition écologique et solidaire.
Entretien réalisé le 22 Novembre 2022.