

# **Les puits de carbone :** *une béquille nécessaire mais fragile dans la course vers la neutralité*

**Enseignements clés des Rencontres Académiques sur  
les puits de carbone de 22/02/2024**

# Avant-propos

Si les puits de carbone sont un soutien indispensable dans la course à la neutralité, ils restent fragiles et ne suffisent pas à atteindre cet objectif. Leur développement doit donc s'accompagner d'une réduction drastique des gaz à effet de serre et d'une gestion rigoureuse pour assurer leur pérennité.

À l'horizon 2050, l'objectif de neutralité carbone domine les agendas politiques, mettant l'accent sur les émissions négatives. Cette orientation stratégique nécessite une compréhension approfondie de l'efficacité des puits de carbone et de l'impact de nos actions sur leur fonctionnement.

Un puits de carbone est un mécanisme naturel ou artificiel qui permet d'absorber le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère. Ces systèmes incluent les forêts, les océans, les sols, ainsi que des technologies spécifiques de captage et de stockage du carbone. Face à l'urgence climatique, au-delà de la nécessité de renforcer ces puits, il est également important d'assurer leur pérennité et de veiller à ce que la poursuite de ces objectifs n'éclipse pas l'impératif de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, plusieurs interrogations émergent : Quels sont les impacts environnementaux d'une intensification des puits, qu'ils soient naturels ou artificiels ? Leur renforcement peut-il entraîner des effets indésirables ? Peut-on vraiment faire confiance à des technologies encore en phase expérimentale ? Comment résoudre les éventuels conflits d'usage liés à l'affectation des terres et des ressources ? Quelles politiques publiques pour mettre en œuvre des actions adaptées à chaque type de puits et maximiser leur contribution ?

Pour aborder ces questions pressantes, The Shift Project a organisé une journée de réflexion et de débat, réunissant un panel multidisciplinaire de chercheurs, d'experts de l'industrie et de décideurs politiques. Cette rencontre a été l'occasion de partager un éventail de connaissances, d'analyses et de perspectives, mettant en lumière les défis et opportunités actuels. Les discussions ont abordé l'efficacité et les limites des principaux puits de carbone, tout en évaluant les risques associés et les enjeux politiques de leur développement, dans le but de maximiser leur potentiel pour atteindre les objectifs de 2050.

# La nature à notre service

## Terres fertiles : les sols agricoles au cœur du stockage du carbone

*Quel rôle joue la nature, à travers ses mécanismes ingénieux pour absorber le CO<sub>2</sub> et retenir le carbone fixé ?* [Sylvain Pellerin](#), chercheur à l'INRAE, a abordé cette question en soulignant le rôle essentiel des sols agricoles dans le stockage du carbone.

Les sols agricoles contiennent une quantité significative de carbone organique, qui constitue entre 1 et 10 % de leur masse totale. Ce carbone provient du CO<sub>2</sub> absorbé par les plantes durant la photosynthèse, qui entre ensuite dans les sols sous forme de résidus de cultures, litière, feuilles mortes, racines, et déjections animales. Transformé par l'action de la faune et des micro-organismes du sol, ce carbone peut être stabilisé par des interactions organo-minérales, prolongeant son temps de résidence dans le sol de plusieurs décennies à plusieurs siècles, empêchant ainsi sa conversion rapide en CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ce processus naturel de séquestration du carbone dans les sols agricoles ouvre la porte à des pratiques de gestion spécifiques qui peuvent optimiser et augmenter ces réserves de carbone.

Reconnaissant ce potentiel considérable des sols, des chercheurs de l'INRAE [ont exploré](#) différentes pratiques agricoles susceptibles de maximiser leur capacité de stockage. En contexte de grandes cultures, les cultures intermédiaires, l'agroforesterie et les haies, les prairies temporaires se sont avérées les plus efficaces. En combinant ces pratiques, l'étude montre que les stocks de carbone pourraient être considérablement augmentés, avec une capacité de séquestration évaluée à 6 millions de tonnes de C par an dans les 30 premiers centimètres du sol à l'échelle de la France.

Cependant, Sylvain Pellerin ne manque pas de souligner les limites de cette stratégie. La capacité de séquestration des sols, bien que significative, ne peut à elle seule compenser l'intégralité de nos émissions, d'autant plus que l'agriculture continue de produire d'autres émissions de gaz à effet de serre telles que le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et le méthane (CH<sub>4</sub>). Il préconise de réduire l'utilisation d'engrais azotés et d'adopter des pratiques agricoles complémentaires pour limiter ces émissions pour un réel impact positif et insiste sur l'impossibilité de « neutraliser » nos émissions uniquement en stockant plus de carbone. Il précise que, même en appliquant toutes les pratiques évoquées, les sols agricoles pourraient fournir approximativement trois quarts des puits de carbone nécessaires pour atteindre la neutralité carbone nationale d'ici à 2050. Le

stockage supplémentaire ne peut être qu'un complément aux efforts de réduction des émissions pour parvenir à la neutralité carbone.

Le chercheur souligne que le processus de séquestration dans les sols est non seulement temporaire, mais aussi réversible : si les bonnes pratiques agricoles ne sont pas maintenues, le carbone stocké pourrait retourner dans l'atmosphère, et le rendement de ce processus reste faible puisque seule une partie du carbone absorbé est stabilisée durablement.

Sylvain Pellerin met également en question l'utilisation optimale de la biomasse utilisée. Faut-il prioriser le stockage du carbone dans le sol ou produire de l'énergie à partir de cette biomasse pour remplacer les combustibles fossiles ? Cette question ouvre un débat important sur les meilleures stratégies à adopter pour une gestion durable du carbone, marquant l'importance de décisions informées et stratégiquement viables face à l'urgence climatique.

## Alarme sur le front forestier : entre croissance, récolte et mortalité naturelle

Passant du sol à la canopée, [Philippe Ciais](#), chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), élargit la perspective en abordant un autre acteur clé de la séquestration du carbone naturel : la forêt. Globalement, les forêts jouent un rôle crucial dans l'absorption du carbone, capturant environ 30% des émissions annuelles de CO<sub>2</sub>. En Europe, ce chiffre est légèrement plus modeste, mais tout aussi significatif, représentant environ 10 à 15% des émissions continentales. Cependant, malgré leur rôle essentiel, les forêts européennes font face à des défis croissants qui compromettent leur capacité à agir efficacement comme puits de carbone. Ces défis deviennent particulièrement préoccupants à la lumière des récents changements observés dans leur dynamique.

Le puits de carbone forestier, résultant d'un équilibre entre gains (croissance des arbres et récolte) et pertes (mortalité naturelle accrue), montre des signes alarmants, notamment en France où sa capacité d'absorption a presque été divisée par deux en une décennie. Ce déclin est également observé à l'échelle européenne et mondiale, où les puits de carbone ont subi un effondrement en 2023, principalement à cause des sécheresses prolongées et des incendies massifs, ce qui met en péril leur rôle crucial dans l'atténuation du changement climatique. Alors que la croissance des arbres stagne et que la récolte forestière reste stable, la mortalité naturelle augmente considérablement en raison de sécheresses et d'attaques de ravageurs. Historiquement, les forêts européennes stockaient approximativement 450 millions de tonnes de carbone annuellement. Sur cette base, l'Europe a établi des objectifs ambitieux de maintenir cette capacité d'absorption à au moins 400 millions de tonnes par an d'ici 2030. Mais la dernière décennie a vu une réduction d'environ 15 % de cette capacité, avec des pays comme la Finlande, la République Tchèque et l'Allemagne devenant des sources nettes

de carbone, ce qui représente un défi majeur pour l'objectif européen de neutralité carbone. La France a aussi subi une baisse significative, dépassant la moyenne de l'Union Européenne au cours de la même période.

En parallèle, alors que la filière bois est souvent mise en avant comme un pilier du stockage du carbone, notamment à travers la transformation du bois en produits à longue durée de vie tels que les meubles et les matériaux de construction, les résultats d'une analyse comparative menée par Philippe Ciais montrent une réalité plus nuancée. Selon son analyse, l'accroissement du carbone stocké dans les forêts françaises vivantes serait environ 20 fois supérieur à celui retenu dans les produits de l'industrie du bois. Il note que la majorité du bois récolté est actuellement destinée à la production d'énergie ou est transformée en matériaux à courte durée de vie, ce qui entraîne une libération rapide de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Le chercheur conclut prudemment que l'augmentation de la production de bois, telle qu'elle est pratiquée actuellement, pourrait ne pas suffire à compenser les pertes de carbone causées par la déforestation.

Il exprime également une préoccupation sérieuse quant au recul marqué de la capacité des forêts européennes à séquestrer le carbone, compromettant ainsi l'atteinte des objectifs nationaux et européens de neutralité carbone. Il propose une gestion forestière plus respectueuse de l'environnement pour prévenir la déforestation et améliorer la capacité de stockage du carbone. Soulignant l'urgence d'ajuster les stratégies actuelles, il suggère une réduction de 30 % des volumes de récolte forestière, une mesure qu'il juge nécessaire pour renforcer les capacités de stockage du carbone. Cependant, il reconnaît également les défis économiques associés à de telles mesures et appelle à une réévaluation des stratégies forestières actuelles.

Ces stratégies de gestion forestière mentionnées par le chercheur peuvent toutefois entraîner des coûts économiques significatifs et des conflits d'usage des terres, qui ne sont pas toujours envisageables dans des contextes où les pressions économiques et les besoins en développement prévalent. Cette tension entre les objectifs environnementaux et économiques nécessite une approche équilibrée qui tienne compte des réalités socio-économiques locales et des capacités d'adaptation des communautés dépendantes de la forêt.

## Océans : Les géants oubliés du carbone

Un dernier acteur dans l'équipe des puits naturels nous fait naviguer du domaine terrestre au marin : les océans. Recouvrant plus de 70 % de la surface de la Terre, ils jouent un rôle clé dans le cycle du carbone en absorbant naturellement environ 25 % du CO<sub>2</sub> émis par les activités humaines. Et tout comme ses coéquipiers terrestres, les océans sont également menacés par le changement climatique, risquant saturation et perte d'efficacité. L'augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub> dans l'océan entraîne une acidification des eaux, ce qui menace les écosystèmes marins sur le long terme.

[Marina Lévy](#), chercheuse au CNRS, nous rappelle que l'océan est un immense puits de carbone, stockant 50 fois plus que notre atmosphère. Elle nous dresse un panorama des différentes approches visant à renforcer artificiellement cette capacité, réparties en deux grandes catégories : les méthodes inorganiques et organiques.

Les méthodes inorganiques visent à augmenter la capacité naturelle de l'océan à absorber le CO<sub>2</sub>. Ces techniques comprennent l'accélération de la descente des eaux, l'injection de CO<sub>2</sub> dans les fonds marins et l'introduction de roches alcalines pour renforcer la capacité chimique de l'océan à absorber le CO<sub>2</sub>. D'autre part, les méthodes organiques visent à stimuler la photosynthèse marine, soit par la fertilisation artificielle, soit par la restauration d'écosystèmes côtiers comme les mangroves et les herbiers marins.

Lévy présente deux initiatives particulièrement prometteuses. La première est la restauration des écosystèmes côtiers, concerne la protection ou la restauration de végétation côtière comme les mangroves, les herbiers marins et les marais salants. Bien que ces écosystèmes absorbent actuellement environ 0,5 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, leur rôle demeure important compte tenu des émissions additionnelles, estimées à 1,5 gigatonne de CO<sub>2</sub> par an, causées par leur dégradation. La deuxième méthode, l'alcalinisation océanique, consiste à introduire des minéraux alcalins dans les océans afin d'augmenter leur capacité à absorber le CO<sub>2</sub> et à réduire l'acidité. Cette méthode est encore au stade expérimental et nécessiterait le déploiement d'infrastructures à grande échelle, avec des impacts potentiels sur les littoraux.

Ces méthodes, prometteuses en théorie, soulèvent toutefois des interrogations quant à leur efficacité à grande échelle et sur les impacts environnementaux qu'elles pourraient engendrer. Comprendre ces éléments est essentiel pour évaluer leur viabilité et les risques associés à leur déploiement.

En outre, la chercheuse attire l'attention sur la distribution inégale des flux de carbone dans les océans, qui ne sont pas uniformément répartis : certaines zones émettent du CO<sub>2</sub>, d'autres le captent. Cette dynamique fluctuante, influencée par des variations saisonnières et spatiales telles que la dissolution de l'eau et la photosynthèse, complique l'évaluation des méthodes visant à augmenter le puits de carbone océanique, puisque les processus d'absorption et de libération de CO<sub>2</sub> ne se produisent pas simultanément ni au même endroit.

Dans ses conclusions, Lévy exprime une préoccupation partagée par la communauté scientifique concernant les stratégies visant à augmenter les puits de carbone océaniques. Elle estime que ces initiatives bien intentionnées pourraient en fait endommager les écosystèmes marins. Cette inquiétude survient dans un contexte d'évolution rapide du paysage international, avec l'émergence de nombreuses startups attirées par ces technologies. Elle insiste sur l'importance de poursuivre les recherches pour mieux comprendre ces risques et sensibiliser la communauté internationale aux potentielles répercussions de ces initiatives.

# Séquestration naturelle du carbone : défis et leviers discutés par des experts

Après les présentations détaillées des chercheurs sur les puits de carbone et leurs rôles dans le climat et la biodiversité, un dialogue riche et dynamique a eu lieu lors d'une table ronde.

## Historique de la prise en compte des puits de carbone

[Christine Deleuze](#), directrice de projet à l'Office National des Forêts (ONF), observe que depuis la création du Green Deal européen en 2019 et des engagements de la France suite à la COP 21, en visant la neutralité carbone en 2050, plutôt que la seule réduction d'émissions de gaz à effet de serre, a intensifié la reconnaissance des forêts en tant que puits de carbone. Cette période correspond aussi à un pic de performance du puits forestier, lequel représentait 13 % des émissions nationales de gaz à effet de serre. Concernant la chute récente du puits forestier, Deleuze rappelle cependant que les puits forestiers avaient déjà été perturbés par des événements comme les tempêtes de 1999 et 2009, qui avaient affecté leur capacité, avec une chute observée de 50% après 1999. Elle souligne que la capacité à séquestrer le carbone par les forêts n'est ni stable ni illimitée, ce qui nécessite une évaluation permanente et des ajustements des stratégies de gestion forestière afin d'optimiser leur efficacité.

Parallèlement, [Clothilde Tronquet](#), experte en politique agricole à l'I4CE, apporte un complément d'information sur les sols agricoles. Elle explique que les études de l'INRAE de 2013 et leur révision en 2019 ont permis de mieux comprendre le potentiel de stockage additionnel dans les sols agricoles en France. Ces recherches, selon elle, ont également révélé que certaines pratiques, comme le non-labour, ne permettent pas le stockage additionnel de carbone initialement envisagé. Tronquet nous rappelle également que les terres agricoles en France ne constituent pas un puits net de carbone, mais plutôt une source d'émissions, principalement due à la conversion de l'utilisation des terres. Elle insiste sur l'importance de maintenir les stocks de carbone existants et de développer des incitations pour préserver ces stocks.

# Cadre réglementaire et politiques publiques

*Comment les nouvelles stratégies de gestion des puits de carbone influencent-elles les politiques publiques et quelles mesures ont été mises en place pour améliorer cette gestion depuis que le sujet est devenu important ?*

Face aux défis posés par le changement climatique, Christine Deleuze insiste sur l'urgence d'adapter les politiques publiques pour encourager le stockage du carbone dans les forêts. Elle explique que l'évolution des conditions climatiques entraîne la perte de peuplements forestiers considérables, comme illustré par les incendies au Canada en 2023 et en France en 2022, où 72 000 hectares de forêt ont été détruits. Ces catastrophes non seulement réduisent les stocks de carbone, mais libèrent également du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. De plus, 670 000 hectares ont été perdus en cinq ans en France à cause du dépérissement des arbres. Pour contrebalancer ces pertes, l'effort majeur, préconise-t-elle, est de rendre les forêts plus résilientes en les reconstituant avec des essences plus adaptées aux conditions climatiques futures. Elle note que les politiques récentes se sont focalisées sur cette reconstitution et sur la diversification des pratiques sylvicoles. Ces politiques incluent des incitations financières pour les propriétaires forestiers pour la plantation d'espèces adaptées aux changements climatiques prévus, et des programmes de recherche pour tester la viabilité de nouvelles essences face à des conditions climatiques plus extrêmes. Ces mesures, selon elle, sont essentielles pour transformer les puits de carbone en éléments dynamiques et adaptatifs de la stratégie climatique globale, bien que leurs effets ne seront visibles que dans 30 à 40 ans. Elle affirme également que, bien que la France dispose de 136 essences d'arbres différentes, renforçant ainsi la résilience de ses forêts, elle rencontrera, comme les autres pays européens, des difficultés à atteindre les objectifs du Green Deal en matière de gestion des puits forestiers.

Clothilde Tronquet explique que dans le cadre de la Politique Agricole Commune (PAC), il existe des mesures de conditionnalité et des aides financières telles que les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC), qui soutiennent certaines pratiques agricoles comme la replantation de haies et la gestion des systèmes herbagés. Toutefois, elle souligne que ces mesures ne sont pas suffisamment exigeantes et ne correspondent pas à l'ampleur des défis posés par le changement climatique. Tronquet note également que le règlement LULUCF (Land Use, Land Use Change, and Forestry) fixe des objectifs ambitieux pour le stockage de carbone, avec un but de stocker 310 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> annuellement d'ici 2030 pour tous les puits terrestres et marins de l'Europe. Cependant, elle critique le manque de politiques publiques adéquates et de financements suffisants pour atteindre ces objectifs, en particulier dans un contexte où les puits de carbone, notamment forestiers, sont en déclin. Elle soulève aussi des préoccupations sur les défis logistiques et financiers pour mettre en œuvre ces politiques efficacement. Les dispositifs existants, tels que les marchés de carbone volontaires privés, offrent des prix bien en dessous du coût réel de la séquestration du carbone,



environ 30 euros par tonne, comparés aux 100 euros nécessaires pour rendre les actions de séquestration viables économiquement. En réponse, Tronquet appelle à une augmentation significative des incitations pour maintenir et développer les stocks de carbone, notamment à travers des réformes qui pourraient mieux intégrer les pratiques agricoles et forestières dans les politiques européennes de gestion du carbone.

Selon [Catherine Chabaud](#), députée européenne, les écosystèmes marins commencent tout juste à être reconnus dans des cadres législatifs tels que la feuille de route de l'Union Européenne, bien que leur mention reste minime. Elle critique la lenteur des avancées réglementaires et souligne la nécessité d'un cadre plus structuré pour intégrer le « carbone bleu » — les mangroves, les herbiers, et les marais salés — dans les législations sur le climat. Chabaud explique que ces écosystèmes jouent un rôle crucial dans la séquestration du carbone mais que leur capacité d'absorption et leur résilience à la dégradation restent mal comprises et peu documentées. Elle insiste sur la nécessité de mener des recherches approfondies pour cartographier et évaluer précisément ces écosystèmes. Enfin, elle préconise une meilleure intégration des puits de carbone côtiers dans les stratégies climatiques européennes, afin d'améliorer leur gestion et leur protection.

## Gestion des conflits d'objectifs

*Comment traiter le conflit d'objectifs qui pourrait y avoir entre les puits naturels et la préservation de la biodiversité ?*

Pour répondre à cette question, les experts sont alignés sur le fait que ces objectifs ne sont pas nécessairement contradictoires, mais qu'ils requièrent une stratégie cohérente et bien pensée. L'approche intégrée qu'ils proposent repose sur la collaboration entre différentes disciplines pour répondre efficacement aux défis complexes posés par la séquestration du carbone tout en préservant la biodiversité.

Christine Deleuze, en s'appuyant sur son expérience avec les forêts publiques, illustre comment la gestion forestière peut simultanément soutenir la biodiversité et la production forestière. Elle met en avant l'importance de structurer l'espace forestier de manière à inclure des zones spécifiques destinées à la biodiversité, comme les îlots de vieux bois et les dendros (microhabitats pour la faune), tout en maintenant des zones productives. Cette dualité de gestion permet non seulement de maximiser le stockage de carbone, mais aussi de protéger des écosystèmes riches et diversifiés.

Catherine Chabaud critique l'approche en silo des politiques qui traitent des questions de l'océan soit sous l'angle du climat, soit sous celui de la biodiversité, sans reconnaître leur interdépendance. Elle plaide pour une vision plus unifiée qui intègre les politiques publiques terrestres et marines.

Clothilde Tronquet, de son côté, aborde la question sous l'angle économique, en insistant sur la nécessité d'adapter les systèmes économiques aux réalités

environnementales, notamment la baisse des rendements agricoles. Elle souligne que les pratiques agricoles doivent non seulement être soutenues par des politiques qui encouragent des pratiques durables, mais aussi être financièrement viables pour les agriculteurs. Elle mentionne la nécessité de systèmes d'incitation robustes qui peuvent compenser les coûts supplémentaires engendrés par la mise en œuvre de pratiques agricoles plus durables et moins intensives en carbone.

# Puits de carbone technologiques : Nouvelles frontières de la capture du carbone

Les puits de carbone technologiques se présentent comme des stratégies prometteuses innovantes pour capter et stocker le dioxyde de carbone de l'atmosphère, ou dans les émissions industrielles. Ces technologies, centrées principalement sur le développement de dispositifs de capture et de stockage géologique du CO<sub>2</sub>, visent à réduire les quantités d'émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Cependant, leur mise en œuvre à grande échelle soulève des questions concernant leur efficacité, leur coût et leur impact environnemental à long terme.

Pour faire le point sur les développements et les enjeux actuels de ces technologies, [Isabelle Czernichowski-Lauriol](#) anciennement chercheuse et chargée de mission au BRGM et [Grégory Nocton](#), chercheur au CNRS, ont partagé leurs perspectives sur le potentiel de ces méthodes et les obstacles à leur déploiement à grande échelle.

## Captage et stockage du carbone : Enjeux et perspectives

Isabelle Czernichowski-Lauriol présente le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> ("Carbon Capture and Storage" ou "CCS" en anglais) comme une stratégie pragmatique pour pallier les effets des émissions de CO<sub>2</sub> résultant de l'extraction et de la combustion des énergies fossiles. Elle explique que cette stratégie, loin d'être nouvelle ou théorique, s'appuie sur l'observation de gisements de CO<sub>2</sub> d'origine naturelle, provenant de sources volcaniques ou mantelliques. En France et ailleurs, ces gisements naturels démontrent que certaines formations géologiques ont la capacité de retenir d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> de façon durable. Ces gisements naturels, souvent découverts lors de recherches de gaz naturel ou de pétrole, illustrent le potentiel de piégeage des formations géologiques.

Le CCS se compose de deux phases principales - *ou trois, si on compte le transport, bien que celui-ci n'ait pas été abordé lors de la présentation*: le captage du CO<sub>2</sub> à sa

source dans les émissions industrielles, ou directement dans l'atmosphère, puis son stockage dans des formations géologiques profondes où il peut être isolé de manière sécurisée et durable, processus pour lequel Isabelle Czernichowski-Lauriol détaille quatre principaux mécanismes de piégeage : structural, résiduel, par dissolution et minéralogique. Chaque mécanisme joue un rôle crucial dans la sécurisation à long terme du CO<sub>2</sub> sous terre.

L'intérêt pour le CCS s'accroît en Europe, où il est devenu une composante essentielle de l'industrie en quête de solutions pour atteindre les objectifs de neutralité carbone, avec une nécessité de capter annuellement dans le monde 7,6 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> d'ici 2050. Actuellement, l'Europe compte seulement deux des 41 installations de CCS opérationnelles dans le monde.

Bien que la mer du Nord soit intensivement utilisée pour le stockage du CO<sub>2</sub> en Europe, le potentiel de stockage en France est encore largement inexploré. Isabelle Czernichowski-Lauriol indique que la France, avec ses trois principaux bassins géologiques — le Bassin parisien, le Bassin aquitain et le Bassin du Sud-Est —, offre un potentiel significatif pour le développement de ces technologies. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer leur potentiel. Elle insiste sur l'importance de développer des capacités de stockage locales pour renforcer la souveraineté énergétique et favoriser le stockage domestique du CO<sub>2</sub> plutôt que son exportation.

Quant à la sécurité, Isabelle Czernichowski-Lauriol rassure en mentionnant que les risques associés au stockage géologique du CO<sub>2</sub> sont généralement faibles, avec des fuites potentielles limitées et localisées. Elle souligne cependant l'importance d'une mise en œuvre responsable et contrôlée du CCS pour éviter les impacts environnementaux indésirables.

## Technologies émergentes : Défis et potentiel du captage direct de l'air

Dans le contexte actuel, les efforts se multiplient pour explorer les méthodes visant à éliminer les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Parmi ces méthodes, la capture directe de l'air ("Direct Air Capture" ou "DAC" en anglais) suscite un intérêt croissant. Cette technologie repose sur des procédés complexes impliquant des matériaux et des réactions chimiques spécifiques. Les installations de DAC utilisent des ventilateurs puissants qui aspirent l'air ambiant à travers des filtres spécialisés capables de piéger le CO<sub>2</sub>. Une fois chargés en CO<sub>2</sub>, ces matériaux doivent être soit stockés pour la séquestration carbone, soit chauffés intensément pour libérer le CO<sub>2</sub> capturé.

Grégory Nocton, chercheur au CNRS, souligne que même si la DAC offre une perspective encourageante, la priorité reste la réduction des émissions initiales. Il souligne que le volume considérable de CO<sub>2</sub> émis chaque année dépasse largement les

capacités de séquestration disponibles. Par conséquent, les approches visant à éliminer le CO<sub>2</sub> devraient être considérées comme des compléments aux stratégies de réduction des émissions, et non comme des alternatives.

Les estimations concernant les coûts de captage du CO<sub>2</sub> ne font pas l'objet d'un consensus. Grégory Nocton a proposé des estimations basées sur des données de l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) et de la Société Américaine de Physique (APS), situant ces coûts entre 300 et 500 dollars par tonne de CO<sub>2</sub> captée. En contraste, David Keith, professeur à Harvard et fondateur de la société Carbon Engineering, évalue les coûts de son projet Stratos entre 100 et 250 dollars par tonne. Il est important de noter que ces chiffres se basent sur des projections financières sur la base de projets dont la construction démarrera dans les prochaines années. Ces projections suscitent donc des interrogations et méritent d'être validées par l'expérience pour être pleinement évaluées. À ce titre, Grégory Nocton souligne que le seuil de 100 dollars par tonne est souvent présenté comme une condition de viabilité économique pour la DAC, ce qui peut inciter les acteurs du secteur à communiquer stratégiquement des chiffres en accord avec cette cible. Il faudra donc attendre plusieurs années après la mise en service des infrastructures pour vérifier si ces coûts se confirment en conditions réelles, notamment en tenant compte des évolutions du prix de l'énergie et des matières premières.

Grégory Nocton a mis l'accent sur l'importance du choix de la source d'énergie dans l'utilisation de ces technologies. Il a illustré son point en présentant une analyse de cycle de vie, démontrant en quoi le choix de l'énergie influence directement l'efficacité de la séquestration. Il note que l'utilisation d'énergies bas-carbone est le seul moyen de garantir que la DAC contribue effectivement à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> atmosphérique. Toutefois, une critique mérite d'être soulevée concernant l'intensité énergétique de ces technologies. Le besoin croissant en énergie bas-carbone pour alimenter la DAC pourrait entrer en concurrence avec d'autres usages prioritaires dans le cadre de la transition énergétique globale. Cette concurrence pour les ressources énergétiques nécessite une réflexion approfondie sur la gestion optimale de nos capacités énergétiques, afin de ne pas compromettre les objectifs plus larges de réduction des émissions.

En plus de la source d'énergie, la sélection des matériaux joue un rôle clé dans l'efficacité du captage direct de l'air. On distingue principalement deux types de matériaux dans cette technologie: les solvants liquides et les sorbants solides. Grégory Nocton explique que les solvants, tels que la potasse diluée dans de l'eau, réagissent avec le CO<sub>2</sub> pour former des carbonates solubles, un processus similaire à des réactions naturelles, mais accéléré artificiellement. Cette méthode, bien que très sélective et efficace pour piéger le CO<sub>2</sub>, nécessite une régénération à haute température, jusqu'à 900 degrés, pour récupérer le CO<sub>2</sub> et la chaux, ce qui pose des défis en termes de consommation énergétique et d'investissement dans de grandes infrastructures résistantes à la corrosion.

D'un autre côté, les sorbants solides, principalement composés d'amines fixées sur des supports, offrent une alternative moins stable, donc plus facilement régénérable. Cette approche est particulièrement bien adaptée aux installations modulaires de petite taille,

de sorte que le CO<sub>2</sub> capturé peut être utilisé pour des applications directes, par exemple dans les usines de boissons gazeuses ou pour fertiliser le sol dans les serres. Même si cette approche semble plus flexible, plusieurs problèmes sont à prendre en compte, notamment la chute de pression lors du processus de filtration de l'air, nécessitant des développements techniques spécifiques. Et malgré les différences dans les approches technologiques, le coût énergétique total reste similaire.

Nocton souligne également que de nouveaux matériaux, tels que les zéolithes et les MOF (Metal Organic Frameworks), sont en cours d'étude pour leur potentiel dans la capture du CO<sub>2</sub>. Bien que ces matériaux offrent des possibilités intéressantes en termes de sélectivité et de modularité, leur efficacité en conditions réelles doit encore être confirmée.

Nocton aborde ensuite les différentes utilisations potentielles du CO<sub>2</sub> capturé. Il évoque des options telles que l'enfouissement géologique, la transformation chimique en produits commercialisables comme le gaz de synthèse, et l'exploitation dans la photochimie pour la production de biomasse. Il souligne que nombre de ces techniques restent au stade de la recherche et développement, confrontées à divers niveaux de maturité technologique et à d'importants obstacles. De plus, l'utilisation du CO<sub>2</sub> capturé pour des applications comme les boissons gazeuses ou les carburants entraîne sa réémission dans l'atmosphère. Cette possibilité remet en question l'efficacité de ces initiatives et souligne la nécessité d'évaluer minutieusement quelle proportion de ces projets contribue réellement à une séquestration durable du carbone.

En conclusion, Nocton met en avant que, malgré une augmentation du nombre de projets DAC, il est important de rester vigilant face aux effets rebonds potentiels. Il insiste sur la nécessité de surveiller de près l'impact environnemental global de ces technologies, notamment en ce qui concerne la demande énergétique et l'utilisation des ressources.

# Miser sur les puits de carbone technologiques pour le climat ?

Les « puits » technologiques suscitent à la fois un intérêt et des interrogations quant à leur déploiement optimal dans différents secteurs. Suite aux présentations des chercheurs, une table ronde animée a permis un échange avec des experts de l'industrie et des décideurs politiques. L'objectif était d'explorer les défis et les opportunités tout en examinant le contexte politique entourant l'application de ces technologies.

## Quels sont les secteurs à privilégier ?

[Jean-Luc Reboul](#), CTO chez ArcelorMittal Europe, souligne l'importance de cette technologie dans les industries fortement émettrices de CO<sub>2</sub>, comme celles du ciment. Il indique que le processus de production de ciment libère inévitablement du CO<sub>2</sub>, catégorisant ces émissions comme « fatales ». Reboul relève également que des industries connexes, telles que la sidérurgie, sont confrontées à des défis similaires et que les solutions alternatives comme l'hydrogène, bien que prometteuses, ne parviennent pas à éliminer complètement ces émissions et restent coûteuses et gourmandes en énergie.

[Dominique Copin](#), ex-conseiller climatique chez Total Energies, mise sur un volume d'émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 10 milliards de tonnes par an sans solution de capture adéquate. Il souligne l'importance du CCS pour traiter ce qu'il appelle les « émissions orphelines », provenant de secteurs tels que l'aviation, où les alternatives bas-carbone ne sont pas encore viables à court terme.

[Julien Viau](#), Chef de bureau de la DGEC, complète cet échange en évoquant les limites pratiques des solutions de substitution, telles que la production de ciment sans clinker. Selon lui, ces alternatives peinent à être réalisées à court terme. Viau estime que le CCS appliqué aux installations existantes pourrait représenter une stratégie efficace pour une réduction rapide des émissions, soulignant ainsi une approche pragmatique et immédiate face aux défis climatiques. Il attire toutefois l'attention sur les défis potentiels, notamment la dépendance continue aux énergies fossiles et au stockage international du CO<sub>2</sub>. En effet, le CCS pourrait justifier la continuation de l'exploitation et de la combustion des énergies fossiles, retardant ainsi la transition nécessaire vers des énergies bas carbone. D'autre part, le stockage international du CO<sub>2</sub> présente des défis géopolitiques et logistiques, étant donné que les capacités géologiques nécessaires pour un stockage sécurisé ne sont pas disponibles dans tous les pays. Cette situation

nécessite une coordination et des accords internationaux transfrontaliers, ce qui peut complexifier la gestion réglementaire et politique.

Dans ce contexte, Dominique Copin explique comment le CCS est une opportunité particulière pour le secteur de l'électricité. Il présente l'idée d'une « symbiose » où l'association du CCS avec les énergies fossiles pourrait faciliter une transition énergétique plus douce et moins perturbatrice pour le réseau électrique. Selon lui, il convient de penser le système de production d'électricité bas carbone de manière globale et non dans une perspective de compétition entre les modes de production. La production d'électricité à partir d'énergies fossiles et CCS pourrait être dans une situation de complémentarité, voire de synergie que de compétition avec les autres solutions bas carbone. Ainsi, elle contribuerait à une diminution graduelle mais continue de la dépendance aux combustibles fossiles.

Par ailleurs, Jean-Luc Reboul souligne la valeur de concentrer les ressources en ingénierie sur les processus industriels, où les émissions sont les plus concentrées, afin de maximiser l'efficacité des solutions comme le CCS. Selon lui, cela pourrait permettre des réductions rapides et significatives, essentielles pour atteindre les objectifs de 2050, tout en s'appuyant sur la diversité des solutions énergétiques disponibles pour garantir la stabilité du réseau.

## Défis du déploiement à grande échelle du CCS

Pour que le CCS puisse être déployé à grande échelle, plusieurs défis importants doivent être relevés. Julien Viau aborde ces obstacles principalement sous l'angle économique, en soulignant les coûts de construction et les besoins énergétiques qui influencent les décisions des industriels. De son côté, Jean-Luc Reboul aborde les aspects techniques, en mettant l'accent sur la nécessité d'optimiser et de coordonner les différentes sources de chaleur et le processus de captage, ainsi que le développement nécessaire d'infrastructures intégrées pour maximiser ces synergies. Dominique Copin, quant à lui, propose une perspective quantitative en estimant que la capture d'une tonne de CO<sub>2</sub> nécessite 3 gigajoules d'énergie. Pour un objectif de 10 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> capturées annuellement, il obtient l'équivalent d'une augmentation de 5 % des besoins énergétiques mondiaux, soulevant ainsi des questions sur l'impact énergétique global du CCS.

La discussion des différents défis économiques, techniques et énergétiques liés au déploiement à grande échelle du CCS met en lumière la complexité inhérente à sa mise en œuvre. Ces enjeux imposent aux industries de prendre des décisions cruciales tant sur le plan économique que technique, nécessitant une approche stratégique et intégrée pour assurer le développement futur de cette technologie.



Malgré ces défis, Jean-Luc Rebol présente une perspective optimiste, dans le contexte du déploiement à grande échelle, soulignant la maturité des technologies de captage post-combustion et leur adaptabilité aux environnements industriels variés. Toutefois, il évoque le risque d'une pénurie future d'ingénierie, nécessaire à l'expansion rapide du CCS. De son côté, Dominique Copin compare les défis du CCS à ceux de l'industrie pétrolière et gazière, en mettant l'accent sur les obstacles à surmonter pour établir une industrie de cette envergure dans un délai très court. Il soulève également des incertitudes concernant la capacité mondiale de stockage du CO<sub>2</sub>. Julien Viau appuie ce point en évoquant les récentes initiatives politiques européennes, notamment la loi "NetZero Industrial Act", qui impose aux producteurs d'hydrocarbures de développer des capacités de stockage de CO<sub>2</sub>, illustrant l'importance des mécanismes économiques et politiques pour harmoniser le développement industriel du CCS en Europe.

## Perspectives sur la transition vers le net zéro

Les intervenants expriment des points de vue différents mais complémentaires quant à la question des objectifs fixés dans la transition vers le net zéro. Dominique Copin souligne le rôle crucial du CCS dans la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, exprimant un scepticisme quant à la réussite d'une transition énergétique sans son développement. Il se montre optimiste quant aux évolutions politiques récentes, notamment en Europe, où la pression exercée sur les compagnies pétrolières pour investir dans le CCS est perçue comme un signe positif. De son côté, Jean-Luc Rebol partage cet optimisme, notant un changement de dynamique en Europe avec la suppression progressive des quotas d'allocation, forçant les industriels à trouver des solutions pour réduire le CO<sub>2</sub>, parmi lesquelles le CCS est mentionné comme une option viable. Il souligne les progrès dans le développement de projets CCS, avec l'engagement financier de l'Europe et la concrétisation de plusieurs initiatives, marquant un véritable décollage du secteur selon lui. Quant à Julien Viau, il appuie également l'utilité de la suppression prochaine des quotas gratuits pour plusieurs secteurs industriels. Les panélistes s'accordent sur le fait que les objectifs climatiques, notamment ceux de neutralité carbone, ne pourront être atteints sans le développement du CCS, en soulignant que les récentes évolutions politiques et industrielles représentent des avancées dans cette direction. À noter que ces développements dépendent fortement de la continuité des politiques et de la capacité des industries à surmonter les défis techniques et économiques importants, ce qui rend nécessaire une vigilance et une adaptation constantes dans la mise en œuvre de ces technologies.

En réponse aux préoccupations concernant la capacité de l'industrie à adopter des solutions durables plutôt que de continuer à utiliser des énergies fossiles avec le support du CCS, Julien Viau reconnaît l'existence d'un risque de dépendance persistante aux énergies fossiles. Cependant, il présente des exemples contraires montrant un changement de cap. Il prend l'exemple de la SNBC2 qui n'envisageait pas la fermeture des hauts fourneaux en France et prévoyait l'utilisation du CCS jusqu'en 2050. Il note

que cela n'a pas empêché certains acteurs industriels, particulièrement dans le secteur de l'acier, de privilégier des alternatives réduisant la nécessité du CCS. Il soulève également une question connexe, l'obsolescence potentielle des investissements dans le CCS dans des secteurs comme le ciment, avec l'apparition de technologies à bas carbone plus abordables. Selon lui, cette situation crée un dilemme complexe, tant sur le plan politique qu'industriel.

De son côté, Jean-Luc Reboul insiste sur l'urgence de la décarbonation et estime que chaque tonne de CO<sub>2</sub> capturée et stockée représente une contribution cruciale. Il met en garde contre le risque de perdre un temps précieux en attendant des alternatives technologiques qui pourraient ne jamais se concrétiser.

# Émissions, capture et stockage de CO<sub>2</sub> : quels arbitrages pour les décideurs ?

Suite aux interventions de chercheurs, d'experts de l'industrie et de décideurs politiques sur les différents types de puits - naturels et technologiques -, leur potentiel et leurs limites, et les défis associés à la mise en œuvre d'actions visant à maximiser leur potentiel, une table ronde animée a exploré les stratégies d'intégration de ces puits dans les politiques nationales et internationales. Les panélistes ont abordé des questions telles que les objectifs réalistes, les arbitrages gouvernementaux prioritaires et la place des puits dans les stratégies de neutralité carbone d'ici 2050, ainsi que la réception internationale des politiques de puits de carbone et leur alignement avec les objectifs du GIEC.

## Panorama de la place des puits dans la stratégie française

[Joseph Hajjar](#), Directeur de programme au SGPE, a dressé un panorama de la place des puits dans la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), rappelant d'abord que, conformément aux objectifs législatifs de 2019, la France s'est engagée à équilibrer les 80 millions de tonnes d'émissions résiduelles de CO<sub>2</sub>eq, principalement issues des secteurs industriel et agricole, avec une quantité équivalente de puits de carbone d'ici 2050. À l'origine, ces puits étaient estimés à 65 millions de tonnes provenant de sources naturelles et à 15 millions de tonnes de solutions technologiques.

Dans cette perspective, les puits forestiers étaient évalués à 35 millions de tonnes, mais les évaluations récentes montrent une diminution significative, avec une réduction de moitié de leur capacité au cours des dernières années. Les projections pour l'utilisation des produits bois, initialement envisagées pour absorber entre 15 et 20 millions de tonnes, devront aussi être révisées à la baisse en raison de contraintes économiques.

En ce qui concerne les sols, notamment les prairies, Joseph Hajjar estime qu'il y aura peu de changements, avec un objectif maintenu de zéro émission nette d'ici 2050. À propos des technologies de capture, il souligne que les 15 millions de tonnes se répartissent en deux catégories : 5 millions de tonnes d'émissions industrielles de CO<sub>2</sub>

de CCS et 10 millions de tonnes issues du BECCS, utilisant du CO<sub>2</sub> biogénique pour générer des émissions négatives.

La révision en cours pour la SNBC3 ajustera, précise Joseph Hajjar, à la baisse ces chiffres, en particulier pour les puits forestiers et les produits bois, tout en maintenant le cap concernant les puits technologiques. Cette démarche s'appuie sur la conviction que la décarbonation des principales consommations énergétiques limitera les flux résiduels de carbone de l'industrie et du secteur énergétique. Envisageant l'avenir, Joseph Hajjar a également évoqué l'utilisation du carbone capturé pour la production de e-fuels, nécessaires pour l'aviation, et d'autres applications où le DAC pourrait jouer un rôle crucial.

Interrogé sur la perception des acteurs concernés (forestiers, agriculteurs, industriels) quant à la fiabilité des chiffres de puits inscrits dans la SNBC, Hajjar précise que l'ensemble des parties prenantes, y compris les associations et think-tanks, sont désormais bien familiarisés avec ces exercices prospectifs et les enjeux stratégiques et politiques qui en découlent. Il rappelle que la SNBC en est à sa troisième révision, chaque édition intégrant de nouvelles données, objectifs et ajustements pour affiner les trajectoires de réduction des émissions. Ces révisions successives reflètent l'évolution des connaissances scientifiques et des priorités politiques. Joseph Hajjar insiste sur la nécessité d'envisager des actions concrètes à des échéances proches, telles que 2030, en mettant l'accent sur les nouveaux objectifs LULUCF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie), fixés dans le cadre du règlement européen sur le climat. Ces objectifs obligent les États membres à renforcer les puits de carbone pour respecter les engagements de neutralité carbone du Green Deal. Il reconnaît que l'atteinte de ces objectifs reste incertaine, notamment en raison des fragilités des puits forestiers, mais souligne l'urgence d'adopter dès maintenant des orientations stratégiques pour y parvenir.

## Recommandations de recherche sur les puits de carbone

Concernant les recommandations de recherche sur les puits de carbone, [Daphné Lorne](#), responsable de projets à l'IFPEN, décrit [le projet mené en 2020](#), qui avait pour objectif principal de coordonner la recherche en réunissant des expertises transverses sur différents aspects des puits de carbone. Elle explique que le rapport issu de ce projet avait un objectif pédagogique, visant à clarifier la notion de puits de carbone et les solutions associées, afin de les rendre accessibles au plus grand nombre. Par la suite, ce rapport a été utilisé pour éclairer les priorités de recherche destinées aux chercheurs et aux agences de financement.

Lorne explique que plutôt que de se concentrer sur les chiffres dans le détail, l'accent a été mis sur l'identification des solutions et des obstacles, avec des exemples concrets tels que la photosynthèse en milieu urbain. Leur objectif était de mettre en évidence les

défis et les actions de recherche qui pourraient les surmonter à court terme. Enfin, malgré les différentes approches, Lorne souligne qu'ils ont veillé à ce que chaque recommandation soit étayée par une base solide de recherche, afin de cibler efficacement les actions nécessaires pour développer les puits de carbone.

## Perspectives internationales sur les puits de carbone

Interrogée sur la convergence des discours des pays concernant les puits de carbone face à l'urgence climatique, [Alexandra Deprez](#), chercheuse à l'IDDRI, partage une perspective inquiétante basée sur une étude récente intitulée «[Land Gap Report](#) ». Ce rapport, publié avant la COP 27, analyse les projections des pays ainsi que leurs promesses en matière de climat dans le cadre de l'Accord de Paris. Il met en lumière une projection alarmante selon laquelle les pays envisagent d'utiliser 12 millions de kilomètres carrés pour des puits de carbone d'ici 2060, soit trois fois la superficie de l'Europe. Bien que certaines de ces initiatives puissent favoriser la biodiversité, comme l'agroforesterie et la restauration des écosystèmes, Deprez précise que la taille envisagée suscite des interrogations quant à sa faisabilité.

Se référant à [son article récent](#) sur les limites de durabilité des puits de carbone, qui identifie les défis posés par la forestation, la reforestation et le BECCS à l'échelle mondiale, en tenant compte de la crise climatique et de la crise de la biodiversité, Deprez exprime des inquiétudes quant à la surdépendance actuelle des pays aux puits de carbone. Elle souligne que cela pourrait devenir une distraction par rapport à l'objectif de réduction des émissions. Dans cette perspective globale, elle s'interroge sur la capacité réelle des initiatives relatives aux puits de carbone à répondre efficacement à l'urgence climatique.

Elle met en lumière les différentes catégories de scénarios du GIEC, qui proposent des niveaux variables d'élimination de CO<sub>2</sub>. Certains de ces scénarios parviennent à limiter le réchauffement à 1,5 degré sans dépasser temporairement ce seuil, un dépassement connu sous le nom d' "overshoot". Ce terme désigne une situation où les températures excèdent brièvement l'objectif fixé avant de redescendre, grâce à des mesures de réduction des émissions et de captage du carbone. Cependant, elle souligne que de nombreux scénarios actuels utilisent des niveaux d'élimination de CO<sub>2</sub> considérés comme non durables et peu réalistes. Elle explique que ces solutions pourraient rencontrer de nombreuses oppositions en raison de contraintes socio-économiques, de la sécurité alimentaire et de la protection de la biodiversité.

Elle insiste également sur le besoin de recherches supplémentaires, notamment sur les technologies de DAC, et recommande que le Groupe 3 du GIEC se concentre sur l'examen des limites de durabilité de ces solutions, car les estimations actuelles ne prennent souvent pas en compte les défis de mise en œuvre sur le terrain. Deprez préconise également de déterminer un budget de soutenabilité pour cette technologie.

Elle souligne l'importance de s'interroger sur l'allocation de ces ressources, mettant en garde contre une utilisation inefficace, voire contre-productive, des fonds publics, comme le subventionnement des industries fossiles.

## Réduire ou absorber ? Objectifs séparés

Interrogé sur la proposition de certains chercheurs de dissocier les objectifs de réduction des émissions de ceux liés à l'augmentation des puits de carbone, en établissant des cibles distinctes pour chaque domaine, Joseph Hajjar clarifie que la réglementation actuelle, tant au niveau national qu'europpéen, distingue déjà entre les émissions brutes et nettes, avec des objectifs quantifiés pour chaque secteur. Cependant, il reconnaît que certaines communications politiques ou macroéconomiques ne reflètent pas toujours clairement cette distinction, notamment dans certaines organisations.

Alexandra Deprez complète en soulignant l'importance d'une transparence accrue au niveau international concernant les plans climatiques des pays. Elle insiste sur le besoin de clarifier les objectifs en matière d'émissions résiduelles et de séquestration par les puits de carbone, notamment en ce qui concerne les questions d'équité entre les pays développés et en développement. Cette transparence est essentielle pour aborder les implications socio-économiques et environnementales de l'utilisation des puits de carbone à l'échelle mondiale.

### ***Les limites physiques et financières au déploiement des puits de carbone***

Lors de la discussion sur les limites physiques et financières pour augmenter les puits de carbone, Joseph Hajjar a insisté sur l'importance de ne pas évaluer chaque élément de manière isolée. Il a expliqué que si l'on considérait chaque ressource séparément, comme l'utilisation de toute la biomasse disponible pour les biocarburants, il serait théoriquement possible d'alimenter l'ensemble du secteur aérien. Cependant, cette approche néglige les autres contraintes et besoins. Il a précisé que l'approche SGPE examine l'économie française dans son ensemble, en tenant compte des contraintes énergétiques, de biomasse, de surface et de matériaux. Pour 2050, un équilibre est recherché en combinant l'utilisation résiduelle de carbone fossile et biologique, afin de proposer un scénario de référence réaliste, régulièrement mis à jour pour refléter les progrès et ajustements nécessaires. Hajjar a également expliqué que les hypothèses de ce scénario sont conçues pour rester dans des limites raisonnables, citant par exemple l'objectif de captage et de stockage de 15 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, un chiffre modeste comparé à d'autres stratégies internationales.

Daphné Lorne a renforcé ce point de vue, soulignant qu'il n'existe pas de solution unique pour la capture de CO<sub>2</sub>, chaque option présentant ses propres limites et avantages. Elle a insisté sur la nécessité d'explorer toutes les options disponibles et de tirer profit de chacune au fur et à mesure de leur déploiement. Elle a également souligné l'importance des outils et des démonstrateurs pour mieux comprendre les technologies moins connues, permettant ainsi d'ajuster les trajectoires et les visions stratégiques en fonction

des nouvelles informations et connaissances acquises, suivant le processus de révision de la SNBC.

# Conclusion :

La deuxième édition des Rencontres Académiques sur la thématique des puits de carbone, organisée par The Shift Project, a mis en lumière la complexité et l'importance des efforts nécessaires pour intégrer efficacement les puits naturels et technologiques dans notre stratégie de transition. Les discussions ont porté sur un large éventail de sujets, allant de l'efficacité des puits existants aux dernières méthodes visant à augmenter la capacité de captage et de stockage, tout en soulignant les défis politiques, économiques et environnementaux qui y sont associés.

Les résultats montrent que le défi ne se limite pas à la conservation ou à l'augmentation des niveaux de captage des puits de carbone ou de stockage de carbone stocké, mais concerne également l'équilibre de leurs interactions avec les objectifs en matière de biodiversité et les exigences économiques.

La mise en œuvre des stratégies de puits de carbone doit être menée avec prudence pour éviter des effets néfastes sur les écosystèmes et pour s'assurer que ces efforts complètent plutôt que remplacent les réductions directes des émissions de gaz à effet de serre. L'ensemble des intervenants a convergé sur l'importance de ne pas considérer les puits de carbone comme une solution miracle, mais plutôt comme les composants d'une stratégie globale plus vaste incluant impérativement la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La performance de ces puits, qu'ils soient naturels ou technologiques, est entravée par des limites physiques, financières et technologiques, et leur gestion requiert une approche intégrée et multidisciplinaire. Les stratégies futures doivent être flexibles et s'adapter aux avancées scientifiques et aux retours d'expériences des projets en cours.

L'engagement vers des solutions basées sur la nature et la technologie doit être guidé par des recherches approfondies et des évaluations rigoureuses de l'impact environnemental. Il est impératif que ces initiatives soient développées en harmonie avec la préservation de la biodiversité et la protection des écosystèmes naturels, qui sont eux-mêmes des acteurs cruciaux de la régulation du climat et du cycle du carbone.

Alors que nous naviguons dans cette ère de défis climatiques, la collaboration interdisciplinaire et une gouvernance clairvoyante sont indispensables. Il est crucial que les décideurs et les chercheurs travaillent de concert pour optimiser l'utilisation des puits de carbone, tout en accélérant les efforts de réduction des émissions, pour avancer résolument vers un avenir durable et neutre en carbone. L'heure est à l'action coordonnée et à l'optimisme prudent, guidés par la science et au service du climat.



**The Shift Project** est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Le développement exponentiel du numérique, et la façon dont ce développement peut interagir avec les objectifs de décarbonation de nos sociétés, constitue l'un des angles essentiels des enjeux de la transition carbone.

Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

## Contact:

**Zeynep Kahraman**

Responsable monde académique et recherche

+33 (0) 6 13 06 57 65

[zeynep.kahraman@theshiftproject.org](mailto:zeynep.kahraman@theshiftproject.org)



43 rue de Liège, 75008 Paris

[contact@theshiftproject.org](mailto:contact@theshiftproject.org)

[www.theshiftproject.org](http://www.theshiftproject.org)