

Les puits de carbone

Quels rôles de la recherche pour accélérer leur développement en France ?

En vue d'éliminer le CO₂ de l'atmosphère, les puits de carbone sont une solution aujourd'hui envisagée comme incontournable. L'augmentation mais aussi la préservation des puits de carbone et, dans certains cas, leur restauration, sont des enjeux prioritaires. A partir d'une étude d'un groupe d'experts de l'alliance ANCRE, 6 grandes catégories de solutions puits de carbone ont été identifiées pour le contexte français : trois catégories de solutions de captage naturel du CO₂ dans des milieux plus ou moins anthropisés, et trois catégories de solutions intégrant des développements technologiques. L'état des lieux, les enjeux, les verrous et les recommandations de recherche pour chacune des solutions ont été mis en évidence dans 7 fiches de synthèse.

Fiche 1.

Le stockage du carbone dans la biomasse et les sols agricoles et forestiers

Fiche 2.

Le stockage du carbone dans la biomasse et les sols en milieux urbains et anthropisés

Fiche 3.

Le stockage du carbone dans les milieux aquatiques et par l'altération des roches

► Fiche 4.

Les solutions technologiques de captage de CO₂ d'origine atmosphérique en vue d'un stockage géologique

Fiche 5.

Stockage de CO₂ dans les matériaux via la minéralisation

Fiche 5bis.

Captage et stockage de CO₂ biogénique dans les matériaux biosourcés

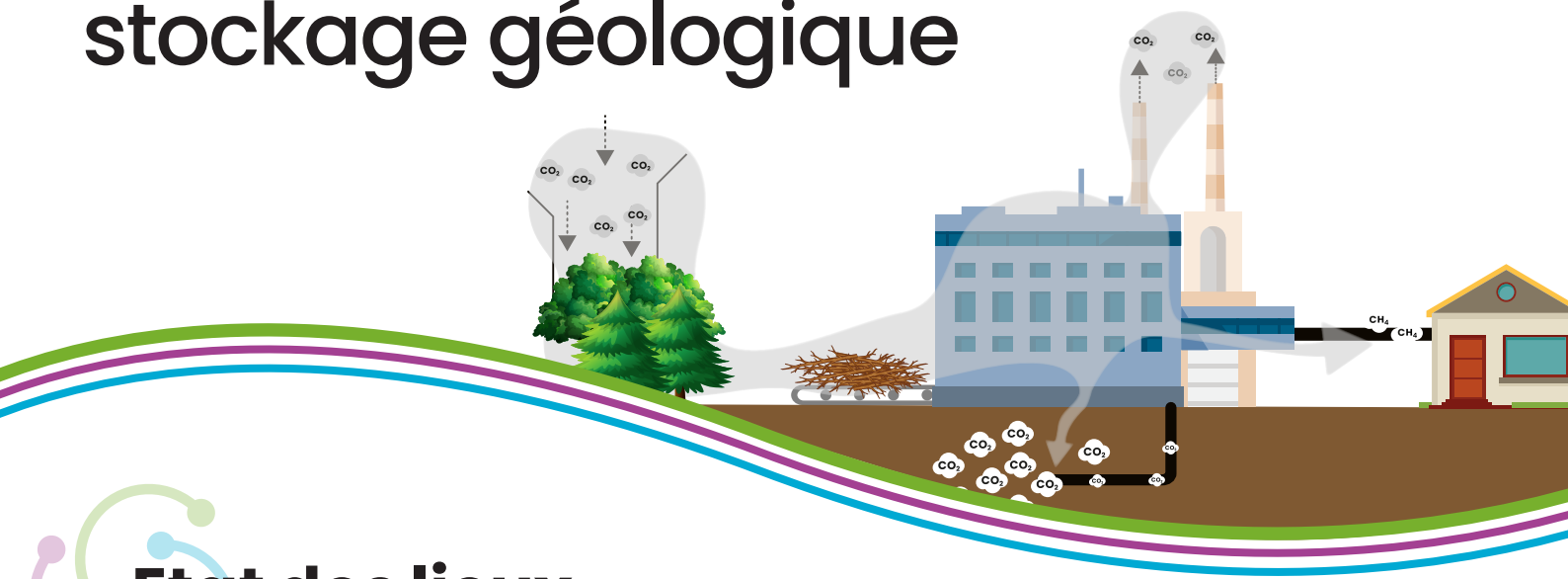
Fiche 6.

Les solutions technologiques de captage de carbone recyclé, réusages et stockage long terme

Le rapport complet et l'ensemble des fiches de synthèse sont disponibles sur :

<https://www.allianceenergie.fr/etudes-et-rapports/>

Les solutions technologiques de captage de CO₂ d'origine atmosphérique en vue d'un stockage géologique



Etat des lieux

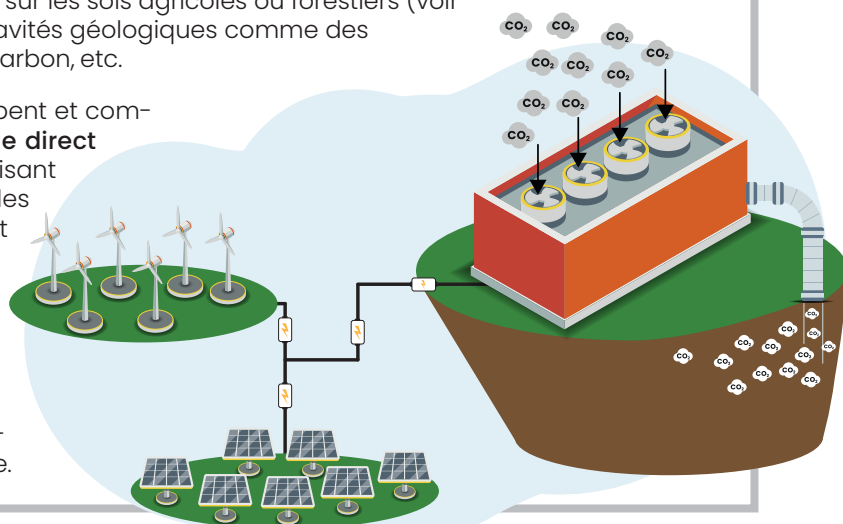
Des technologies de captage et stockage du CO₂ permettent, non seulement de réduire les émissions de CO₂, mais aussi de réduire le CO₂ présent dans l'atmosphère (c'est-à-dire de réaliser des émissions négatives) via notamment :

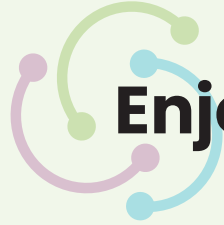
- Les bioénergies avec capture et stockage du carbone (BECCS) où l'on capte le CO₂ émis par un procédé de combustion utilisant de la biomasse comme combustible ou des procédés industriels alimentés par de la biomasse et où l'on stocke le CO₂ dans le sous-sol ;
- Le captage direct de l'air (DAC) qui consiste à capter directement du CO₂ déjà présent dans l'atmosphère et, in fine, le stocker durablement dans le sous-sol.

La bioénergie avec captage et stockage du CO₂ (BECCS) est la plus mature des technologies d'élimination du carbone de l'atmosphère, dans la mesure où à la fois la bioénergie et le CCS ont fait leurs preuves séparément à l'échelle commerciale. Le principe est le captage et stockage d'un CO₂ biogénique émis par une combustion de la biomasse ou des procédés industriels alimentés par de la biomasse. Plusieurs installations sont en opération dans le monde, la plupart associées à la fermentation pour la production d'éthanol.

Une variante aux BECCS consiste en la récupération de carbone solide sous forme de biochar coproduit par le procédé de pyrolyse de la biomasse pour la production d'énergie (chaleur, électricité, carburant) et de composés chimiques (cf. par exemple Lambiotte à Prémery). Le biochar est un concentré de carbone biogénique pouvant être épandu sur les sols agricoles ou forestiers (voir fiche n°1) ou encore stocké dans des cavités géologiques comme des carrières, anciennes mines de sel, de charbon, etc.

Par ailleurs, plusieurs sociétés développent et commercialisent des procédés de **captage direct du CO₂** de l'atmosphère, la plupart utilisant des procédés de captage basés sur des sorbants solides. Ces installations sont encore au stade de pilotes, la plus importante pouvant capter quelques centaines à 4 000 tonnes de CO₂/an. L'intérêt du captage direct du CO₂ réside dans la possibilité d'installer le système de captage proche de la zone de stockage et/ou d'une production d'énergie décarbonée abondante et peu chère.





Enjeux

Les enjeux pour la **bioénergie avec captage et stockage du CO₂** portent :

- 1 - sur l'adaptation des technologies de captage aux différents niveaux de concentration du CO₂ biogénique issus des unités bioénergies ;
- 2 - sur la mise à l'échelle de certaines technologies de conversion de la biomasse non encore démontrées à l'échelle commerciale (conversion hydrothermale, biocarburants à partir de microalgues, etc.) ainsi que
- 3 - la faisabilité technico-économique de l'ensemble du système BECCS ;

Ces différents enjeux devront s'accompagner de la maîtrise des différents flux de carbone tout au long du cycle de vie du système de façon à assurer un bilan négatif des émissions.

Le principal enjeu pour le **captage direct dans l'air** réside dans la réduction de la pénalité énergétique des procédés et de son coût de mise en œuvre, la concentration du CO₂ dans l'air (0,04%) étant environ 300 fois plus faible que dans les fumées.



Verrous

Parmi les verrous à aborder en priorité, on citera, pour la bioénergie avec captage et stockage du carbone ou du CO₂ :

LA STRUCTURATION DE LA FILIÈRE

de mobilisation des ressources biomasses pour pouvoir monter en capacité,

LE DÉVELOPPEMENT D'EQUIPEMENTS

de combustion flexibles et adaptés à la variabilité de la biomasse et aux besoins en chaleur sur site

LE DÉVELOPPEMENT DE PROCÉDÉS DE CAPTAGE DE CO₂

adaptés aux contraintes des émissions en termes de composition et de débit des fumées

L'INTÉGRATION DE LA SÉPARATION DU CO₂

aux procédés de gazéification et de pyrolyse.

Pour le captage direct dans l'air :

LA MONTÉE EN ÉCHELLE

en intégrant l'impact sur les ressources énergétiques et sur les matériaux nécessaires,

L'INTENSIFICATION DES PROCÉDÉS,

et l'optimisation énergétique et la disponibilité de sources d'énergies décarbonées,

LA MISE AU POINT DE MEDIA

de séparation de CO₂ à faible impact environnemental,

LA LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE

des sites de captage en fonction des réglementations carbone et des disponibilités des énergies renouvelables.

Le principe d'émissions négatives nécessite un stockage long-terme du CO₂ d'origine atmosphérique sous différentes formes (de gaz en réservoirs souterrains, solide en sols superficiels ou sous forme de matériaux, etc.). Les verrous du stockage du CO₂ dans des formations géologiques sont ceux de la filière CCS :

LA PERCEPTION SOCIÉTALE

de l'usage du sous-sol pour stocker du CO₂,

LA DISPONIBILITE DES INFRASTRUCTURES DE STOCKAGE

dans un temps compatible avec les besoins d'injection de CO₂ des projets en cours de développement

LE DÉVELOPPEMENT D'APPROCHES D'ÉVALUATION

des impacts, de prévention des risques et des mesures correctives ainsi que des technologies de surveillance long-terme.

Les verrous du stockage long terme du carbone solide présent dans les biochars (issus de la pyrolyse de la biomasse) au sein de bio-mines sont l'étude de la stabilité mécanique et chimique du biochar, les enjeux environnementaux (lixiviation de composés présents dans les biochars par les eaux), et l'ingénierie du stockage (optimiser le rendement en termes de masse de carbone densifié dans le biochar par unité de volume disponible).

Les verrous associés au stockage dans les sols agricoles et forestiers font l'objet de la fiche n°1, les verrous associés au stockage dans les matériaux font l'objet de la fiche n°5.

Recommandations de recherche

Renforcer la recherche et innover

- Améliorer les procédés de captage et épuration du CO₂ pour la conversion thermique et biochimique de biomasse et de déchets, notamment **l'adaptabilité à la variabilité des intrants**. En ce sens il convient de (i) consolider et analyser les bases de données de caractérisation des propriétés de la biomasse (et des fumées de combustion) et (ii) d'identifier les composants ou molécules susceptibles de présenter un risque pour les sites de stockage connus.
- **Réduire la pénalité énergétique** de la chaîne de procédés en améliorant l'intégration énergétique des procédés de captage du CO₂ atmosphérique notamment, ainsi qu'en raisonnant les besoins énergétiques en valorisant la chaleur fatale ou bas-carbone lorsqu'il y a lieu.
- Instruire le développement de procédés de **captage modulaires** pour pouvoir baisser les coûts et permettre la récupération de CO₂ issu d'installations de petites tailles
- Etudier le **stockage de biochars** en cavités souterraines (création de biominas) sur différents aspects interdisciplinaires : (i) l'ingénierie du stockage (optimiser la densité de carbone stockée par unité de volume apparent), (ii) les intérêts socio-économique (les potentiels conflits d'usages/conflit d'usages à l'échelle du pays ou des territoires), (iii) les impacts environnementaux (stabilité du carbone, étude des émissions gazeuses et liquides).

Identifier et quantifier les capacités de stockage adaptées

- Poursuivre l'exploration, la sélection et la caractérisation des **sites de stockage** (réservoirs géologiques profonds, anciennes mines/carrières, ...) sur le territoire français (métropole Dom Tom ; onshore et offshore) ainsi que les disponibilités de capacités de stockage transfrontalières.

Développer des projets démonstrateurs

- Valider les **performances des technologies bioénergies** existantes (centrales biomasses, unités biocarburants) en vue de leur connexion à un système CCS ; mais aussi démontrer des systèmes BECCS innovants sur de nouvelles technologies bioénergies avancées (biojet, biométhane, bioraffineries multiproduits, etc.).
- **Optimiser les solutions logistiques** des différents flux (CO₂, biomasse) : (i) intégrer les réseaux de transports existants en France et des réseaux transfrontaliers (gazoduc, oléoduc, voies maritimes/fluviales, ...) en regard des sites d'émissions, de stockage et d'utilisation ; (ii) définir les besoins de dimensionnement des réseaux de transport en regard des flux de CO₂ et leur saisonnalité.
- Tester la gestion des **flux de CO₂** (captage et transport) **à petite échelle** (dans des lieux potentiellement proches de la biomasse mais éloignés de lieux de stockage).
- Développer des **démonstrateurs intégrés de captage direct dans l'air** adaptés aux conditions locales (accès à une énergie décarbonée, accès à un site de stockage ou une conversion du CO₂...)

Recommandations d'accompagnement

Développer les méthodes d'analyses d'impacts

- Développer les méthodes d'analyse environnementale multicritère (notamment de type Analyse de Cycle de Vie) sur base de bilans matière (dont le carbone) et énergie détaillés (issus des démonstrateurs) permettant (i) d'optimiser les filières (du sol au carbone séquestré en incluant l'ensemble des produits) ; (ii) d'appréhender les conflits d'usage et les impacts potentiels sur l'environnement, l'usage des sols et la biodiversité ; (iii) d'extrapoler un déploiement à grande échelle sur le territoire national.

Développer des stratégies d'engagement

- Déployer des actions de concertation et de co-construction des parties prenantes de la société civile sur les filières et les projets, notamment en vue de communiquer et d'informer sur le principe et les risques du stockage.

Soutenir le lancement de premières industrielles

- qui permettront de lancer la filière, réduire les risques et gagner en compétences.