

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

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

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.

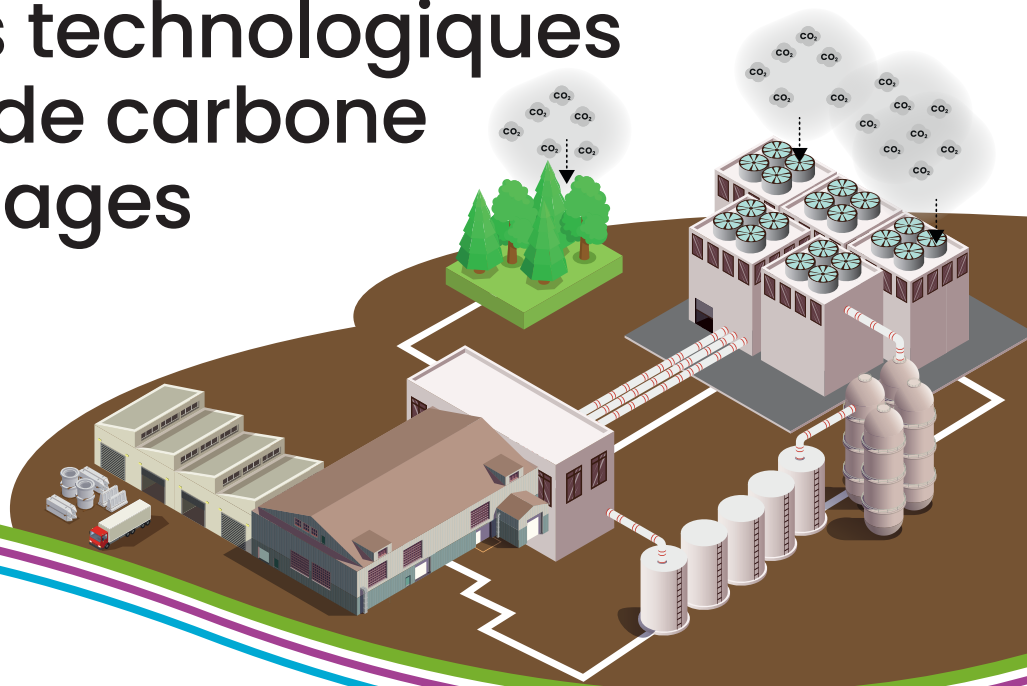
Captage et stockage de CO₂ biogénique dans les matériaux biosourcés

► Fiche 6.

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



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

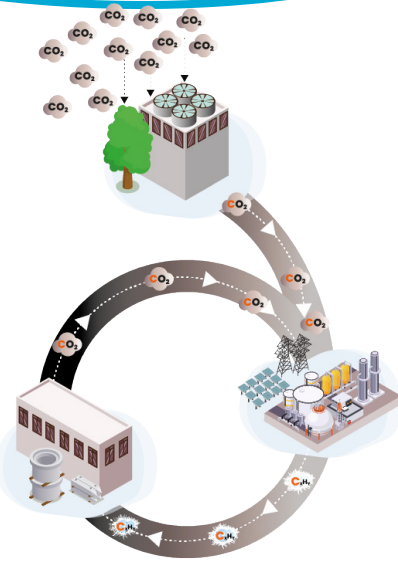


Etat des lieux

Dans l'optique d'une analyse liée à la fonction de puits de carbone, le captage et le recyclage du CO₂ généré par une activité anthropique, peut être classé en différentes catégories, selon les utilisations :

- usage en minéralisation. Le carbone du CO₂ devient constituant d'un matériau et il peut être stocké durablement. Ceci devient un puits de carbone durable si l'origine du CO₂ est atmosphérique (voir fiche 5)
- réusages successifs de CO₂ atmosphérique direct ou après captage en unité bio-énergies/bioraffinerie ou de biomasse direct en matériaux biosourcés (dont les problématiques hors réusages sont traitées dans les fiches 4 et 5bis)
- mise en circuit fermé de carbone industriel concentré biogénique ou atmosphérique dans une ou plusieurs installations industrielles.

Les projets de mise en circuit fermé de CO₂ sont qualifiés de CCU pour Carbon Capture and Usage. Ils mobilisent à l'heure actuelle du CO₂ industriel concentré ou fossile à visée de neutralité carbone. Le stockage du carbone n'est pas alors ce qui motive la synthèse des molécules. Celles-ci sont destinées à fournir avant tout des services industriels et énergétiques sans recourir à une extraction primaire des ressources fossiles. Elles permettent donc la réduction des émissions de CO₂ plus qu'un éventuel puit. Cependant, certains procédés industriels et produits associés pourraient être susceptibles de produire des émissions négatives en introduisant du CO₂ capté d'origine atmosphérique dans une boucle industrielle fermée. La France dispose déjà de projets de recherche et démonstrateurs dans les domaines de la production de combustibles ou de molécules à haute valeur ajoutée potentiellement initiateurs de ce type d'approche, comme JUPITER 1000¹, Methycentre², CIMENTALGUE³, VASCO2³, HYNOVI⁴, REUZE⁴, HYNOVERA⁴, HyCaBioMe⁵. De nombreux autres projets émergent actuellement dans le cadre des programmes soutenus par l'ADEME (ZIBAC) dans les zones de Dunkerque, de Fos sur mer et du Havre, ainsi que via « innovation Fund⁶ » et les IPCEI⁷. Le transport maritime français communique par ailleurs sur une stratégie d'économie circulaire du carbone considérant effectivement l'utilisation du CO₂ en boucle fermée. Dans ce concept, des navires de marchandises pourraient embarquer des infrastructures de captage et de stockage du CO₂ émis par leurs propres cheminées. Le CO₂ issu de la combustion des carburants de ces navires serait donc capté en totalité, stocké sous forme comprimée ou liquéfiée dans le navire qui le déchargerait au port, à destination par exemple de l'usine de carburants de synthèse (qui pourrait approvisionner ces mêmes navires). Via cette filière un volume significatif de carbone serait ainsi séquestré durablement en boucle fermée et pourrait générer des émissions négatives, dans le cas d'une utilisation de CO₂ d'origine biogénique ou atmosphérique. La durée suffisamment longue (plusieurs dizaines d'années) de ce cycle fermé reste la condition indispensable pour attribuer le statut de puits à ces filières.



Vers le développement de filières de valorisation et de réusage du CO₂ pour une séquestration durable

1 / JUPITER 1000, démonstrateur Power to Gas avec capture de CO₂ issu de l'industrie chimique porté par GRTgaz

2/ Methycentre, projet de Méthanation de CO₂ biogénique provenant d'un biogaz, porté par Storengy

3/ CIMENTALGUE et VASCO2, projets de production d'algues à partir de CO₂ industriel, porté respectivement par VICAT et le Port de Marseille

4/HYNOVI, REUZE et HYNOVERA, usines de production de carburants de synthèse à partir d'hydrogène renouvelable et de CO₂ industriel.

5/ HyCaBioMe, projet de conversion H₂ et CO₂ par méthanation biologique

6/ Innovation Fund : programme de financement européen - https://ec.europa.eu/clima/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund_en

7/ "Important Projects of Common European Interest" (IPCEI) : mécanisme européen de promotion de l'innovation - https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/legislation/modernisation/ipcei_en.



Enjeux

La caractérisation d'émissions négatives / puits de carbone ne peut être dissociée de la durée pendant laquelle ce carbone est retiré de l'atmosphère pour en tirer les bénéfices sur le plan du climatique. Une mise en cohérence entre la durabilité d'un puits de carbone et les mécanismes climatiques impactés par la durée de vie du CO₂ dans l'atmosphère apparaît donc nécessaire. Ce point reste délicat à trancher car la littérature ne fait pas ressortir de consensus de durée précise d'après nos recherches. Une échelle de l'ordre de 100 ans est mentionnée, durée autorisant, a priori, une transition de l'humanité vers la neutralité carbone. Faut-il supposer qu'une durée de séquestration équivalente à la durée de résidence d'une molécule de CO₂ dans l'atmosphère après son émission (de l'ordre du millier d'année) est nécessaire pour affirmer qu'un procédé de séquestration de CO₂ dans un produit être qualifiable d'opération ayant induits un de puits de carbone ?

De fait, la qualification d'un procédé ou d'un produit contenant du carbone doit prendre en compte cette temporalité et les conditions éventuelles à entretenir sur la durée à maintenir pour assurer l'effectivité d'un puits de carbone à l'échelle de la problématique. Si un produit dispose d'une vie courte mais peut être recyclé, ces conditions sont par exemple, :

- que le taux de recyclage soit très performant (proche de 100%)
- que ce recyclage soit opéré et garanti sur toute la durée minimale estimée nécessaire pour qualifier cette utilisation du CO₂ comme puits de carbone.

Si la durée de 100 ans est prise comme référence comme durée de séquestration du CO₂ dans les produits issus de CCU, alors les produits chimiques, carburants et polymères ne peuvent représenter des vecteurs favorables à la génération de puits de carbone sauf dans ce cas d'un recyclage très efficace et pérenne dans le temps.

Cela pose donc des questions de **performances des procédés de recyclages** associés aux principes de dispersion ou de collecte de ces produits. Il existe peu, voire pas, d'exemple de produits actuellement recyclés à des taux proches de 100% à des échelles industrielles. Le secteur de l'acier est probablement celui qui atteint les meilleures performances de recyclage sur le plan du procédé mais qui reste toujours dépendant des stratégies amont de collecte.

De même, la condition de garantie d'un recyclage d'un produit pendant une durée de 100 ans constitue un enjeu. Il apparaît difficile de faire le pari que rien au cours du prochain siècle ne saurait rompre ce processus vertueux du recyclage (intérêt économique, produits concurrents, conflit majeur, besoins de valorisation sous une forme de valorisation partielle délaissant la valeur du carbone).

L'enjeu est donc de :

- parvenir à identifier des procédés et/ou des produits issus de la conversion/valorisation du CO₂ susceptibles de générer des puits de carbone sur des durées suffisantes (100 ans au moins).
- mettre au point des systèmes de recyclage/réusage efficaces qui assurent des usages pérennes à iso qualité de service et a un cout abordable.



Verrous

A priori, excepté la minéralisation, il n'existe pas aujourd'hui de procédés de CCU permettant le stockage pérenne et donc la génération d'émissions négatives. Ces procédés ne constituent pas des puits de carbone sur la base des exigences proposées et du service attendu. En compléments des verrous associés aux étapes de captage et stockage évoqués dans les fiches 4 et 5, on peut cependant examiner certains verrous techniques spécifiques comme :

LES VERROUS TECHNICO-ÉCONOMIQUES

associés aux problématiques de la collecte, du tri et du recyclage (consommation d'énergie, rendement), du réusage (nettoyage, maintien des performances produit), que l'on rencontre également dans la problématique des matériaux biosourcés (fiche 5bis),

L'INTÉGRATION DES SYSTÈMES DE CAPTAGE

et de synthèse dans le tissu industriel existant

LA PRODUCTION MASSIVE D'ÉLECTRICITÉ

nécessaire aux procédés de type CCU (captage du CO₂ et conversion à l'aide d'hydrogène décarboné),

L'IDENTIFICATION DE SYSTÈMES DE CAPTAGE INNOVANT

du CO₂ à l'échappement, comme celui émis à l'échappement des véhicules à moteurs thermiques, à l'image de la stratégie évoquée par les navire du transport maritime.

Actions

Avant de mentionner les actions éventuelles, il est important de faire quelques recommandations sur la façon de considérer le CCU. Ces recommandations entrent dans les actions d'accompagnement.

Actions d'accompagnement

- Ne pas systématiquement associer la notion de puits de carbone/émissions négatives aux procédés de CCU avec solution de stockage.
- Les procédés de CCU vers matériaux polymères, molécules chimiques et carburant sont, pour la plupart, des solutions de réduction des émissions de CO₂ ou solution d'évitement, basées sur un recyclage de carbone.

Lorsque le CO₂ est recyclé et valorisé dans des produits à courte durée de vie (carburant, chimie, etc.), les chaînes de production doivent être associées à d'autres filières récupération de tout ou partie du carbone pour envisager la génération de puits (ex : système BECCS décrit dans la fiche 4).



En matière d'actions de recherche, en vue de distinguer les solutions d'évitement et de puits, il est donc important de :

Actions de recherche

- Évaluer les systèmes grâce à des analyses multicritères incluant les aspects techniques, économiques et bilan carbone selon des approches « du puits à la roue ». Ceci nécessite le développement de méthodes. Les évaluations viseront à établir, par des bilans, le service rendu, le gain en matière d'émissions et les contraintes de ces systèmes (liées notamment à la nécessaire production massive d'énergie décarbonée).
- Développer des systèmes de captage efficaces du CO₂, afin d'aboutir à des taux de recyclages élevés. Si ces systèmes existent pour des procédés industriels fixes et centralisés, ils nécessitent du développement et le développement d'une filière de transport ou de captage spécifique du CO₂ pour les systèmes décentralisés (résidentiels) ou mobiles.
- Développer les systèmes de conversion efficaces du CO₂ à différentes échelles, afin de produire des combustibles ou des matériaux.
- Développer l'interconnexion des systèmes de conversion du CO₂ avec les systèmes et lieux de captage. Ceci peut signifier le développement du transport de CO₂ comme matière première et donc le développement d'infrastructures (pipes, réseaux, etc.), par exemple entre la zone de dessoutage de CO₂ à quai et l'infrastructure de production de carburants de synthèse.