

UE 14

Terre et société

Mini-projet

Projet N°7

Janvier 2025

Modélisation technico-économique des solutions de captage de CO2 : état de l'art et perspectives

Eulalie CONTRERAS, Yanis HADJ MOHAND, Samuel BOURDEAU, Antoine FEBRIER, Margot LAFOND



Qu'est-ce que les CCUS?

- CCUS (Carbon Capture Utilisation & Storage) = projets de **capture des émissions de CO2 industrielles**, afin de **réutiliser** le CO2, utiles dans certains procédés, ou afin de le **stocker**
- Permettrait d'atteindre **0 émissions** même pour les procédés non décarbonables
- Possibilité de passer en **émissions négatives** en captant le CO2 atmosphérique, ce sont les CDR (carbon dioxide removal). Pour atteindre le bilan 0 carbone en 2050, les CCUS pourraient représenter

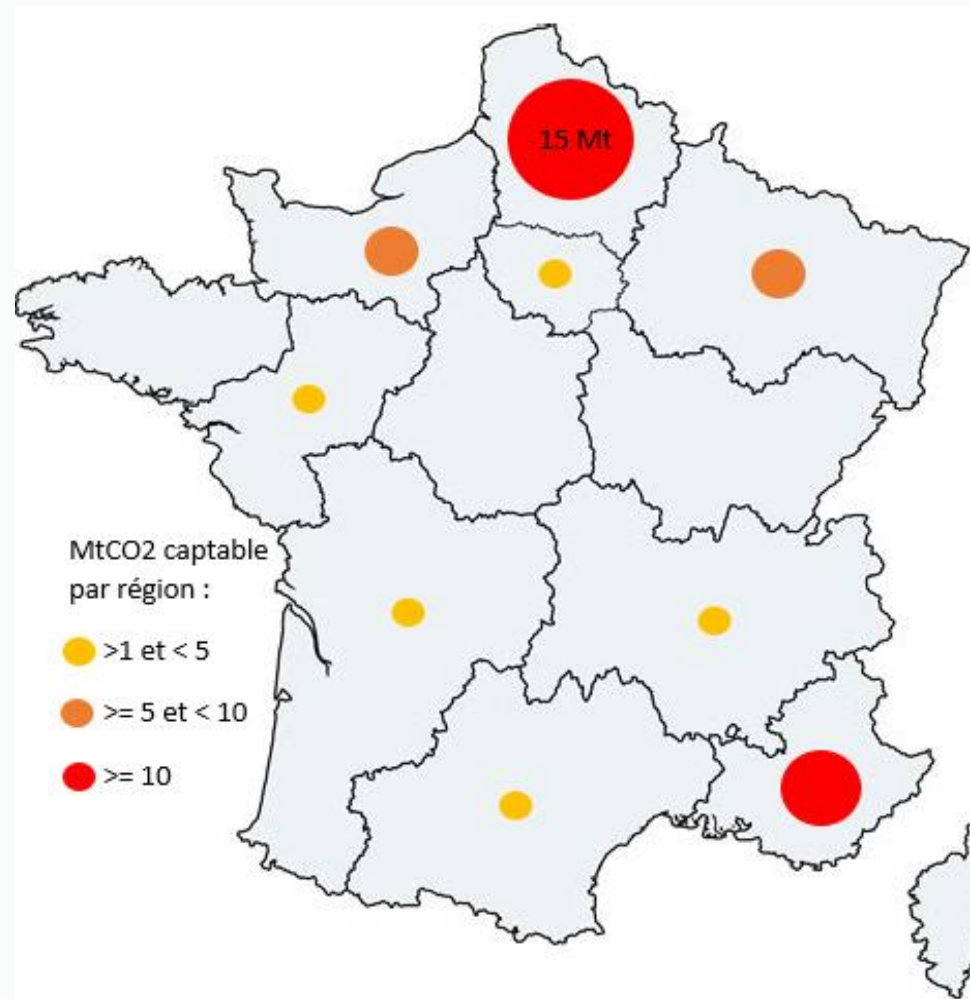
10 à 15% des efforts à faire



Les CCUS de nos jours

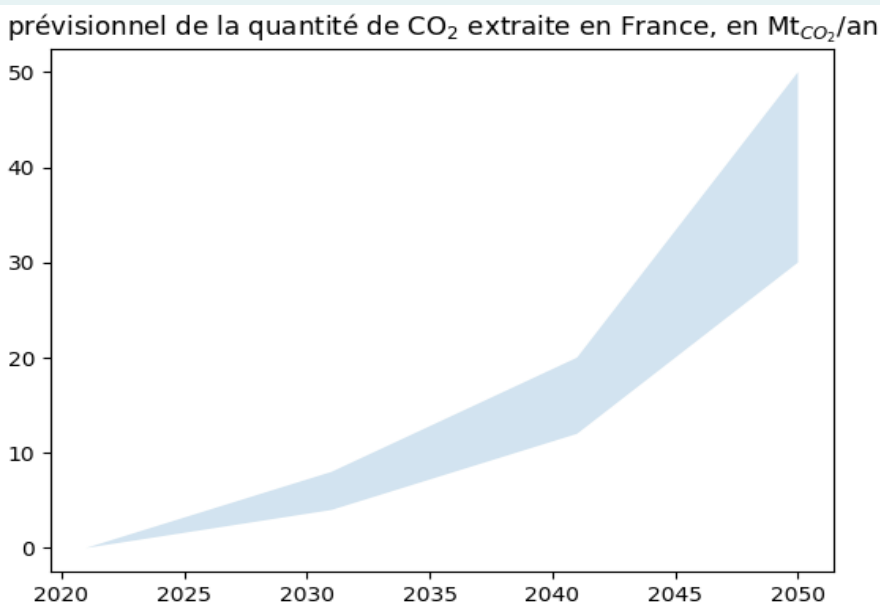
- Actuellement environ **40 MtCO2 capté par an dans le monde** MAIS à multiplier par 50 ou 100 d'ici 2050
- Déjà beaucoup de **projets nationaux et internationaux en cours** dans l'Union Européenne + **règles et de financements** mis en place afin de favoriser les CCUS car ils ne sont **pas encore très viables économiquement**
- Nombreux enjeux** : développer les technologies, les réseaux de transports, attirer les investisseurs, réguler, connaître les stockages, éviter les accidents comme les fuites, réduire leur consommation en énergie et en eau.

CO2 captable par région :



Réserves en France

- 385 MtCO2** équivalent émis en 2023
- Objectif : **capter 30 à 50 MtCO2/an** d'ici 2050
- Stockage : **750 Mt onshore** et **400 Mt offshore** dans des réserves d'hydrocarbure vides.
- Plan d'action : prioriser les **grands hubs** et les **fumées très concentrées en CO2**



Nom de la technologie	Principe	Concentration du CO2 dans les fumées	Pourcentage de CO2 capté	Pureté du CO2 post-captage	Coût en énergie
VSA (Vacuum Swing Adsorption)	Les gaz sont introduits dans des lits d'absorbant à carbone. Une fois le lit saturé, le carbone est libéré par l'application d'un vide.	10% à 30%	70% à 90%	>99,99%	3.7 GJ/tCO2
TSA (Temperature swing adsorption)	Les gaz sont absorbés grâce à leurs différentes propriétés lors de changement de température (long).	10% à 20%	>90%	>95%	3.2 GJ/tCO2
PSA et VPSA (Pressure swing adsorption)	Les gaz sont absorbés grâce à leurs différentes propriétés lors de changement de pression.	10% à 20%	>90%	>95%	2.4 GJ/tCO2
Membranaire	Utilisation d'une membrane en tant que filtre qui laisse passer le CO2. La température du gaz est très élevée.	>30%	>70%	>90%	2 GJ/tCO2
Amine (MEA monoéthanolamine)	Un solvant à base d'amine absorbe le CO2 grâce à une faible pression et température. Le CO2 est ensuite relâché et le solvant est recyclé. Il existe différents types de solvants, principalement la monoéthanolamine (MEA), diéthanolamine (DEA) ou N-méthyl-diéthanolamine (MDEA).	5% à 15%	98%	99%	3 à 3.5 GJ/tCO2
Enzymatique	Utilisation d'enzymes en tant que catalyseur pour fixer du carbone dans des solvants écoénergétiques, réaction normalement trop lente. Il faut contrôler la température pour qu'elle reste inférieure à 80°C mais les produits sont écologiques et non toxiques.	Tout	65% à 95%	>99.95%	<2GJ/tCO2
Cryogénique	Mise sous pression et refroidissement de l'air afin de liquéfier le CO2. Nécessite de descendre à de très basses températures mais la forme liquide simplifie le transport et le stockage tout en éliminant les polluants toxiques.	>10%	95% à 99%	>90%	2,4 à 5,2 GJ/tCO2

Les différentes méthodes de captage

- post-combustion**: capture du CO2 (peu concentré: entre 5 et 15%) à l'échappement. Il faut une infrastructure capable de traiter de grandes quantités de gaz. L'extraction se fait par solvants (gourmands en énergie pour leur régénération).
- pré-combustion**: conversion du carburant carboné en gaz de synthèse (par vaporeformage, gazéification ou oxydation partielle, puis en réagissant cet air avec de l'eau). On obtient un mix de CO2 et de H2 sous haute pression (20-50 bar). On extrait le CO2 (on réutilise le H2 comme carburant ou comme agent de synthèse) en sortie d'échappement, concentré à 15-60%. On peut alors utiliser des solvants, qui demanderont ici beaucoup moins d'énergie de régénération.
- oxy-combustion**: carburant brûlé uniquement à l'O2, donc 100% de CO2 en sortie en théorie (en pratique, plus de 90%, donc pas besoin de purification), mais la production d'O2 pur est coûteuse en énergie et demande des mesures de sécurité strictes.

Études de cas

L'industrie du ciment

Pourquoi est-il intéressant d'installer des CCUS sur des cimenteries ?

- 8%** des émissions mondiales de CO2.
- Source de CO2 **inévitable**

Heidelberg Materials a lancé en 2024 un projet de CCUS sur sa cimenterie d'Airvault, ayant comme objectif de **capter 1 MtCO2/an à partir de 2030**. Cela permettrait de réduire les émissions de CO2 de plus de **30%**.

La méthanisation

- Principal gaz utilisé = **méthane fossile**, mais il existe des manières moins polluantes de fabriquer du méthane : la **méthanisation**
- Méthanisation : procédé qui réutilise les **déchets de biomasses agricoles** et le transforme grâce des bio-organismes en un mélange de **60% de méthane** et **40% de CO2**
- Pour utiliser ce gaz, il faut séparer les 2 espèces chimiques => donne **biométhane + CO2**, le CO2 éventuellement **réutilisable** pour fabriquer du **méthane de synthèse**.
- Moins d'émissions car on utilise du carbone émis** au lieu d'en émettre de nouveau.

=> Ainsi les techniques de capture du carbone sont **utiles pour séparer les deux espèces**, ce qui est une utilisation différente des CCUS habituels qui servent simplement à récupérer le CO2 relâché.

Actuellement, la technologie **la plus rentable est la capture membranaire**, même si pour l'instant **la plus utilisée est la technique cryogénique**.

Perspectives d'avenir et potentiel technico-économique

Dans notre modélisation, les **VSA, TSA et PSA** semblent pouvoir devenir **les plus rentables à l'horizon 2050** :

