



Émissions actuelles de 42 GtCO₂/an



Limite de réchauffement de 1,5°C par les Accords de Paris

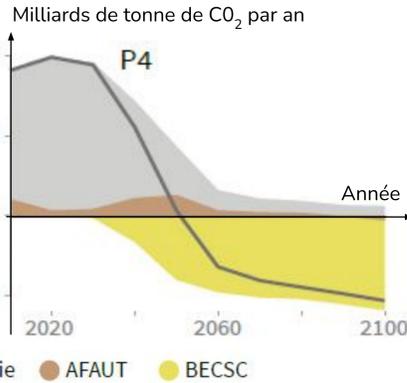
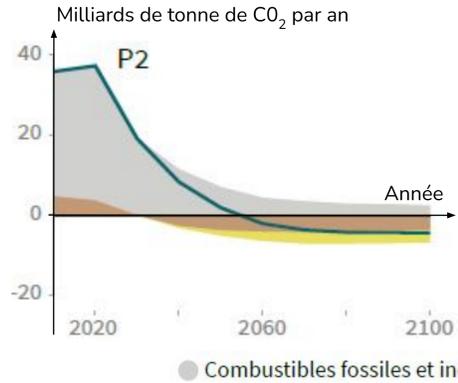


Captage de CO₂ envisagé dans certains scénarios

Scénario P2 :

Scénario où il n'y a pas de dépassement de la limite des 1,5° qui s'appuie sur un faible usage des technologies de capture du carbone : l'acceptabilité sociétale est limitée pour ce qui est de la bioénergie avec captage et stockage de carbone (BECS).

- CSC cumulé jusqu'en 2100 : 348 GtCO₂



Scénario P4 :

Scénario où il y a un dépassement de la limite des 1,5°. Cette limite est atteinte en 2100 grâce à un usage intensif des technologies d'élimination du CO₂ avec par exemple la BECS.

- CSC cumulé jusqu'en 2100 : 1218 GtCO₂

QUEL EST LE COÛT ÉNERGÉTIQUE DES SOLUTIONS DE TYPE *CAPTURE ET STOCKAGE DE CO₂* ?

CAPTURE ATMOSPHÉRIQUE DIRECTE

Cette technologie permet d'extraire le CO₂ de l'atmosphère, ce qui a des conséquences directes sur le climat. Elle est comptée parmi les émissions négatives. Elle utilise des techniques de captage employées dans la post-combustion.

Cette technologie est très adaptable quant au lieu d'implantation, qui pourra être proche de la production énergétique, ou bien des lieux de stockage.



Le CO₂ atmosphérique est fortement dilué, impliquant de mouvoir de grandes quantités d'air pour le capter.



Les possibilités pour une mise à l'échelle sont encore à l'étude, mais n'est limitée que par la puissance installée dans le monde.

Coût énergétique : 1800 kWh/tCO₂

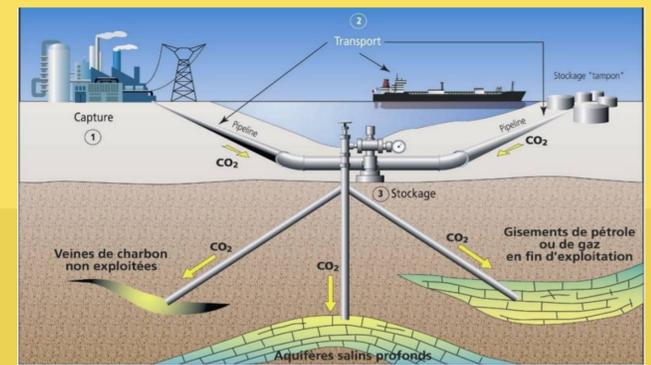
TRANSPORT

Dans la chaîne de décarbonation, le transport du CO₂ permet de faire le pont entre les sites de capture et les lieux de stockage correspondant. Deux méthodes spécifiques sont aujourd'hui mobilisées par l'industrie :

- Le transport par **gazoduc**, nécessitant de mettre le CO₂ sous forme supercritique séchée.
- Le transport par **bateau**, acheminant de plus petites quantités sous forme liquide.



Coût énergétique : 2 kWh/tCO₂ transportée



STOCKAGE

Potentiel total estimé : 10 000 GtCO₂

Les différents types de stockages :

Les aquifères salins profonds :

- Plus **gros potentiel** de stockage
- 5 sites industriels déjà existants
- Sites marins souvent évoqués (Norvège, ci-contre)
- Si un site est très mal régulé (fuites), il est estimé que plus de 78% du CO₂ sera encore présent après 10 000 ans.



Gisements de pétrole ou de gaz en déclin ou épuisés :

- 16 sites industriels déjà existants

Veines de charbon inexploitées :

- Aucun site à l'échelle industrielle
- Charbon : milieu poreux avec lequel le CO₂ a une bonne affinité

TRAITEMENT DES FUMÉES

Les fumées sortant des centrales ou des usines sont fortement concentrées en CO₂ (~ 20%). Il est donc pertinent d'implanter des procédés de captage dans la chaîne de production. On distingue 3 méthodes principales :

- 1. La **post-combustion**, le captage étant alors réalisé en aval.
- 2. L'**oxy-combustion**, utilisant de l'oxygène au lieu de l'air afin de générer un gaz de combustion suffisamment concentré en CO₂ pour ne pas nécessiter de séparation complexe vis-à-vis d'autres composants.
- 3. La **pré-combustion**, utilisant également de l'oxygène au lieu de l'air et produisant en sortie un flux de H₂ et un flux de CO₂ concentrés.

CAPTAGE DANS L'INDUSTRIE

Ces méthodes de traitement des fumées peuvent s'implanter sur des centrales fossiles ou des cimenteries / aciéries : On parle de réduction d'émissions.

- Perte de rendement des centrales : **10 points**
- Coût énergétique pour les usines : **600 kWh/tCO₂**



REBOISEMENT / AFFORESTATION

La végétation capte du CO₂, on peut donc replanter d'anciennes forêts ou en créer.

- 900 Mha potentiellement reboisables
- Captage maximal de **3,6 GtCO₂/an**
- Coût énergétique de **100 kWh/tCO₂**



BIOÉNERGIE ASSOCIÉE À DU CAPTAGE ET DU CAPTAGE (BECS)

La combustion de biomasse est associée à un traitement des fumées pour récupérer le CO₂ emmagasiné par les arbres. Cette méthode contribue à diminuer la concentration du CO₂ atmosphérique.



Les arbres en fin de vie ne captent plus de CO₂ et doivent être brûlés avec la méthode BECS pour ne pas relâcher le CO₂ accumulé par ces derniers. Potentiellement 9% de la demande énergétique décarbonée par cette méthode

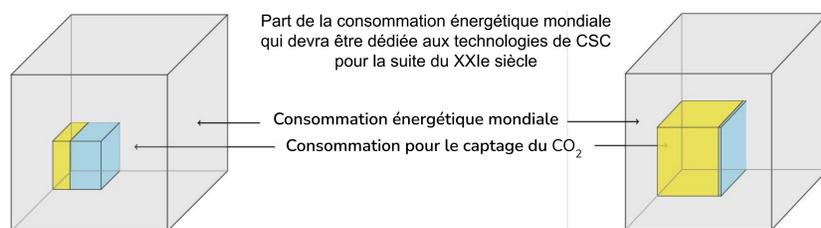
Coût énergétique : 600 kWh/tCO₂

DIFFICILE DE STOCKER...

Les techniques de stockage sont maîtrisées, relativement sûres, mais :

- Il y a peu d'initiatives d'envergure en dehors des investissements pétroliers
- Les populations vivant au dessus des sites géologiques concernés y sont peu favorables : il subsiste selon eux des risques de fuites dans l'atmosphère ou les eaux souterraines, et des dangers lors de l'injection. D'où l'intérêt du stockage en mer, mais avec autant de dangers pour l'écosystème

FINALEMENT, QUELLE ÉNERGIE POUR LES SOLUTIONS DE TYPE CSC ?



Scénario P2 :

La part s'élève à presque **3%**, spectre large de technologies de capture.

Scénario P4 :

Part supérieure à **8%**, spectre dominé par la BECS

Différence considérable entre les deux scénarios : **5%** de la consommation mondiale actuelle (soit celle de l'Amérique latine tout entière) à allouer en plus au captage dans le scénario P4. À cela s'ajoute le coût énergétique fixe du stockage, actuellement difficile à estimer.

- Coût énergétique annuel de la BECS (reforestation incluse) : **35%** des coûts totaux pour la capture du CO₂ dans le scénario P2, **96%** dans le P4.
- Coût énergétique annuel des autres technologies de capture, sous l'hypothèse d'un coût moyen de 1MWh/tCO₂ capté.

ÇA URGE

Les calculs précédents mettent en évidence la part considérable que représenteront les technologies de capture et stockage du CO₂ dans la consommation énergétique mondiale dans le cadre des scénarios du GIEC. Elle sera d'autant plus importante si nous n'agissons pas aujourd'hui.

Actuellement, peu de moyens sont accordés à la mise en place de ces technologies de capture et de stockage, comparativement aux attentes du GIEC (seulement 0,1% du CO₂ émis est capté aujourd'hui).

La question est urgente. L'utilisation de ces technologies mènera dans tous les cas à de grands changements sociétaux.

[1] AVIS de l'ADEME - Captage et stockage géologique de CO₂ (CSC) en France. (n.d.-a). La librairie ADEME. Retrieved December 9, 2021, from https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/69-avis-de-l-ademe-captage-et-stockage-geologique-de-co2-csc-en-france.html
 [2] Engel, F., & Kather, A. (2018). Improvements on the liquefaction of a pipeline CO₂ stream for ship transport. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 72, 214–221. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.03.010
 [3] Knoope, M. M. J., Ramirez, A., & Faaij, A. P. C. (2013). A state-of-the-art review of techno-economic models predicting the costs of CO₂ pipeline transport. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 16, 241–270. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.01.005
 [4] Lefebvre, D., Williams, A. G., Kirk, G. J. D., Paul, Burgess, J., Meersmans, J., Silman, M. R., Román-Dañobeytia, F., Farfan, J., & Smith, P. (2021). Assessing the carbon capture potential of a reforestation project. *Scientific Reports*, 11(1), 19907. https://doi.org/10.1038/s41598-021-99395-6
 [5] Mathieu, P. (2019). Centrales de puissance à basse émission de CO₂. *Physique énergétique*. https://doi.org/10.51257/a-v1-be8065
 [6] Catoire, L. (2021). L'acceptation sociale est un obstacle majeur au stockage souterrain du CO₂. *Polytechnique insights*.

