

LA SÉQUESTRATION DU CARBONE : UN OUTIL AU SERVICE DE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE



Source illustration : Pixabay

Face à l'urgence climatique, la séquestration du carbone apparaît comme un levier stratégique complémentaire aux efforts de réduction des émissions.

Qu'elle repose sur des mécanismes naturels ou sur des technologies de pointe, elle contribue à compenser les émissions résiduelles difficiles à éliminer et permet ainsi de progresser vers l'objectif de neutralité carbone fixé par l'Accord de Paris (2015).

L'EFFET DE SERRE EST UN PHÉNOMÈNE NATUREL ESSENTIEL AU DÉVELOPPEMENT DE LA VIE SUR TERRE...

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse entourant notre planète. Elle joue un rôle double : elle filtre les rayonnements solaires (environ 30 % sont renvoyés vers l'espace, 20 % sont absorbés par l'atmosphère et 50 % atteignent la surface terrestre) et elle piège une partie du rayonnement infrarouge émis par le sol réchauffé.

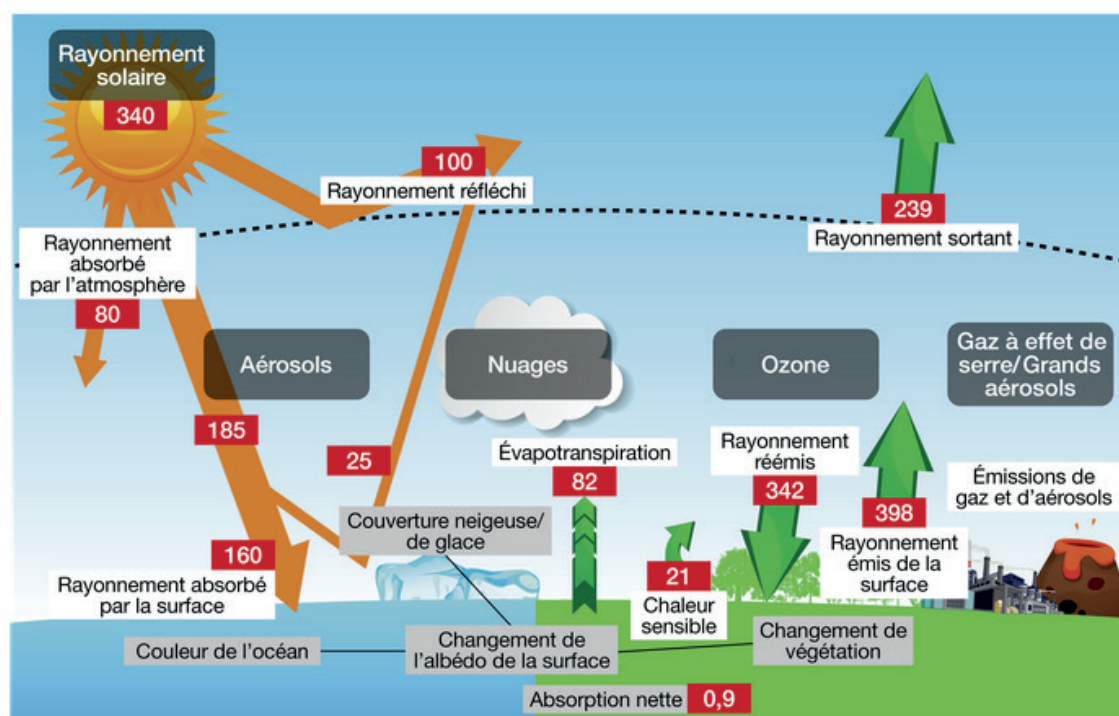
Ce mécanisme est rendu possible par la présence de divers gaz, dont certains sont dits « à effet de serre », comme le dioxyde de carbone (CO_2) et le méthane (CH_4), parmi les

plus connus. Ils permettent de maintenir une température moyenne d'environ $+15^\circ\text{C}$, compatible avec la vie. Sans ce processus naturel, la température moyenne de la Terre serait proche de -18°C , rendant la planète inhabitable.

Toutefois, tout le CO_2 émis ne reste pas dans l'atmosphère. Environ la moitié est absorbée par des réservoirs naturels appelés puits de carbone : **la biosphère terrestre et les océans.**

L'effet de serre naturel et ses perturbations pour les activités humaines

Flux d'énergie actuels en W/m^2



Source : Chiffres clés du climat, France, Europe et Monde, Ministère de la transition écologique et solidaire, éd. 2024.

REPÈRES

Comprendre le climat



- **+15 °C** : température moyenne de la Terre grâce à l'effet de serre naturel.
- **-18 °C** : température moyenne sans atmosphère
- **30 %** de rayonnement solaire renvoyé, **20 %** absorbé, **50 %** atteignant la surface.

Origine du dérèglement climatique



- **Hausse massive** des émissions de gaz à effet de serre liées aux activités humaines
- **Forçage radiatif positif** : déséquilibre énergétique d'origine humaine.

Le rôle des puits de carbone



- **≈ 55 %** du CO₂ émis absorbé par les puits naturels
- **Biosphère terrestre** : forêts, sols, prairies, zones humides et océans.

Objectif climatique



- **Neutralité carbone** : équilibre entre émissions et absorptions
- **Accord de Paris** : limiter le réchauffement en-dessous de 2°C à horizon 2100.

Séquestration du carbone



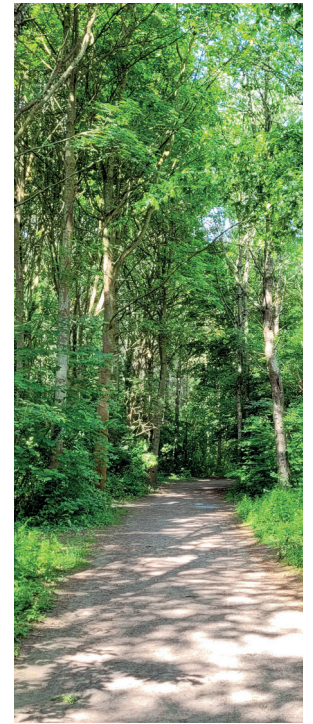
- **Levier complémentaire**, pas un substitut à la réduction des émissions.
- **Puits naturels et solutions technologiques**

... AMPLIFIÉ PAR LES ACTIVITÉS HUMAINES QUI ENTRAÎNENT UN DÉRÈGLEMENT CLIMATIQUE

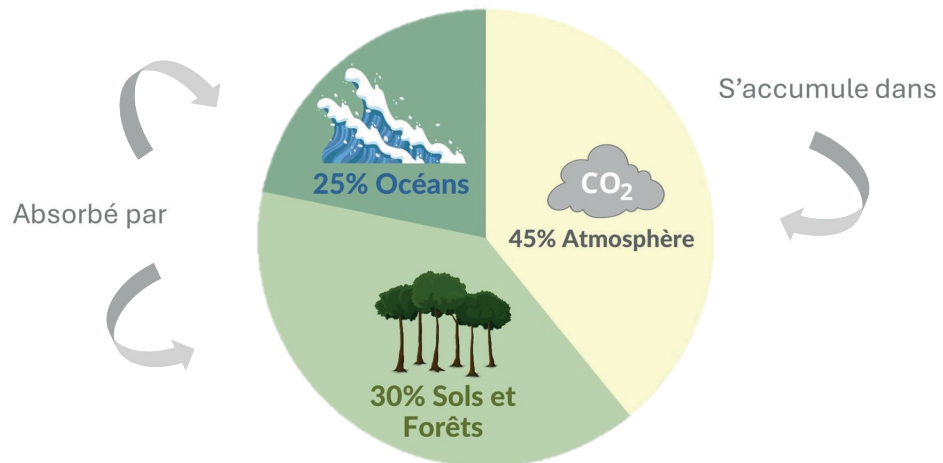
Le changement climatique observé ces dernières décennies résulte d'un renforcement de cet effet de serre naturel, causé principalement par les activités humaines engendrées suite à la révolution industrielle, avec une accélération de la combustion massive des énergies fossiles depuis les années 1950.

Depuis, l'équilibre entre émission et stockage du carbone n'est plus assuré. Les émissions humaines de gaz à effet de serre sont de plus en plus importantes, combinées à une disparition des puits naturels (artificialisation des sols, disparition des forêts, ...).

C'est le déséquilibre entre les émissions de CO₂ et la capacité d'absorption de ces puits de carbone qui entraîne une accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, entraînant ainsi une élévation globale des températures.



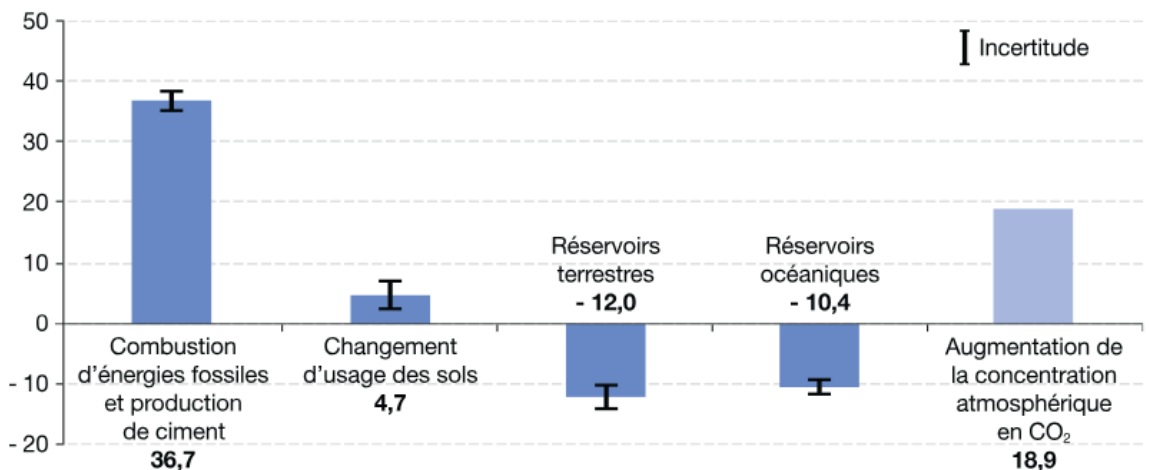
Que devient le CO₂ émis par les activités humaines ?



Source : Rapport du GIEC n°6 - Trajectoires

Flux annuels nets de CO₂ d'origine anthropique en moyenne sur la période 2012-2022 (émissions vers l'atmosphère et absorption par les réservoirs terrestres et océaniques)

En Gt CO₂/an



Note : l'incertitude pour l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ est très faible ($\pm 0,02$ Gt CO₂/an) et n'a pas été représentée sur le graphique.

Source : Global Carbon Budget, 2024

LA PLACE DE LA SÉQUESTRATION DANS LA STRATÉGIE CLIMATIQUE GLOBALE

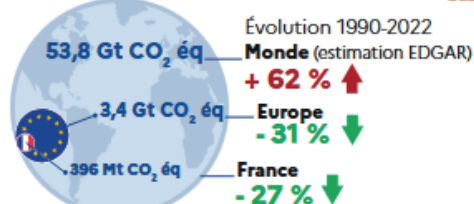
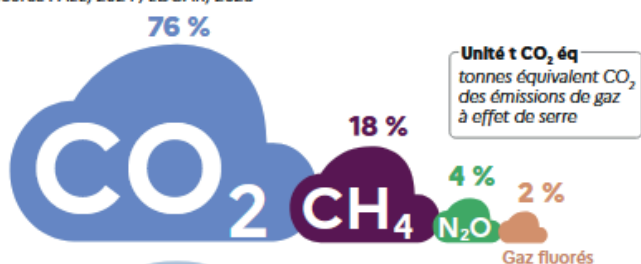
Objectif de neutralité carbone

La neutralité carbone, ou "zéro émission nette", désigne un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine et leur absorption par des puits de carbone naturels ou artificiels. Elle est devenue un objectif central des politiques climatiques internationales, notamment dans le cadre de l'Accord de Paris, qui vise à limiter le réchauffement climatique en-dessous de 2 °C d'ici 2100, par rapport aux niveaux pré-industriels.

Dans ce contexte, la séquestration du carbone est une condition indispensable pour atteindre la neutralité, car certaines émissions sont difficiles, voire impossibles à éliminer totalement (par exemple dans l'aviation, l'agriculture ou certaines industries lourdes). Les technologies ou pratiques de séquestration permettent donc de "compenser" ces émissions résiduelles en retirant du CO₂ de l'atmosphère et en le stockant de manière durable.

Émissions de gaz à effet de serre* en 2022

Source : AEE, 2024 ; EDGAR, 2023

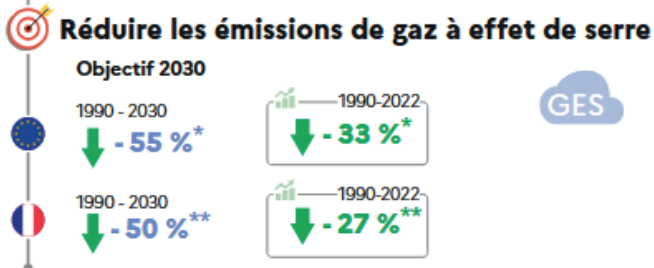


* Hors UTCATF : utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie



Objectifs climatiques

Source : AEE



* UTCATF inclus ** hors UTCATF

Cependant, la séquestration ne peut pas se substituer à la réduction des émissions. Elle intervient en complément des efforts de décarbonation. Elle est considérée comme un levier final, et non un substitut, dans l'atteinte des objectifs climatiques.

Autrement dit, la séquestration ne doit pas être une excuse pour retarder les transitions énergétiques ou maintenir des modes de consommation carbonés. Elle complète les efforts en réduisant l'impact net des activités humaines sur le climat, mais elle ne doit pas être sursollicitée, car ses capacités sont limitées et encore en développement.

LES DIFFÉRENTS PUITS DE CARBONE

Naturels

Océaniques

► La pompe physique

Le CO₂ se dissout naturellement dans l'eau, un phénomène favorisé par les basses températures. Dans les régions polaires, l'eau froide et dense plonge, entraînant le CO₂ dissous vers les profondeurs océaniques. Ce processus est essentiel pour le stockage à long terme du carbone dans les fonds marins.

► La pompe biologique

Le phytoplancton, constitué de micro-algues et de cyanobactéries, capte le CO₂ atmosphérique lors de la photosynthèse, produisant de l'oxygène et de la matière organique. Lorsque ces organismes meurent, une partie de leur matière organique, riche en carbone, descend vers les profondeurs marines, où elle peut être stockée pendant des siècles.

Comment lutter contre le changement climatique ?

La lutte contre le changement climatique repose sur un triptyque d'actions complémentaires :

► **La sobriété et l'efficacité énergétique**, la réduction volontaire et organisée des consommations d'énergie (changement de comportements, efficacité énergétique, urbanisme sobre, etc.). **Réduire les besoins**, c'est réduire les émissions en amont.



► **Le développement massif des énergies renouvelables et décarbonées**, qui permettent de produire de l'énergie sans émission directe de CO₂ (solaire, éolien, hydroélectricité, biomasse durable, nucléaire, ...) en remplaçant les énergies fossiles.



► **La séquestration du carbone, pour compenser ce qui ne peut pas être éliminé**, maintenant ou dans un futur proche.



Terrestres

► Les sols

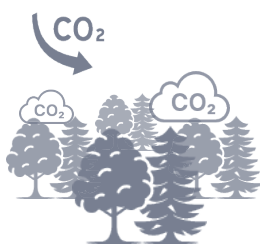
Ils stockent le carbone sous forme de matière organique. Grâce à la photosynthèse, les plantes captent le carbone présent dans l'air et le transforment, avec l'aide de l'eau et de la lumière, en hydrates de carbone (des sucres). Ces sucres sont ensuite dirigés vers les racines. Les tourbières et les prairies sont les puits les plus efficaces.

► Les forêts

Les forêts jouent également un rôle important dans la capture du CO₂. Par la photosynthèse, elles absorbent environ 15 % des émissions humaines de CO₂, qu'elles stockent sous forme de biomasse, notamment dans le bois. La quantité de carbone stocké varie selon l'espèce d'arbre, son âge et son environnement.

Le saviez-vous ?

- Les prairies et les sols forestiers ont une capacité de stockage d'environ 80 tonnes par hectare à la différence que la forêt capture également le carbone dans les arbres, **soit 200 tonnes de CO₂ /ha.**



Technologiques

La séquestration technologique désigne l'ensemble des méthodes industrielles mises au point pour capter et stocker le CO₂, que ce soit à la source ou directement dans l'atmosphère.

Géologiques

La technique la plus répandue est le captage et stockage du carbone (CSC ou CCS), qui consiste à :

1- Capturer le CO₂ émis par des installations (centrales, usines, etc.),

2- Le comprimer et le transporter,

3- L'injecter dans des formations rocheuses profondes, comme d'anciens réservoirs de pétrole ou de gaz, des couches de charbon inexploitées ou des aquifères salins. À une profondeur supérieure à 800 mètres, la pression permet de maintenir le CO₂ sous forme dense, facilitant son stockage dans les pores des roches.

Ce procédé permet un stockage à très long terme, sur des milliers d'années mais les effets des modifications structurales du sol induites par ce procédé ne sont pas bien connus.

Industriels

D'autres technologies innovantes incluent :

- **Captage direct dans l'air (DAC)**, qui extrait le CO₂ directement de l'atmosphère,
- **Bioénergie avec captage et stockage (BECCS)**, qui combine production d'énergie à partir de biomasse et stockage du CO₂ émis, permettant de retirer du carbone de l'atmosphère,
- **Carbonatation minérale**, qui transforme le CO₂ en minéraux stables (comme le calcaire), via des réactions avec des roches contenant des oxydes métalliques ou des silicates.

Limites actuelles :

- Ces technologies sont coûteuses, énergivores et encore peu déployées à grande échelle.

Il est essentiel de rappeler que la séquestration ne saurait être une alternative aux changements structurels nécessaires dans nos modes de production et de consommation. Elle doit s'inscrire dans une approche globale, combinant sobriété, transition énergétique et préservation des écosystèmes.

Investir dans la connaissance, la protection et le développement des puits naturels de carbone, tout en régulant le recours aux solutions technologiques, constitue un enjeu majeur pour rendre nos territoires plus résilients et contribue efficacement à la lutte contre le changement climatique, localement et au niveau mondial.

SOURCES :

- **Chiffres clés du climat, France, Europe et Monde**, Ministère de la transition écologique et solidaire, éd. 2024.
- **La capture et séquestration de carbone pour réduire nos émissions de CO₂** (vidéo) : <https://lereveilleur.com/csc-reduction-des-emissions/>
- <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/ocean-puits-de-carbone-lavenir-incertain>
- <https://ocean-climate.org/sensibilisation/ocean-puits-de-carbone/>
- <https://www.agoterra.com/articles/les-puits-carbone-commentcamarche>

Directeur de la publication : Patrice DUNY

Réalisation et mise en page : AUCAME 2025

Illustrations : AUCAME, sauf mention contraire

Contact : alice.averlant@aucame.fr



AUCAME
Caen Normandie www.aucame.fr

Agence d'urbanisme de Caen Normandie

21 rue de la Miséricorde - 14000 CAEN

Tel : 02 31 86 94 00

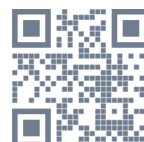
contact@aucame.fr

DÉPÔT LÉGAL : 4^e TRIMESTRE 2025
ISSN : 1964-5155

Imprimé sur papier 100 % recyclé FSC
fabriqué en France



LICENCE OUVERTE
OPEN LICENCE



Retrouvez nos publications en flashant ce QR Code