

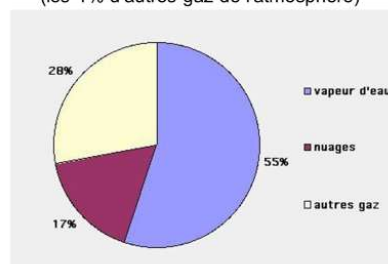
Capsule 5 : les GES responsables du déséquilibre : le CO₂

Le cycle du carbone



Nous avons vu précédemment que la vapeur d'eau et les nuages constituent les trois quarts de l'effet de serre. La partie « autres gaz » (de 28%) est essentiellement du CO₂. C'est de ce gaz que l'on va parler aujourd'hui, car bien que naturellement présent en infime quantité dans l'atmosphère, 0,04% seulement, il est redoutablement efficace puisqu'il participe à hauteur de 25% de l'effet de serre naturel. De plus, il s'agit du premier gaz à effet de serre émis par l'homme., il représente environ 75% des GES émis par les activités humaines.

Composition des GES naturels
(les 1% d'autres gaz de l'atmosphère)

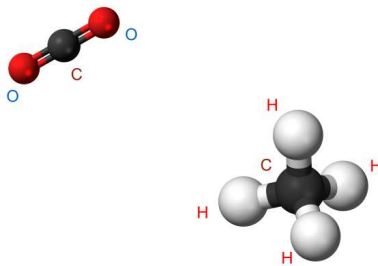


72% Eau et vapeur d'eau, 75% de l'effet de serre.
28% Autres: essentiellement CO₂, 25% de l'effet de serre
et méthane CH₄
Le CO₂ est le premier GES (75%) émis par l'homme

Dans la nature, le carbone est présent sous deux formes, le carbone organique, produit par des organismes vivants, lié à d'autres atomes pour former des molécules organiques ; et le carbone inorganique, qui n'est pas associé au vivant, comme par exemple le CO₂ atmosphérique ou les carbonates comme le calcaire.

Carbone organique	Carbone inorganique naturel
Une molécule organique est constituée principalement d'une chaîne carbonée, c'est-à-dire d'atomes de carbone reliés entre eux et associés à d'autres atomes (principalement hydrogène, oxygène ou azote) Présent dans les composés du vivant et leur décomposition. 	Le CO₂ atmosphérique, Le méthane CH₄,  Les carbonates, comme le bicarbonate HCO₃, le calcaire CaCO₃, etc... 
	Carbone inorganique non naturel
	Monoxyde de carbone CO Gaz CFC: chlorofluorocarbones ou fréons

A l'état d'équilibre, le CO₂ de l'atmosphère est un élément essentiel du cycle du carbone. En effet, le CO₂ est une molécule de gaz formée de trois atomes : un de carbone, C, et deux d'oxygène, O. On trouve aussi du carbone dans le méthane, qui s'écrit CH₄, c'est-à-dire que sa molécule est formée d'un atome de carbone et 4 atomes d'hydrogène. Le CO₂, et un peu le méthane, sont nécessaires, d'une part pour contribuer à l'effet de serre naturel, d'autre part parce que le carbone est essentiel à la vie.



Les émissions naturelles de CO₂ sont dues à notre respiration, celle des animaux et des végétaux; nous inspirons de l'oxygène et rejetons du CO₂. Les incendies naturels, la putréfaction de corps organiques, l'activité volcanique etc entraînent aussi des émissions de CO₂. Mais à l'état naturel, ces émissions sont compensées par ce qu'on appelle des puits naturels de carbone.

CO2 naturel



Les deux puits naturels les plus importants sont les océans, et la biosphère, c'est-à-dire l'ensemble des êtres vivants via le mécanisme de la photosynthèse.

Les puits de carbone



2/3 de la surface sont des océans



La biosphère

Le cycle du carbone est un cycle biogéochimique complexe qui fait intervenir l'atmosphère, la biosphère, c'est-à-dire tout ce qui est vivant, la lithosphère, c'est-à-dire la terre, ou les sols, et enfin l'hydrosphère, c'est-à-dire tout ce qui est lié à l'eau, principalement les océans. Le cycle du carbone peut être divisé en trois étapes qui sont : production, synthèse et fixation. La production est basée sur les processus qui émettent du carbone. La synthèse est l'extraction du carbone et sa transformation en molécules plus complexes. Enfin, c'est dans la partie fixation que cet élément est piégé. Nous allons présenter ce schéma de façon simplifiée.

Dans l'atmosphère le carbone est présent sous forme de gaz, c'est le C dans CO₂ et CH₄.

Il est présent dans la lithosphère dans les roches sédimentaires et les combustibles fossiles. Les roches sédimentaires sont le plus grand réservoir de carbone.

Il est présent dans la biosphère comme composant organique des plantes et des animaux.

Il est présent dans les océans, dissous et sous forme d'ions bicarbonates.



Les quantités de carbone que peuvent contenir ces réservoirs sont très différentes : on voit que le plus grand réservoir de carbone, roches mises à part, est l'océan ; il contient 50 fois plus de carbone que l'atmosphère ! L'unité ici est en giga tonnes ; une giga tonne c'est un milliards de tonnes.

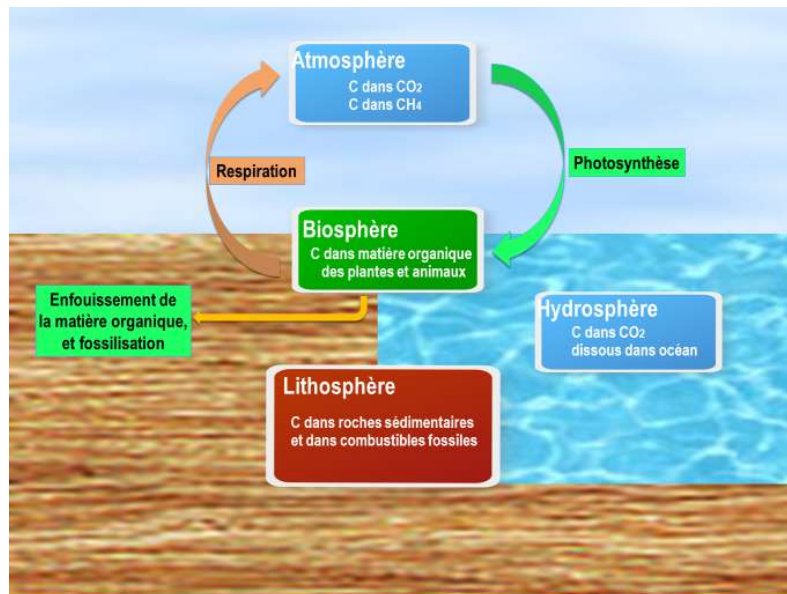
Réservoir	Giga tonnes de C
Atmosphère	770
Biosphère	610
Hydrosphère	39 000
Combustibles fossiles	5 000
Roches sédimentaires	50 millions

Commençons par le carbone de l'atmosphère ; comme on l'a dit précédemment, il est absorbé en partie par les puits naturels que sont l'océan et la biosphère.

Les interactions du CO₂ et de la biosphère sont établies en fait entre le CO₂ et les plantes, via le mécanisme de la photosynthèse. Grâce à l'énergie fournie par le soleil et un apport en eau, la plante va capter du CO₂ atmosphérique, et le transformer en sucres et en di-oxygène ; le sucre est consommé par la plante et l'oxygène est rejeté dans l'atmosphère. Par contre la nuit, la plante étant privée d'énergie, elle va simplement respirer, comme n'importe quel être vivant. Ce faisant, les plantes ré-émettent jusqu'à la moitié du CO₂ absorbé.

La photosynthèse est cruciale à toutes les échelles : elle capte du CO₂, fournit de l'oxygène, mais elle permet aussi la croissance des plantes qui nourrissent les animaux et les humains, ou qui sont utiles pour les humains comme le coton, le bois. On peut dire sans exagération que cette réaction physico-chimique est à l'origine de la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui sur notre planète.

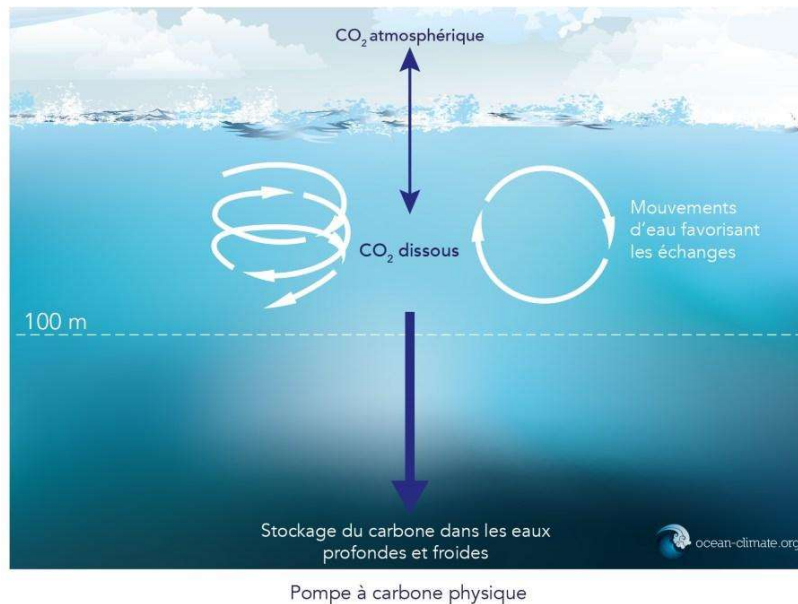
Enfin, la décomposition des matières organiques pendant des millions d'années va alimenter les sols.



Le grand absorbeur de CO_2 de l'atmosphère est l'océan. Les océans sont considérés comme les plus grands puits de carbone, plus encore que l'Amazonie !

Il existe deux processus par lesquels les océans absorbent le CO_2 : l'un physique, l'autre biologique.

L'océan absorbe le carbone du CO_2 de l'atmosphère en le dissolvant, et le transforme en ions bicarbonates par une réaction physique.



L'océan n'est pas une masse d'eau inerte, de même que l'atmosphère est sujette à une circulation atmosphérique, l'océan a aussi une circulation avec des courants majeurs importants, comme le Gulf stream par exemple. On sait que les eaux froides plongent en profondeur tandis que les eaux chaudes restent en surface. Ce qui a pour conséquence de stocker les ions bicarbonates en

profondeur. L'océan profond (on parle de plus de 100 mètres de profondeur) est un immense réservoir de carbone.

L'océan de surface contient moins de carbone mais cette quantité est essentielle pour la Vie. En effet, un autre phénomène important est l'absorption du carbone dans les eaux de surface par le phytoplancton, qui est constitué d'organismes végétaux microscopiques.

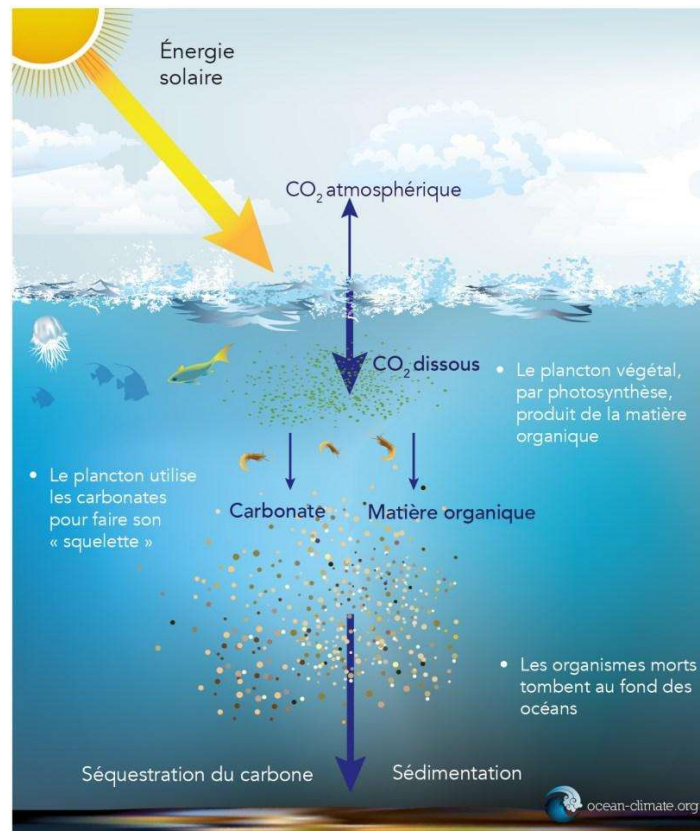
Voici une magnifique image de phytoplancton en spirale, prise par un satellite de la NASA dans la mer Baltique.



Par le mécanisme de la photosynthèse, le phytoplancton absorbe le CO_2 pour produire en retour du dioxygène O_2 , essentiel à la vie. Ce phytoplancton et le zooplancton par extension, sont au début des écosystèmes marins, ils sont essentiels à la vie.

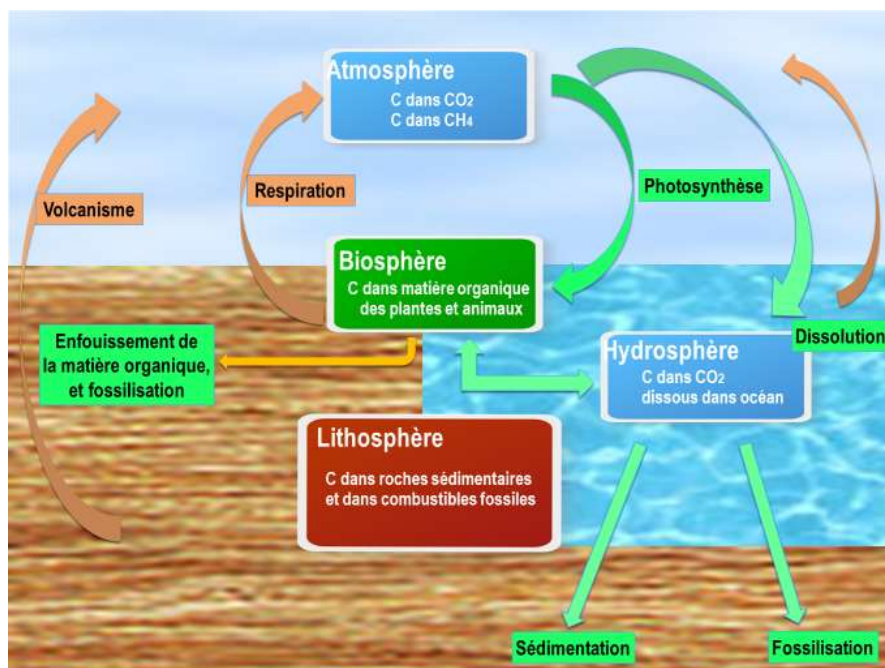
Puis, une partie des matières organiques issues des éléments de ces écosystèmes, végétaux ou animaux, qui se décomposent, tombe au fond des océans. L'océan profond contient donc du carbone issu de carbone organique et du carbone inorganique issu de la dissolution du CO_2 .

Vous remarquerez une double flèche entre CO_2 atmosphérique et CO_2 dissous : en effet, en raison des variations thermiques, l'hydrosphère peut émettre le CO_2 qu'elle a dissous lorsque la température augmente.



Pompe à carbone biologique

Pour finir, la lithosphère retient une grande partie du carbone qu'elle contient à travers les roches calcaires et carbonées. Elle rejette naturellement du CO₂ à travers les éruptions volcaniques. On peut compléter notre schéma initial avec les informations liées à l'océan et au volcanisme :



Nous avons présenté le cycle de façon très simplifiée ; le processus réel est bien plus complexe.

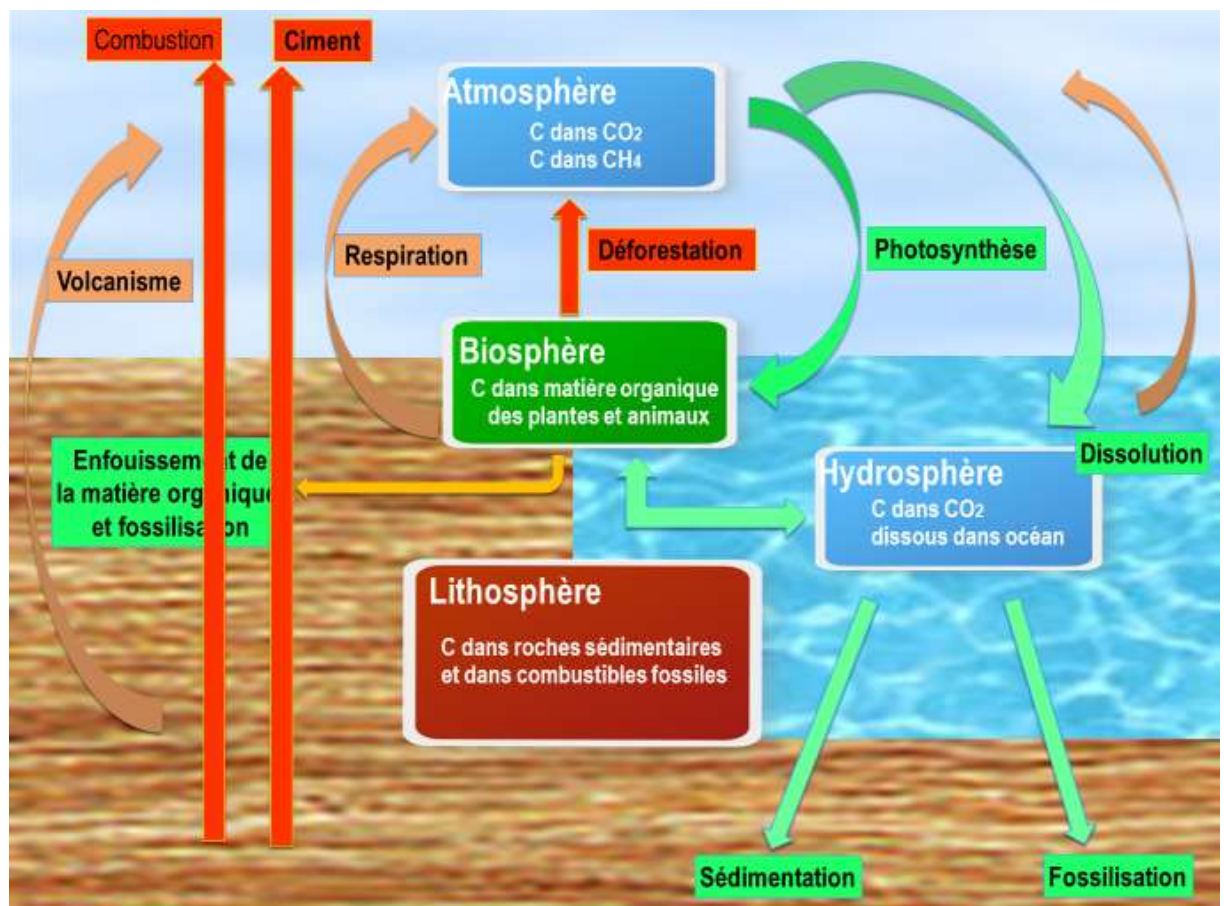
On pourra noter que dans les échanges entre biosphère, hydrosphère etc..., le carbone subit des changements dus à des réactions physiques ou chimiques ; par contre dans l'atmosphère, le CO₂ reste stable et rien ne l'élimine dans ce compartiment.

Ce qui est important, c'est que tout ce cycle est à l'équilibre, sans intervention humaine.

Alors maintenant, on peut se demander quel est le rôle des êtres humains dans ce cycle du carbone ?

¾ des émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines sont du CO₂. Ce gaz carbonique venant des activités humaines provient :

- pour l'essentiel de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) ; Ces gisements mettent des milliers d'années à se former et nous les extrayons et les utilisons à un rythme qui ne laisse pas à la Terre le temps de les régénérer, sans compter que, en plus, on ajoute encore plus de CO₂ à l'atmosphère en les brûlant.
- pour partie de certaines industries (par exemple pour la production de ciment),
- enfin pour une part non négligeable de la déforestation massive, notamment en zone tropicale, en réduisant le volume des puits de biomasse végétale.



La respiration des êtres humains ne compte pas ; le CO₂ qu'on expire était dans l'atmosphère peu de temps auparavant ; il a été capté par la végétation et a fait partie de notre alimentation. A l'inverse,

brûler des combustibles fossiles ré-injecte très rapidement du carbone qui avait été stocké dans le sous-sol, grâce à des processus très lents.

La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de plus de 40% depuis les débuts de la période industrielle, datée de 1850, ce qui est énorme puisqu'il faut revenir à des millions d'années en arrière pour trouver une telle concentration de CO₂ dans notre atmosphère. Et on sait avec certitude que cela provoque le réchauffement de la planète.

➤ La concentration en CO₂ de l'atmosphère a augmenté de 40% depuis 1850

➤ Les océans en absorbent environ 30%

Comment recycler tout ce CO₂ additionnel ?

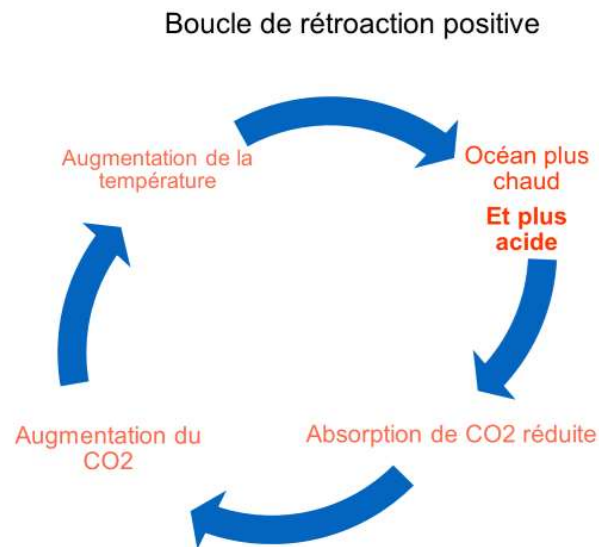
Les océans en absorbent une grande partie, environ 30% , cependant ils ne peuvent pas tout absorber. D'une part, la dissolution du CO₂ se fait plus facilement dans les eaux froides. Avec le réchauffement climatique global, les eaux de l'océan se réchauffent aussi et absorbent donc beaucoup moins bien le CO₂ de l'atmosphère. Autrement dit, au lieu de se dissoudre au contact de l'eau, les molécules de CO₂ stagnent dans l'atmosphère et participent au réchauffement climatique.

D'autre part, en absorbant davantage de CO₂, les océans s'acidifient. Actuellement l'augmentation de l'acidité des océans est de 30%. L'acidification a alors des conséquences sur la vie des organismes marins, tels que le corail ou le phytoplancton qui ne parviennent plus à structurer leur squelette calcaire.



La disparition de ces organismes a pour conséquence la destruction de la biodiversité marine, mais également la réduction du processus biologique d'absorption du CO₂. En effet, s'il y a moins de phytoplancton, moins de CO₂ sera absorbé par ces organismes : il restera alors stocké dans l'atmosphère.

C'est ce qu'on appelle une rétroaction positive, qui entraîne une amplification du changement climatique.



Allez, on termine sur l'image des montagnes colorées, en Chine



Zhangye Danxia, Chine