



# CAUSES & ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC « Causes et enjeux du changement climatique ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

## *Le cycle du CO<sub>2</sub> : un cycle naturel perturbé par les activités humaines*

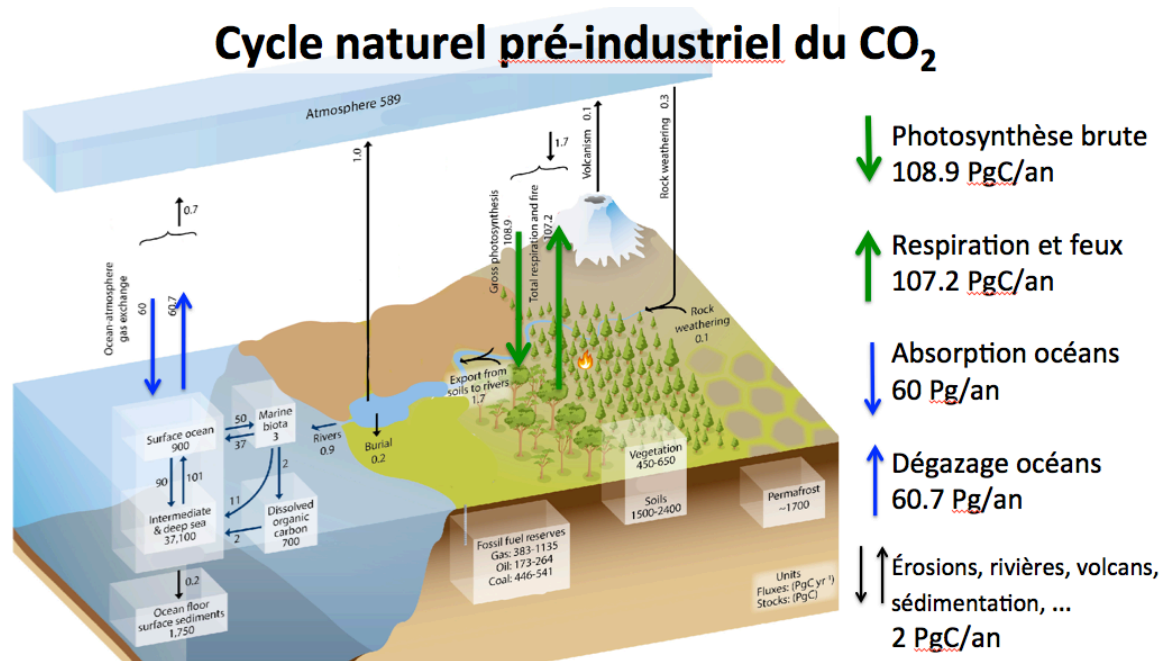
**Philippe BOUSQUET**

*Professeur – Université de Versailles Saint-Quentin*

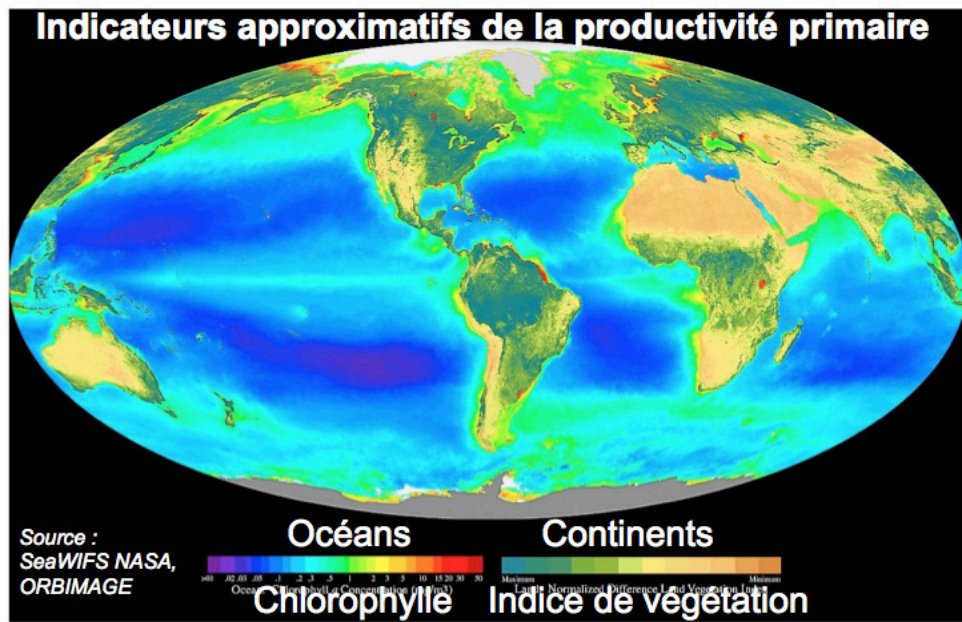
Le dioxyde de carbone (ou CO<sub>2</sub>) est le second gaz à effet de serre naturel et le premier gaz à effet de serre anthropogénique.

- Avant la révolution industrielle, les échanges de CO<sub>2</sub> se faisaient entre la biosphère continentale et l'atmosphère d'une part (ce sont les flèches vertes sur ce diagramme), avec la photosynthèse qui prend du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et rejette du dioxygène, la respiration de la végétation, des sols et les feux, qui à contrario vont prendre de l'oxygène dans l'atmosphère et rejeter du CO<sub>2</sub> dans un échange à peu près équilibré.
- Deuxième type d'échange du même ordre de grandeur, même s'il est un petit peu plus faible, les échanges entre l'atmosphère et les surfaces de l'océan, avec dans les zones des eaux chaudes plutôt un dégazage de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, autour de l'Équateur, et dans les zones d'eaux plus froides, dans les moyennes et hautes latitudes, plutôt une absorption de CO<sub>2</sub> par la surface de l'océan.
- ⇒ Une fois dans l'eau, le CO<sub>2</sub>, contrairement à l'atmosphère où c'est un gaz inerte, c'est un acide faible et donc il va se dissoudre sous forme d'ions carbonates et bicarbonates et avoir donc tout un cycle chimique qui se met en place et contribue à l'acidification de l'eau effectivement.

- ⇒ On a aussi une absorption bien sûr par le phytoplancton, qui est la végétation marine de ce CO<sub>2</sub>, et un rejet dans le cadre d'échanges aussi de photosynthèse et de respiration.
- Enfin, les flèches noires sur ce diagramme représentent les autres flux qui permettent de boucler finalement ce cycle du CO<sub>2</sub> préindustriel, avec le volcanisme, l'érosion des roches, le transfert de CO<sub>2</sub> et de carbone plus généralement depuis les surfaces continentales vers les rivières, vers l'océan et la réémission vers l'atmosphère.



- ⇒ Ce qu'il faut noter simplement, c'est qu'au niveau de ce cycle préindustriel, on a un équilibre finalement des échanges de CO<sub>2</sub> entre ces différents réservoirs que sont les surfaces continentales : les sols, l'atmosphère et les océans.
- Une marque un petit peu de cette activité préindustrielle, c'est la productivité primaire que l'on peut avoir à la fois sur les océans et sur les continents et qui est donnée depuis peu par les satellites, en tout cas une représentation de cette productivité primaire, ce n'est pas une quantification exacte, ça va indiquer les endroits où on va trouver une productivité primaire importante sur les continents via un indice de végétation - reconstitué par satellite - .



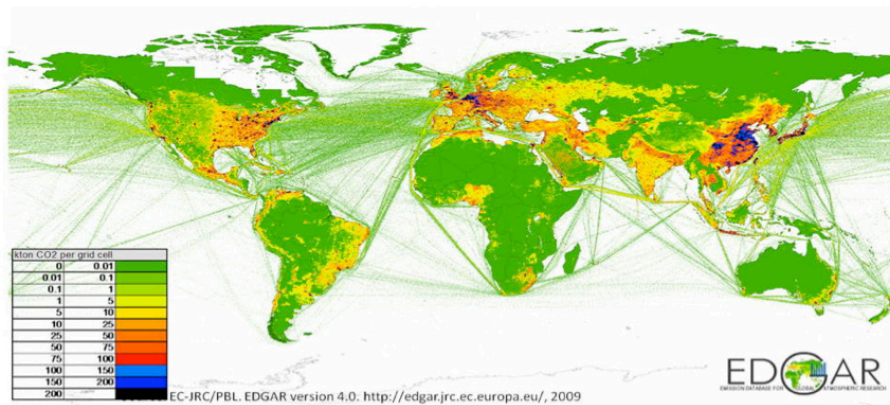
- ⇒ On voit les zones vertes et bleues au niveau des forêts tropicales équatoriales et au niveau de l'Amérique du Nord, de l'Europe et de l'Asie au niveau des moyennes latitudes, une productivité qui est maximum sur les continents avec 60 pétagrammes de carbone par an environ d'échanges (ces échanges étant assurés par les plantes vasculaires), et la limitation de ces échanges en fait c'est la lumière, la température, l'eau et les nutriments : le carbone, l'azote, le phosphore.
- Sur les océans, on a grâce à la chlorophylle qui est reconstruite par satellite, une indication de la productivité primaire.
- ⇒ On voit dans l'Atlantique Nord une productivité importante, dans l'océan Austral et puis, toutes les côtes, notamment celles où on va avoir des deltas de grands fleuves, on a aussi une productivité primaire qui est relativement importante et qui est retrouvée par ces satellites en tout cas qualitativement.
- ⇒ On l'estime, via des modèles, à 50 pétagrammes de carbone par an, c'est le phytoplancton qui assure cette productivité et la limitation cette fois n'est pas l'eau bien évidemment mais plutôt la lumière, les nutriments et le fer.
- Ce cycle naturel équilibré, est perturbé depuis la révolution industrielle - peut-être un peu avant mais en tout cas plus fortement depuis la révolution industrielle -, par les émissions des combustibles fossiles, liées à leur combustion, donc le charbon (dans l'ordre d'arrivée), le pétrole puis gaz pour un total d'à peu près 7,8, plus ou moins 0,6 pétagrammes de carbone par an pour les années 2000.
- Autre source de CO<sub>2</sub>, c'est le changement d'utilisation des sols, le fait de déforester, de brûler ou de convertir des terres entre des forêts, des prairies, des cultures et des zones

urbaines, à perturber le cycle du carbone et a contribué à émettre de l'ordre de 1,1, plus ou moins 0,8 pétagrammes de carbone par an.

⇒ C'est un flux plus faible mais aussi plus incertain en relatif que les émissions dues aux combustibles fossiles.

La carte des émissions liées aux combustibles fossiles, les émissions de CO<sub>2</sub> est représentée ici et il n'est pas trop surprenant de retrouver les trois zones classiques entre guillemets liées à tout ce qui est émission de polluants.

## Carte et évolution des émissions de CO<sub>2</sub>

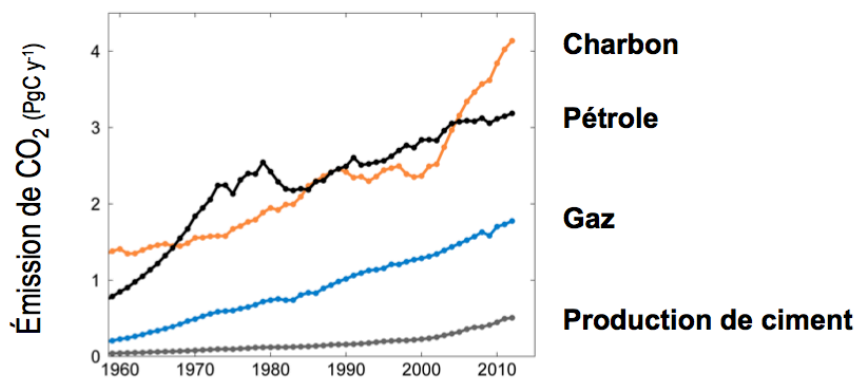


Source : EDGAR4.0

⇒ Donc l'Amérique du Nord, Europe et d'Asie, avec tout de même, il faut noter en Asie un mouvement des émissions depuis 15 ans, du Japon vers effectivement la Chine.

⇒ On voit aussi sur cette carte quelques pays émergents : l'Inde, le Brésil et quelques pays africains qui apparaissent dans le concert des émissions de CO<sub>2</sub> au niveau mondial.

➤ En ce qui concerne l'évolution de ces émissions depuis les années 60, on l'a ici par type de combustible.

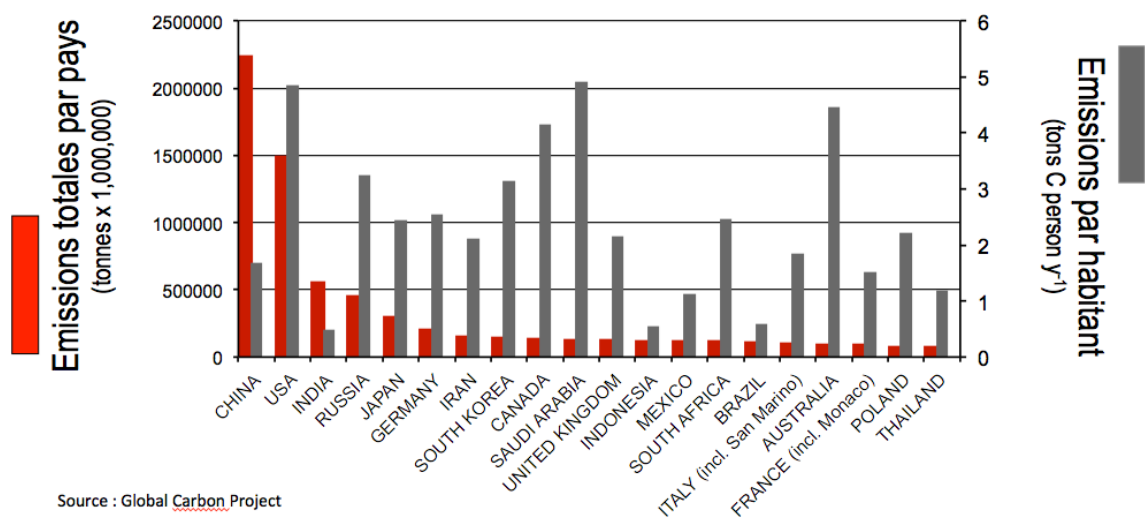


Source : [CDIAC Data](#); [Le Quéré et al 2013](#); [Global Carbon Project 2013](#)

⇒ On voit que le pétrole dominait jusqu'aux années 2000, suivi du charbon qui était un petit peu en perte de vitesse et du gaz mais tirant la croissance asiatique, le charbon est devenu

la première source de CO<sub>2</sub> depuis les années 2000, encore une fois via les émissions asiatiques.

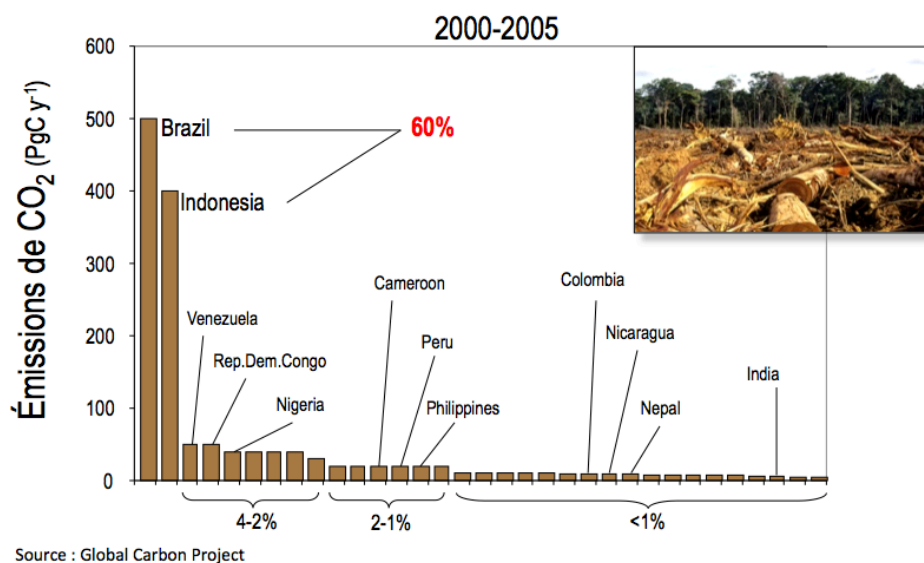
- Alors il ne faut toutefois pas opposer fortement les émissions asiatiques au reste du monde puisqu'il ne faut pas oublier que via ces émissions, on fabrique un certain nombre de produits manufacturés - dans certaines catégories, même la plupart des produits manufacturés mondiaux -, qui sont ensuite utilisés par les différents pays, en Amérique du Nord, en Europe, en Australie etc. et que donc, une partie de ces émissions de CO<sub>2</sub> devrait peut-être être réattribuée aux pays utilisant les produits.
- ⇒ C'est d'ailleurs un travail qui est fait par certains collègues pour estimer un petit peu plus justement effectivement ces émissions de CO<sub>2</sub>. Ce n'est pas facile, mais c'est important de considérer cet aspect des choses.
- ⇒ Donc, on voit bien qu'encore une fois, c'est aujourd'hui le charbon qui subit la plus forte croissance avec des réserves qui sont importantes pour l'avenir.
- Une autre vision de ces émissions de CO<sub>2</sub>, ce sont les émissions par pays (en rouge, ici sur ces barres), ou par habitant (en gris).



- ⇒ Et donc là, on voit que par pays donc c'est la Chine qui depuis 2007 est le premier émetteur de CO<sub>2</sub> par combustion des combustibles fossiles, suivie des États-Unis, de l'Inde et de la Russie mais que, effectivement, par habitant, une fois qu'on divise ces chiffres par la population de chaque pays, là cette fois-ci c'est en gros en dehors des pays, des Emirats effectivement, c'est les États-Unis qui ont la plus forte émission par habitant.
- ⇒ À noter qu'un Américain moyen va émettre environ deux fois plus de CO<sub>2</sub> qu'un Européen moyen – on peut prendre par exemple l'Allemagne sur ce graphique.
- ⇒ Ce qui traduit aussi le fait qu'en Europe, on a pris des mesures après les chocs pétroliers des années 70 pour endiguer un petit peu, améliorer effectivement l'utilisation de

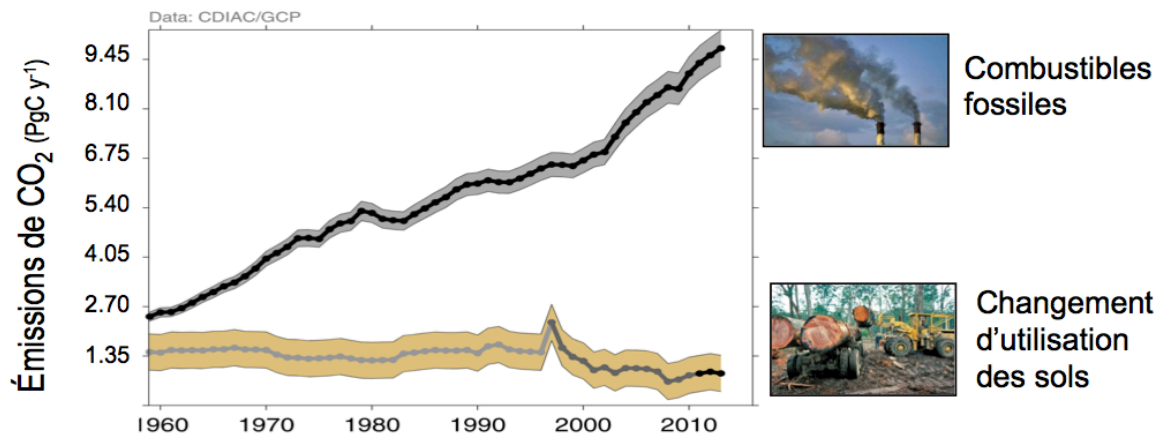
l'énergie, ce qui a contribué à émettre moins de CO<sub>2</sub>, ce qui n'a pas été forcément le cas aux États-Unis.

- Un autre élément important, c'est bien sûr la Chine où on voit qu'à cause de la population importante (la barre rouge est fortement réduite quand on passe par habitant), et donc à noter qu'un chinois aujourd'hui moyen va émettre à peu près autant de CO<sub>2</sub> qu'un Européen moyen traduisant la hausse du niveau de vie dans le pays, même s'il y a de forts contrastes entre effectivement les zones urbaines et les zones rurales.
- ⇒ Donc ces deux aspects des émissions de CO<sub>2</sub> sont importants puisque si on négocie par pays, dans les négociations internationales, chaque habitant a quand même le droit aussi d'avoir une certaine quantité d'énergie finalement - puisque cet indicateur CO<sub>2</sub> donne un peu une idée de la quantité d'énergie disponible pour chaque habitant -, pour se développer lui et sa famille.
- Autre source due aux activités humaines, donc la déforestation. Pour les années 2000, on voit les deux pays ici qui contribuent le plus, pour 60 % à eux deux, à la déforestation à l'échelle planétaire : le Brésil et l'Indonésie.



- ⇒ Les autres pays contribuant beaucoup plus faiblement mais pour quand même au total 40 %, notamment les pays africains où l'on a beaucoup déforesté et où on a des politiques aussi de reforestation (comme dans les autres continents d'ailleurs) qui se mettent en place de plus en plus pour essayer d'endiguer cette déforestation.

Si on fait maintenant le bilan de ces deux perturbations finalement, les combustibles fossiles d'un côté et le changement d'utilisation des sols de l'autre.



Source: [CDIAC](#); [Houghton et al 2012](#); [Giglio et al 2013](#); [Le Quéré et al 2014](#); [Global Carbon Budget 2014](#)

- On voit sur la courbe grise donc qu'on part de 2,5 pétagrammes de carbone par an dans les années 60 pour arriver à presque 10 aujourd'hui, avec il faut le dire, une croissance accélérée dans les dernières décennies puisque jusque dans les années 90 on était à peu près à 1 % par an d'augmentation de CO<sub>2</sub> et via, encore une fois, toute la croissance tirée par l'Asie récemment, on a effectivement plutôt un taux de croissance du CO<sub>2</sub> et des émissions de l'ordre de 2 % maintenant par an, ce qui relativement soutenu.
  - Pour les changements d'utilisation des sols, on est parti à 1,4 pétagrammes de carbone par an, on est aujourd'hui à un petit peu moins de 1 pétagrammes de carbone par an (0,9), avec des efforts qui ont été faits effectivement pour endiguer la déforestation qui semblent commencer peut-être à porter leurs fruits.
- ⇒ On voit, c'est ce pic en 97, ce sont les émissions liées aux changements d'utilisation des sols. Ce pic est dû à un événement El Nino, qui est un événement naturel, qui a entraîné des sécheresses prononcées dans certaines zones du globe et donc des feux beaucoup plus importants qui ont émis plus de CO<sub>2</sub> cette année-là et donc ce toutes ces variations ne sont pas nécessairement liées encore une fois qu'aux perturbations humaines.

Donc, il sera intéressant de voir dans un second temps ce que vont devenir ces émissions une fois qu'elles sont dans l'atmosphère.