



Comprendre notre climat à partir de l'équation de Kaya





$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{POP}} \times \text{POP}$$

Yoichi Kaya : économiste de l'énergie japonais,
a développé cette équation dans son ouvrage :

***Environment, Energy, and Economy :
strategies for sustainability.***

https://www.iiasa.ac.at/web/home/research/fellow/Yoichi_Kaya.html


$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{POP}} \times \text{POP}$$

**L'équation n'aborde pas tous les aspects du réchauffement climatique.
Pour avoir une vision globale, il faut aussi tenir compte d'autres éléments.**

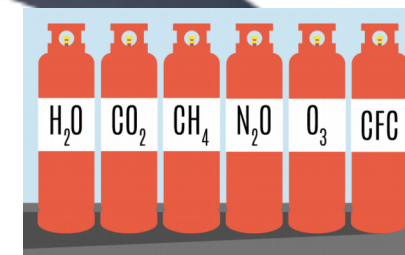
CO₂

Dioxyde de carbone

Le CO₂, gaz incolore, inerte et non toxique, est le principal gaz à effet de serre à l'état naturel, avec la vapeur d'eau. Sa durée de vie dans l'atmosphère est d'environ 100 ans. Il est **produit lorsque des composés carbonés sont brûlés et en présence d'oxygène.**

Ses **sources naturelles** sont très nombreuses : éruptions volcaniques, respiration des plantes, des animaux et des hommes, incendies naturels de forêts, décomposition de la matière organique morte de plantes et d'animaux...

CO₂ = 1 des gaz à effet de serre



la vapeur d'eau (H₂O)

le gaz carbonique (CO₂) - un peu moins 65 % de l'ESA* - 100 ans

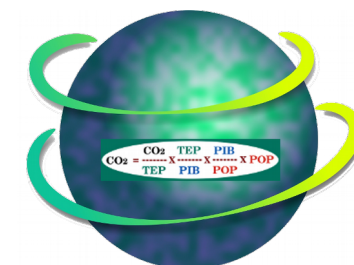
le méthane (CH₄) - un peu plus de 15% de l'ESA* - 12 ans

le protoxyde d'azote (N₂O) - environ 5% de l'ESA* - 120 ans

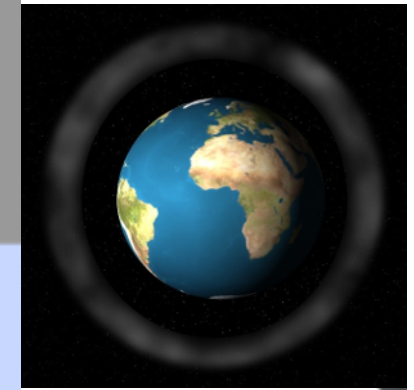
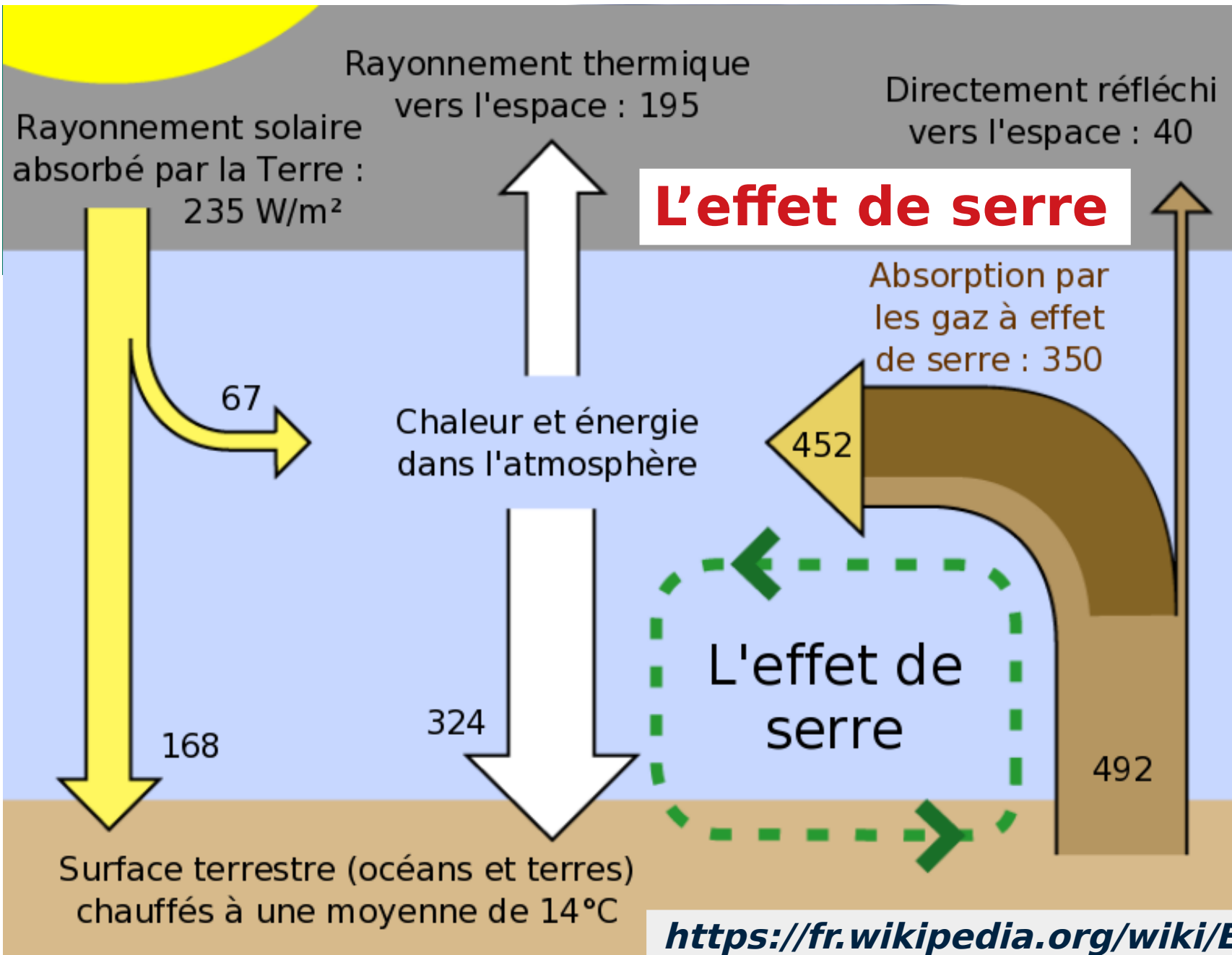
l'ozone (O₃) - environ 10% de l'ESA*

Les halocarbures - un peu moins de 10% de l'ESA* - 50.000 ans

... * ESA : effet de serre anthropique / dû à l'homme



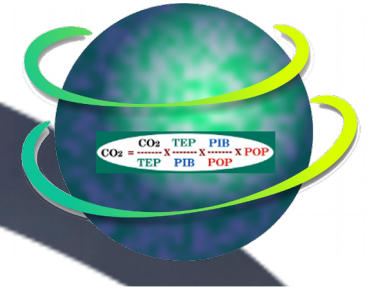
Ref : <http://www.focusclimat.eu/affichage.php?motclefspec=20071017002>



Température moyenne **sans gaz** à effet de serre : **- 18°**

https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_de_serre

CO₂ = CO₂



L'effet de serre, de la vieille science...

1824 : Joseph **Fourier**, physicien français, publie "Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires", où il expose que la température du sol est augmentée par le rôle de l'atmosphère

1838 : Claude **Pouillet**, physicien français, puis Joseph Tyndall, un irlandais, attribuent l'effet de serre naturel à la vapeur d'eau et au gaz carbonique. Pouillet affirme que toute variation de la quantité de vapeur d'eau, comme de CO₂, doit se traduire par un changement climatique

1896 : Svante **Arrhenius**, chimiste Suédois (Prix Nobel 1903) **prédit que l'utilisation intensive des combustibles fossiles engendrera un réchauffement climatique**. Il donne un ordre de grandeur : 4°C en plus pour un doublement du CO₂ dans l'air.

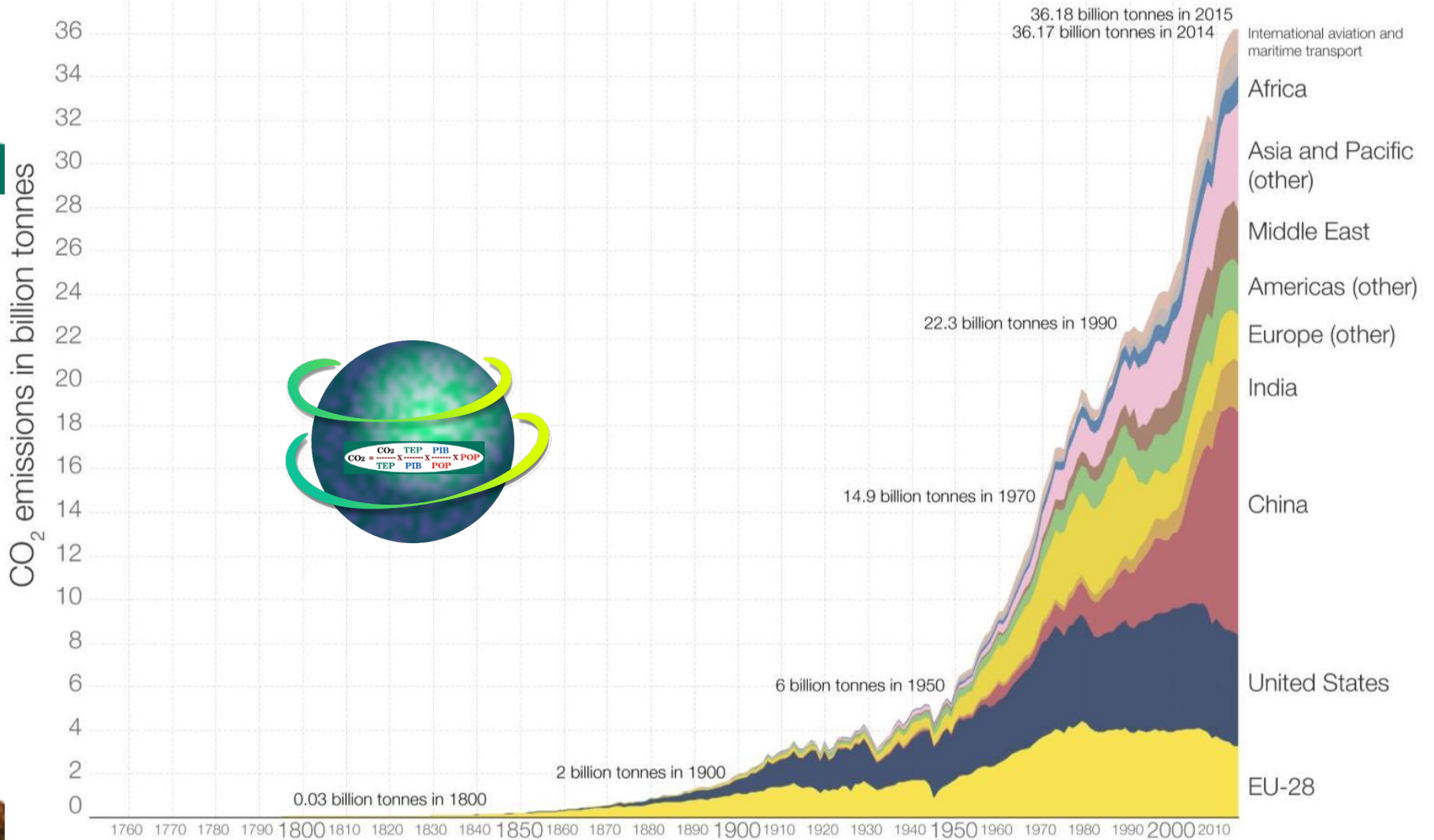
1950 : Le premier ordinateur (l'ENIAC) est utilisé pour expérimenter le premier modèle numérique de prédiction météorologique

Années **1970** : le **spectromètre de masse** permet de reconstituer les températures sur très longue période par analyse isotopique de la glace polaire

source : jancovici.com

Global CO₂ emissions by world region, 1751 to 2015

Annual carbon dioxide emissions in billion tonnes (Gt).

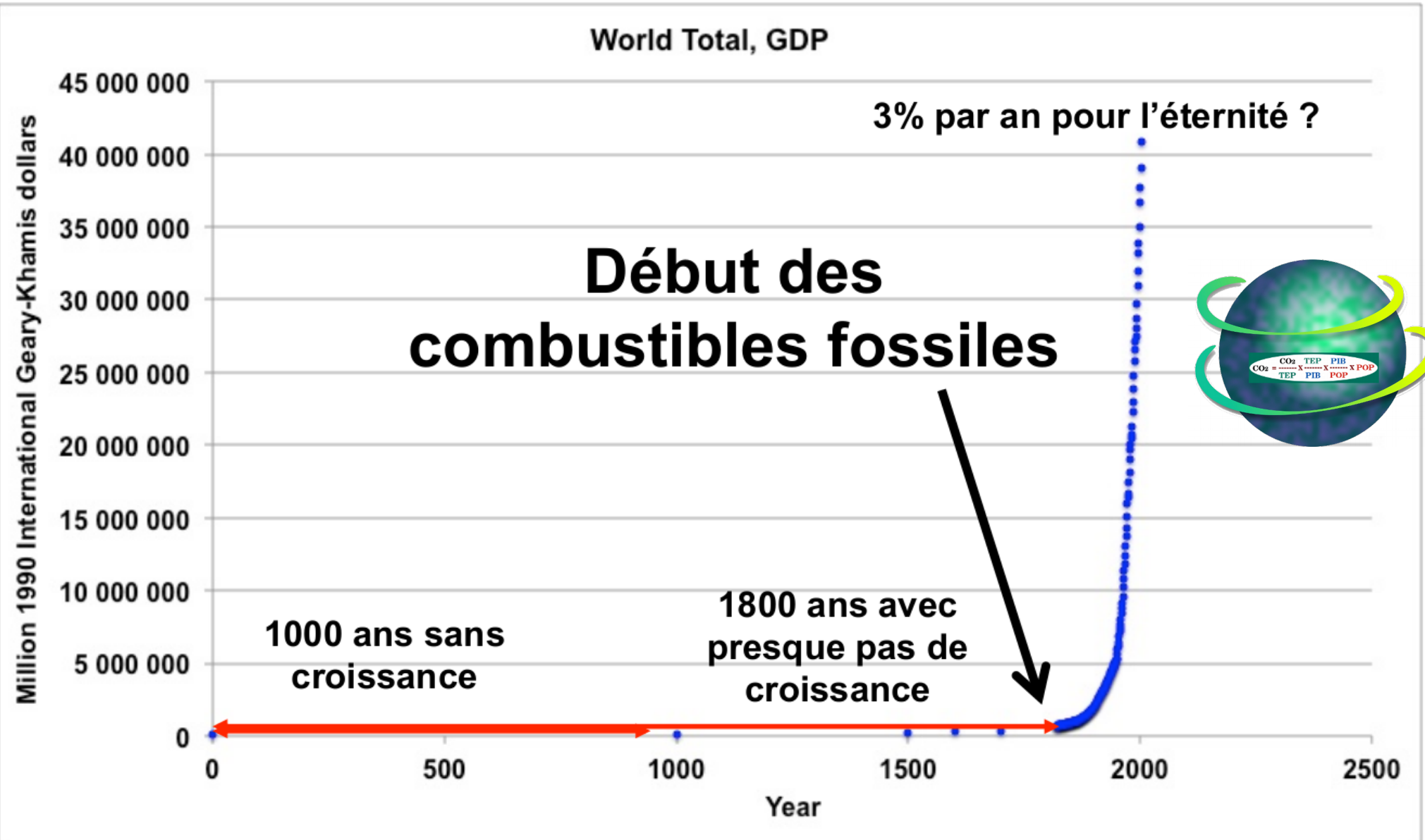


Data source: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC); aggregation by world region by Our World In Data. The interactive data visualization is available at OurWorldinData.org. There you find the raw data and more visualizations on this topic.

Licensed under CC-BY-SA.

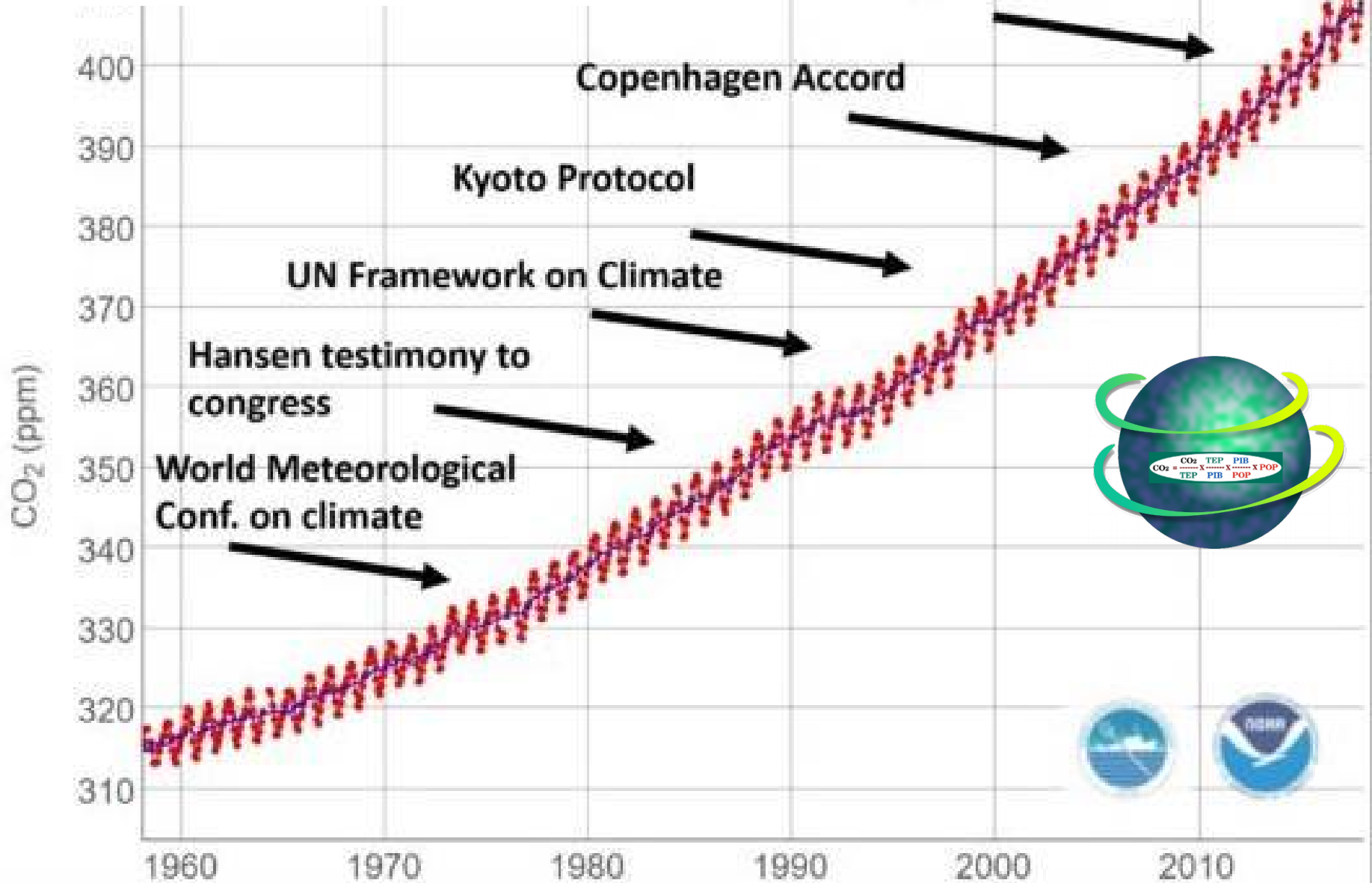
CO₂

Énergies fossiles & croissance



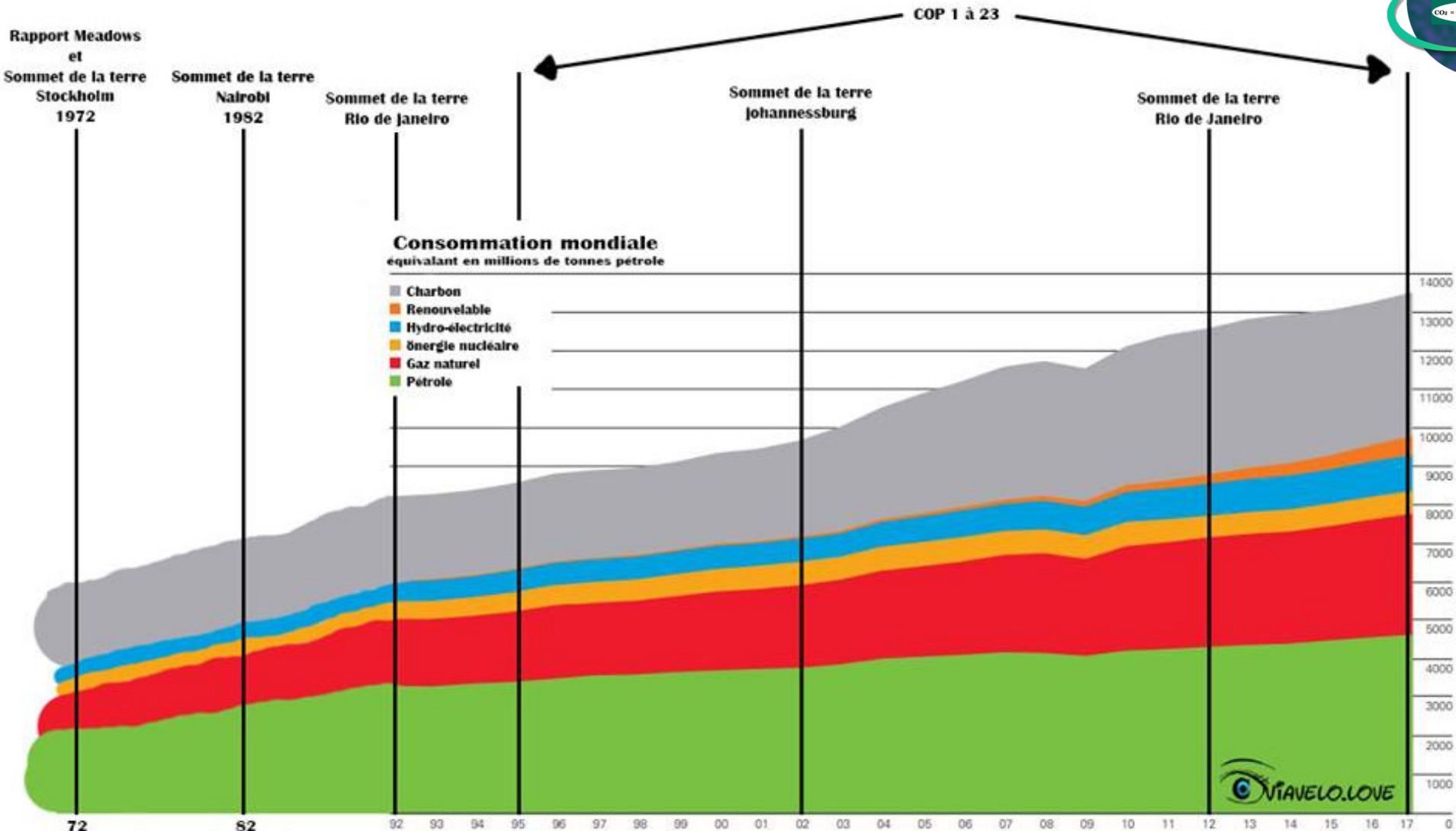
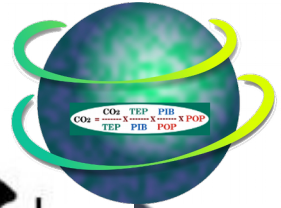


Effet de serre & COP



CO₂

Énergies fossiles & COP



Plus de 50 ans que la chose se sait, 46 ans que nous ne pouvons plus le nier...
5 sommets de la terre et 23 COP plus tard, nous avons fait de vrais efforts pour la planète, nous avons doublé notre consommation d'énergie

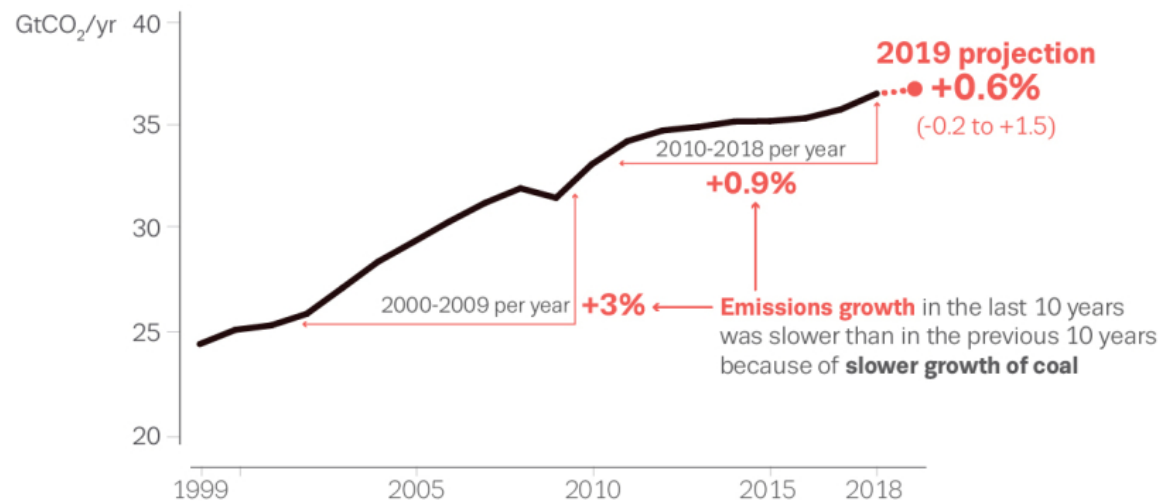
Effet de serre & COP25

CO₂

Global Carbon Budget 2019

CO₂ emissions grow amidst slowly emerging climate policies

Fossil CO₂ emissions grow more slowly... but do not yet decline

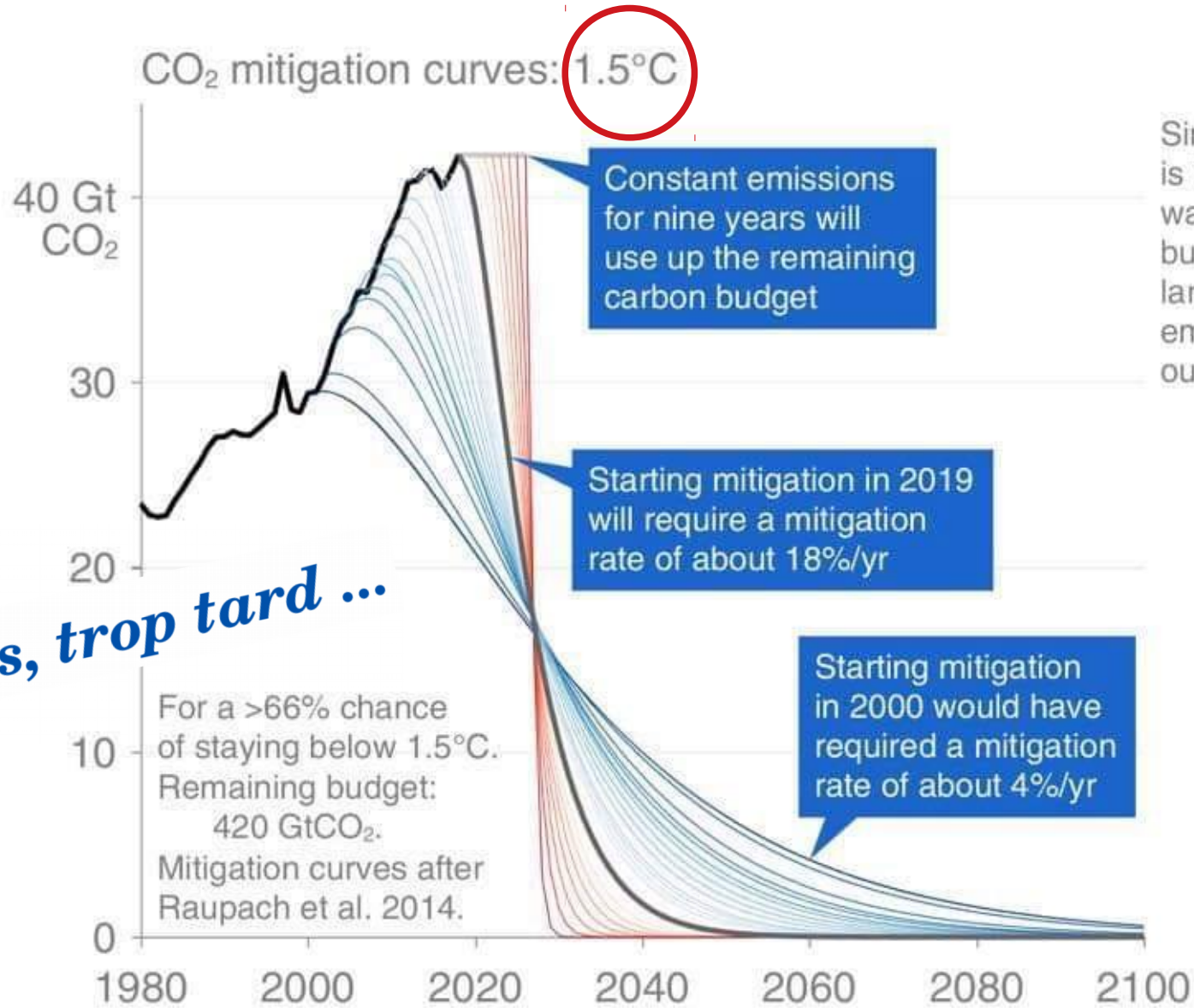


CO₂ emissions need to decline rapidly to net-zero around mid-century to pursue the Paris Agreement 1.5°C goal

Au **rythme actuel** des émissions de CO₂, le mercure pourrait gagner jusqu'à **4 ou 5°C** d'ici la **fin du siècle**. Même si les **engagements sont respectés**, le réchauffement pourrait **dépasser les 3°C**.

Pour garder le réchauffement en dessous de +1,5°

CO₂



Since 18%/yr mitigation is impossible, the only way to achieve this budget is with very large "negative" emissions: pulling CO₂ out of the atmosphere.



Oups, trop tard ...

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \text{TEP}$$

Efficacité et mix énergétique

TEP = Tonne Équivalent Pétrole

1 TEP = 11,6 MWh

CO2 par énergie :

reflète le mix énergétique (pas seulement électrique) utilisé mondialement.

Ce ratio s'est amélioré de 10% seulement en 35 ans (1970 à 2005).

La division par 3 de ce ratio suppose une pénétration massive des énergies « sans carbone » dans le mix énergétique.

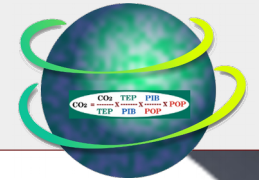
Ref : Jancovici

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \text{TEP}$$

Efficacité et mix énergétique

TEP = Tonne Équivalent Pétrole

1 TEP = 11,6 MWh



Le **paradoxe de Jevons** énonce qu'à mesure que les **améliorations technologiques** augmentent l'**efficacité** avec laquelle une ressource est employée, la **consommation totale** de cette ressource **peut augmenter** au lieu de diminuer. En particulier, ce paradoxe implique que l'introduction de technologies plus efficaces en matière d'énergie peut, dans l'agrégat, augmenter la consommation totale de l'énergie. On parle également d'**effet rebond**.

Il est baptisé du nom de **William Stanley Jevons**.



$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \text{PIB}$$

Performance Énergétique
TEP = Tonne Équivalent Pétrole
PIB = indice de richesse

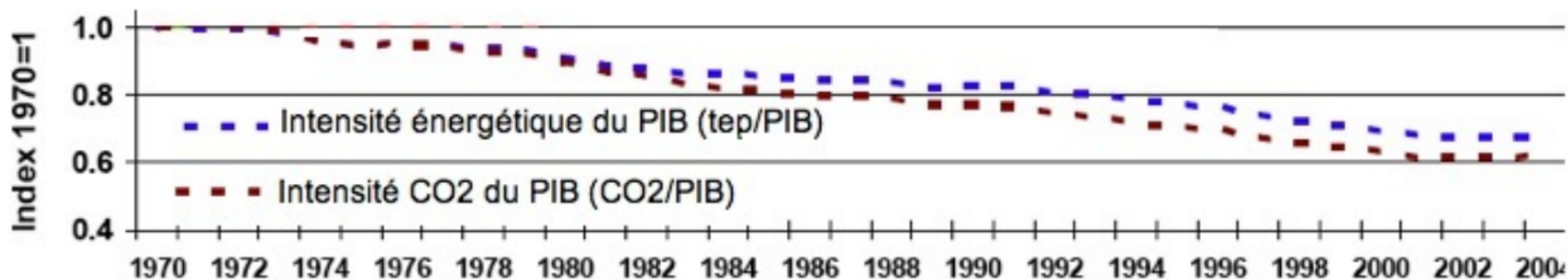


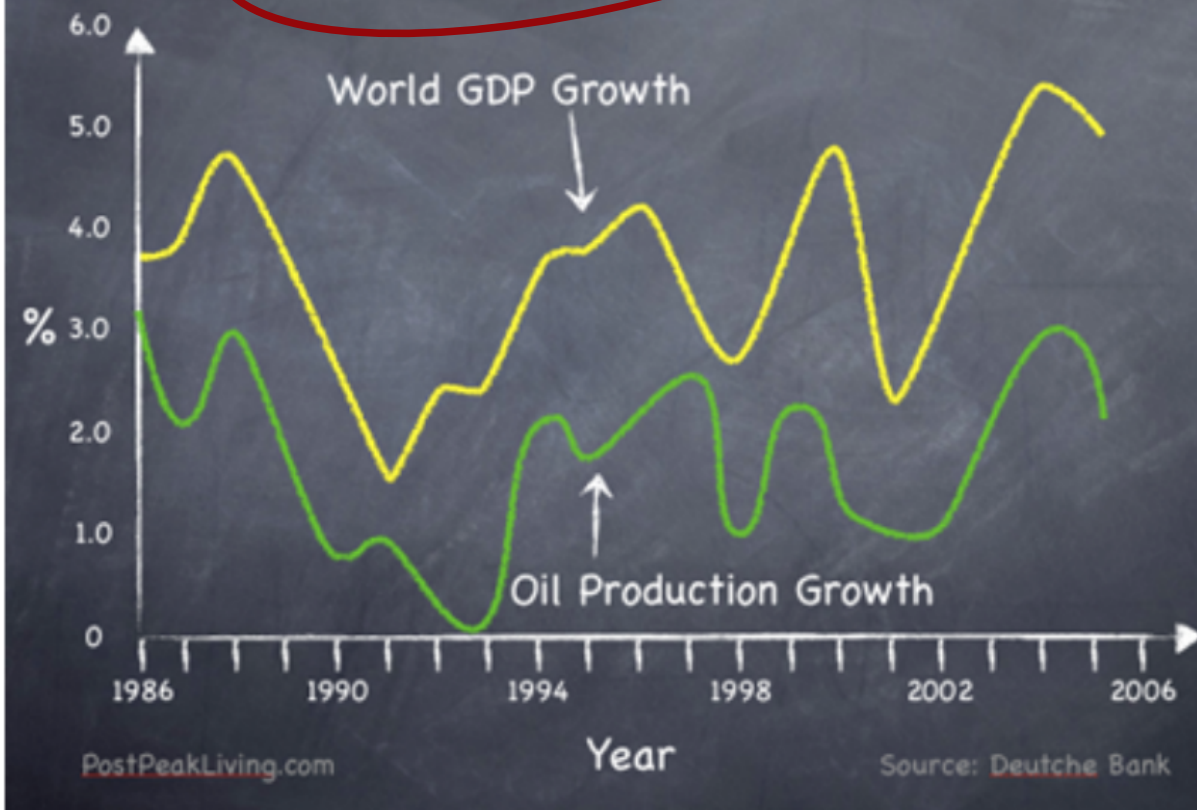
Fig 1: Évolution des intensités carbonées et énergétiques de 1970 à 2004. On observe qu'elles sont proches, et ne se sont améliorées que de moins de 1% par an. (source: GIEC AR4)

Découplage CO₂ & TEP / indice de richesse :

De 1970 à 2004 : moins de 1 % par an.

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \text{PIB}$$

Oil and the World Economy



PIB
/
Production de pétrole

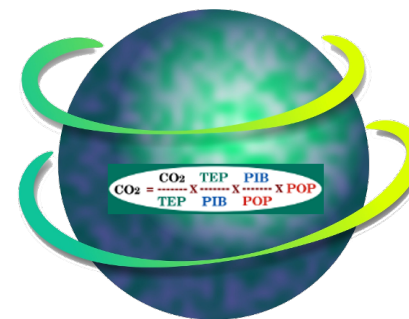
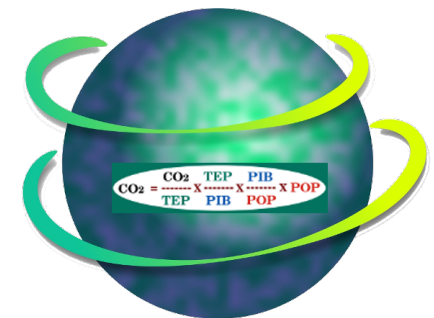
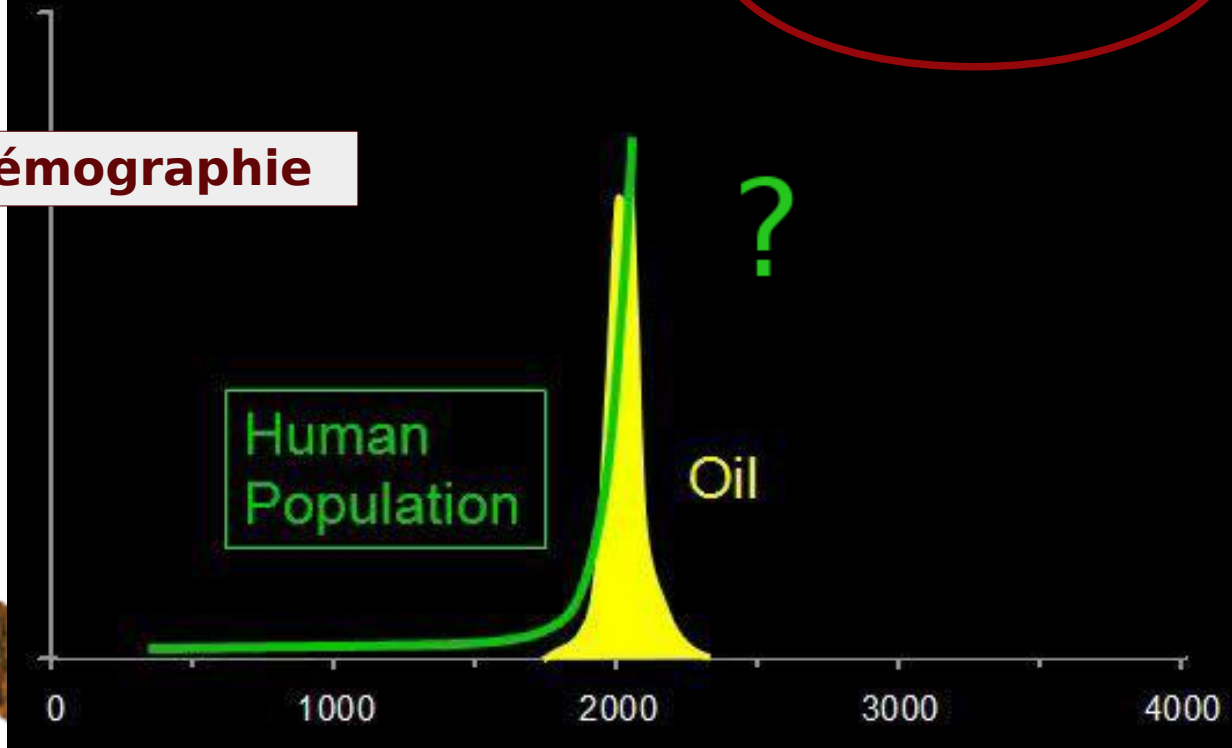


Fig3: Corrélacion PIB Mondial / Production de pétrole

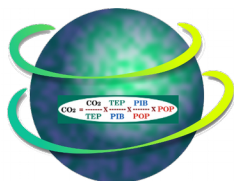
$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} \times \frac{TEP}{PIB} \times PIB$$

A Brief History of Oil & Humans

Pop - démographie

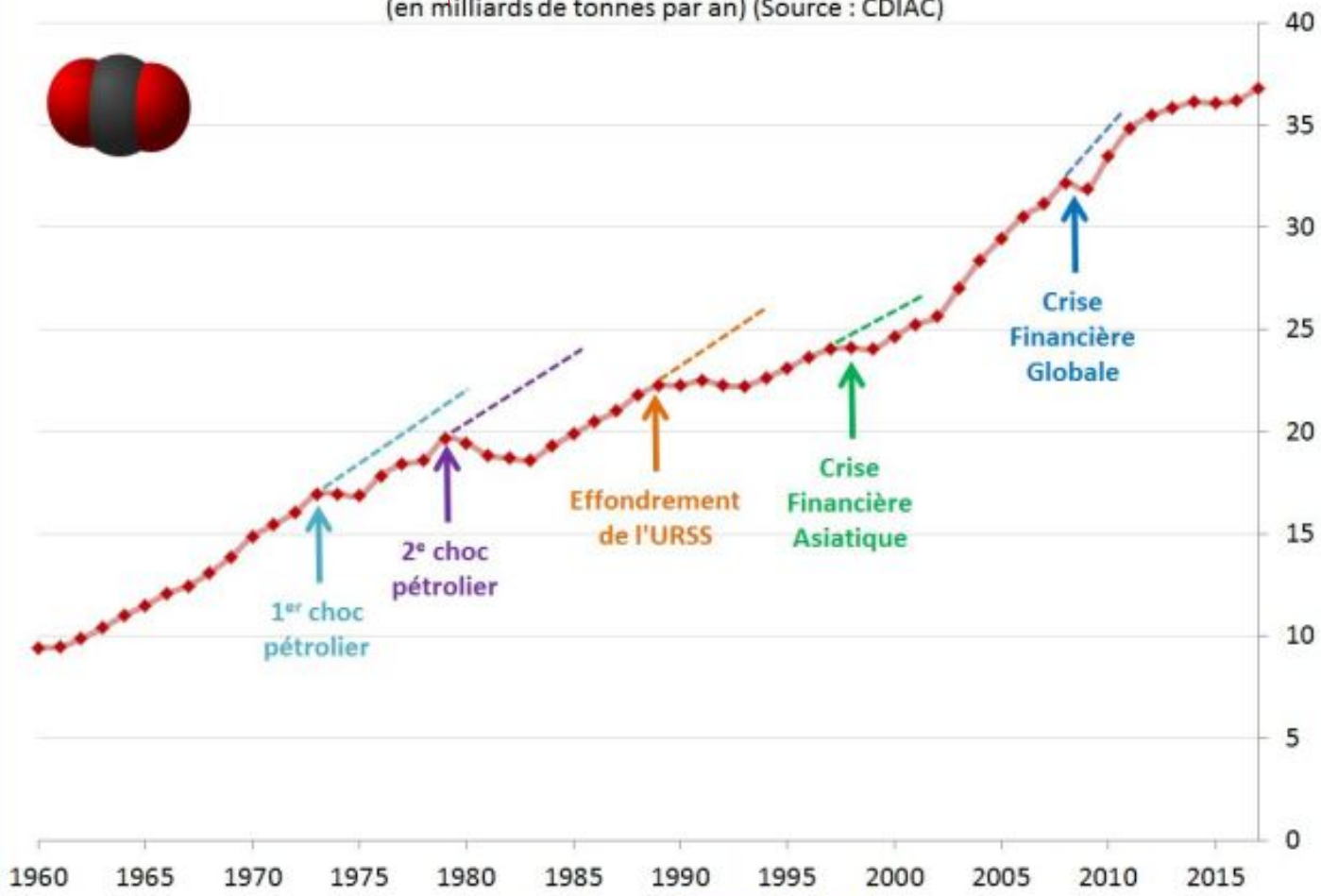


$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \text{PIB}$$



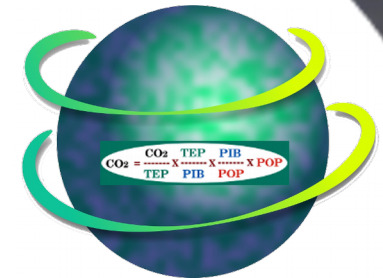
Émissions mondiales de CO₂ d'origine fossile, 1960-2017

(en milliards de tonnes par an) (Source : CDIAC)



Olivier Berruyer, www.les-crises.fr

$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} \times \frac{TEP}{PIB} \times PIB$$



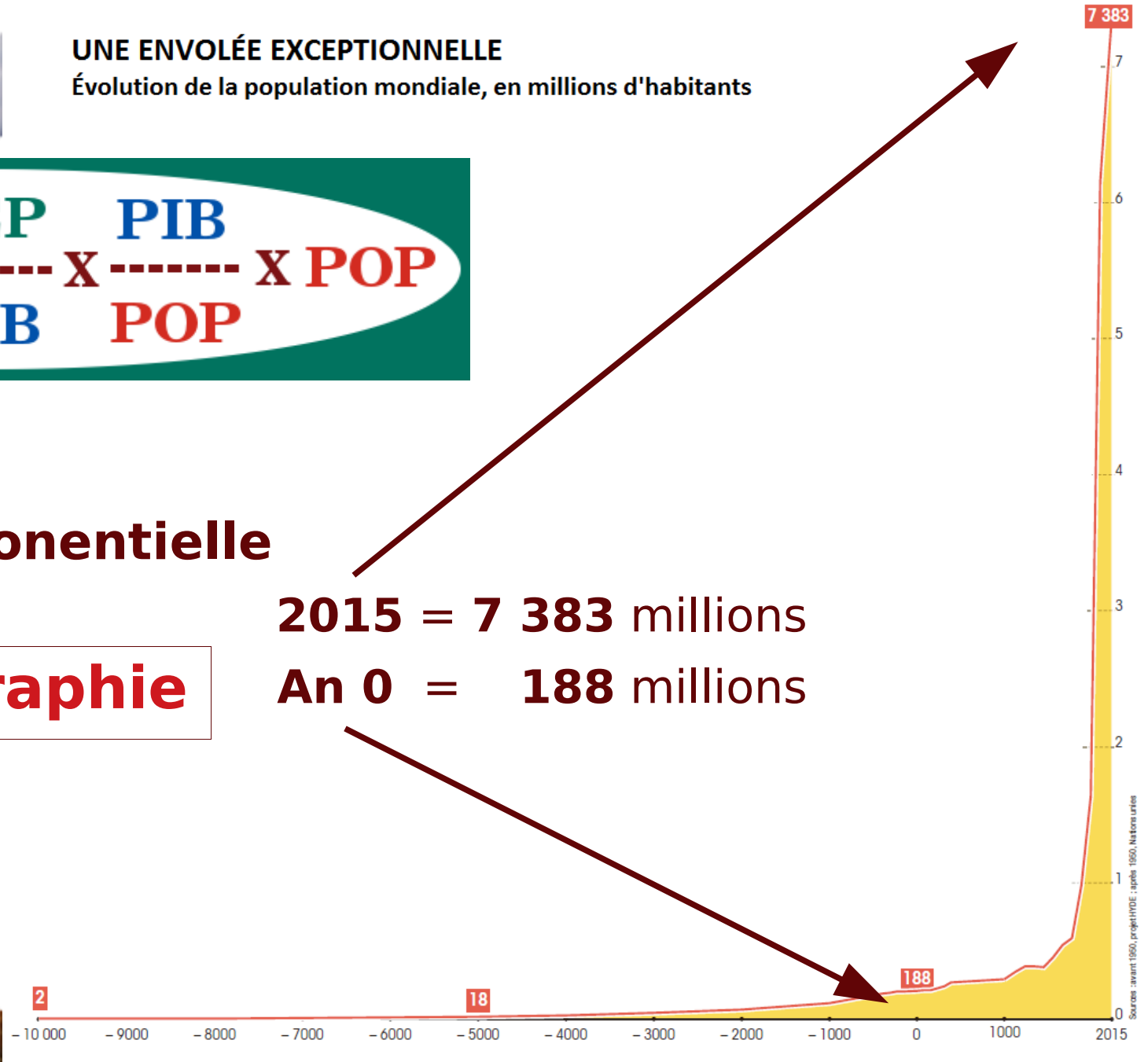
UNE ENVOLÉE EXCEPTIONNELLE
Évolution de la population mondiale, en millions d'habitants

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{POP}} \times \text{POP}$$

croissance exponentielle

Pop - démographie

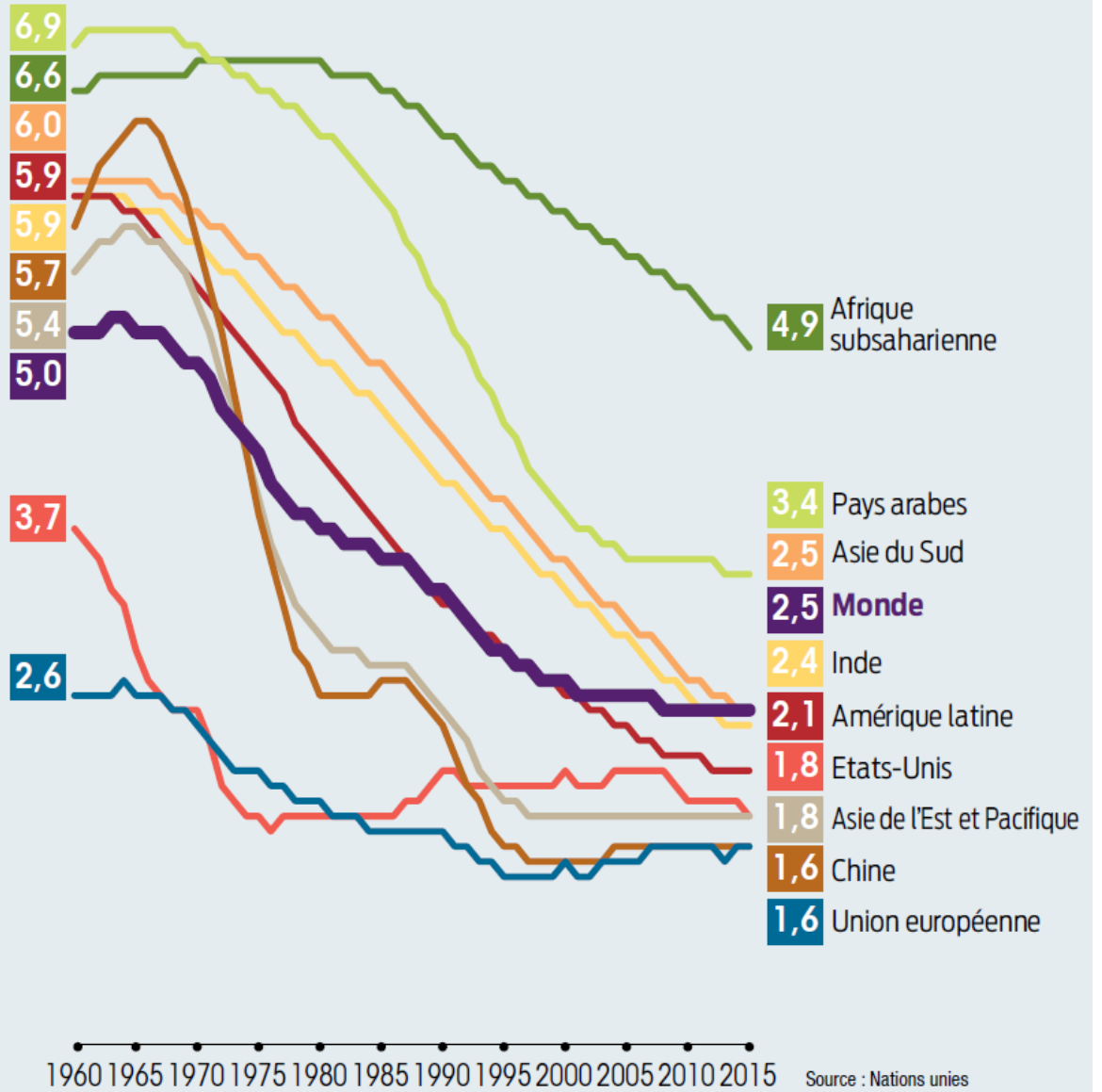
2015 = 7 383 millions
An 0 = 188 millions



$$CO_2 = \frac{CO_2}{TEP} \times \frac{TEP}{PIB} \times \frac{PIB}{POP} \times POP$$

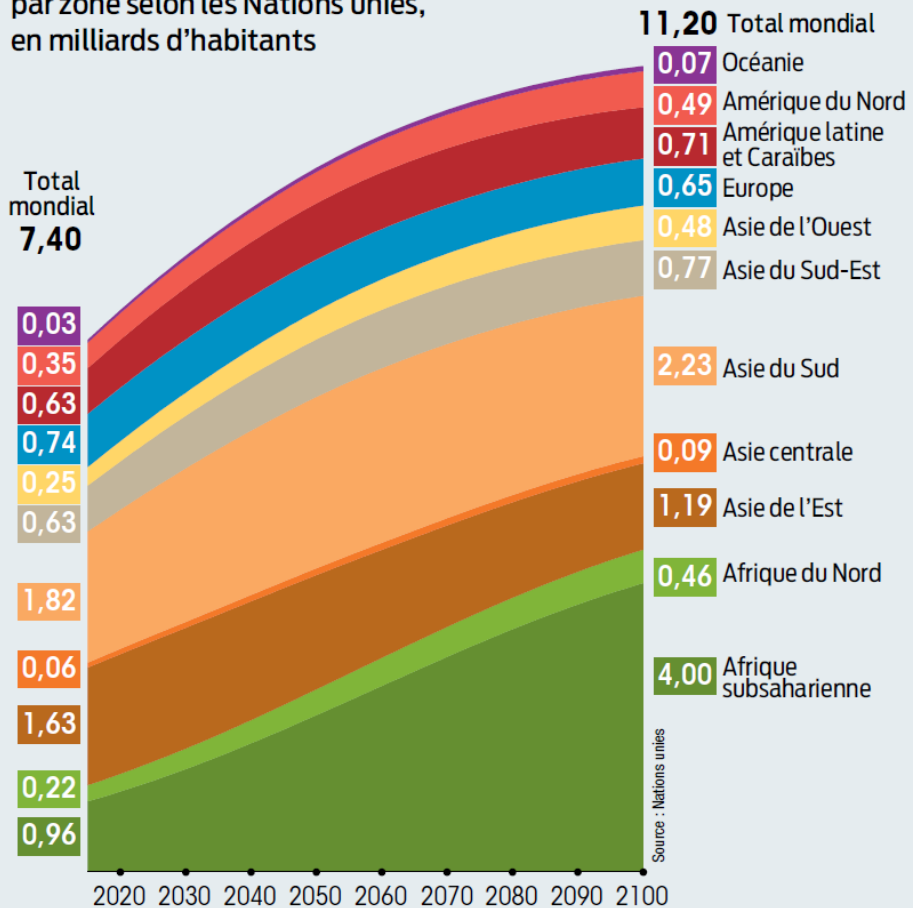
LA TRANSITION DÉMOGRAPHIQUE EST BIEN ENGAGÉE

Nombre moyen d'enfants par femme



L'AFRIQUE TIRE LA CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE MONDIALE

Projection médiane de la population mondiale par zone selon les Nations unies, en milliards d'habitants



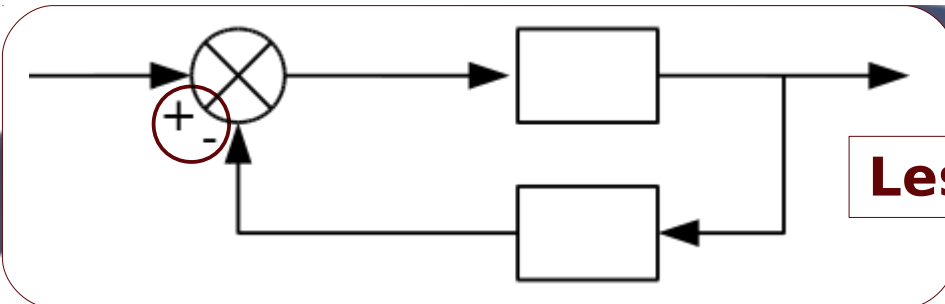
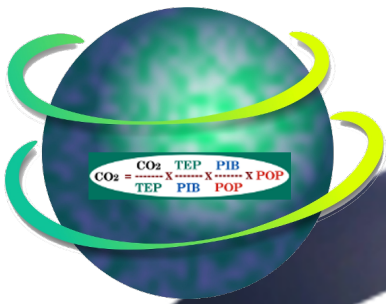
$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2}{\text{TEP}} \times \frac{\text{TEP}}{\text{PIB}} \times \frac{\text{PIB}}{\text{POP}} \times \text{POP}$$

$$\begin{array}{l} \text{Émissions} \\ \text{de CO}_2 \end{array} = \begin{array}{l} \text{Contenu en CO}_2 \\ \text{de l'énergie} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Intensité énergétique} \\ \text{de l'économie} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Production} \\ \text{par personne} \end{array} * \text{Population}$$

A noter que le produit des trois derniers rapports n'est autre que la consommation "globale" d'énergie:

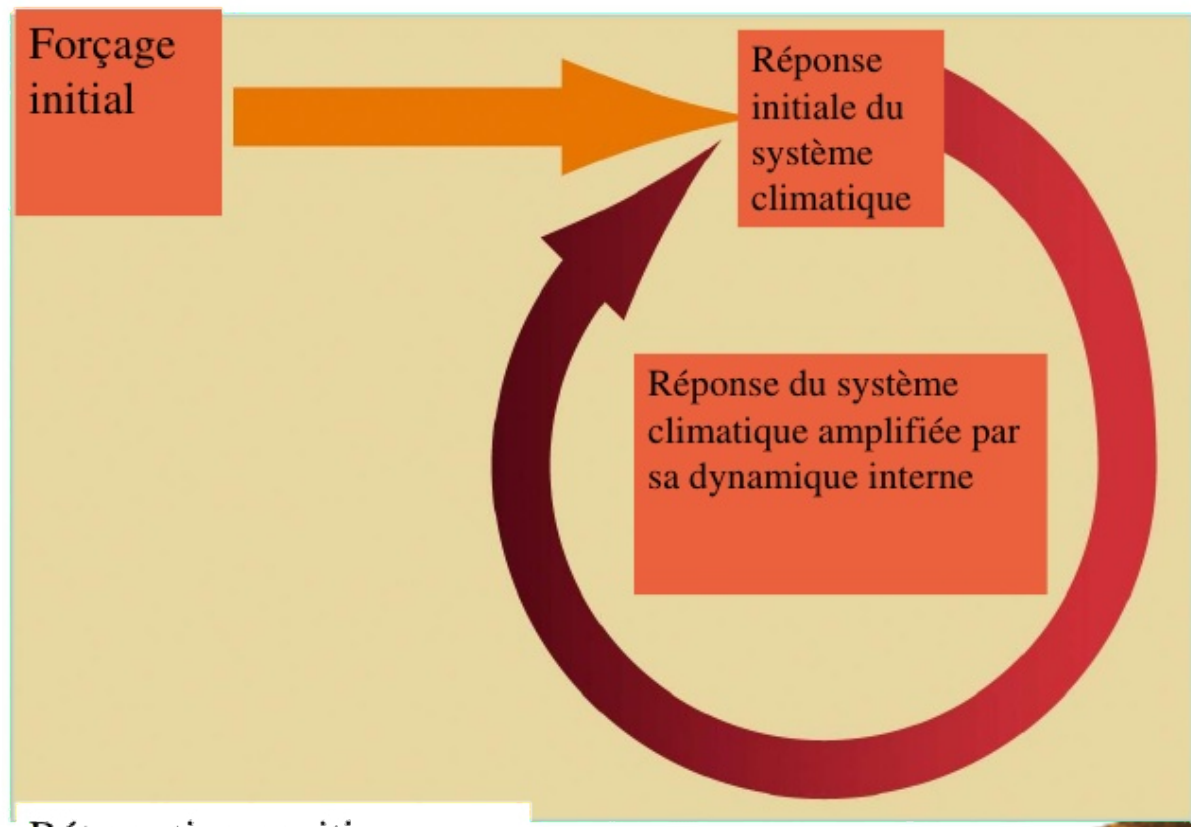
$$\begin{array}{l} \text{Consommation} \\ \text{d'énergie} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Intensité énergétique} \\ \text{de l'économie} \end{array} * \begin{array}{l} \text{Production} \\ \text{par personne} \end{array} * \text{Population}$$

source : jancovici

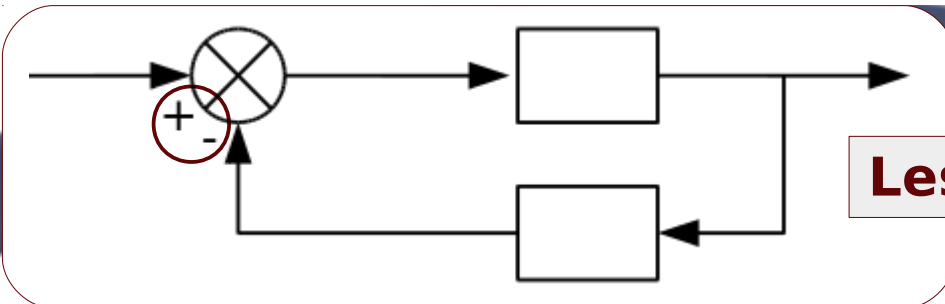
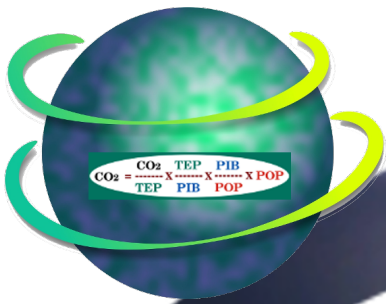


Les boucles de rétroactions

Les boucles de rétroactions

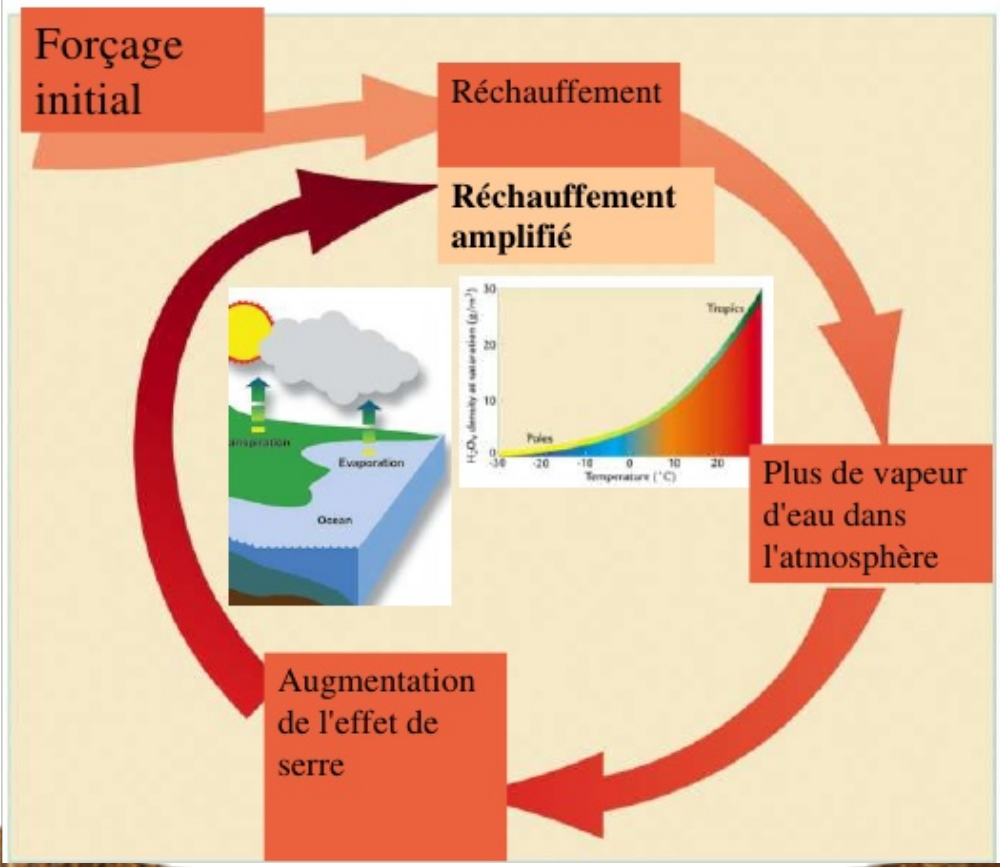


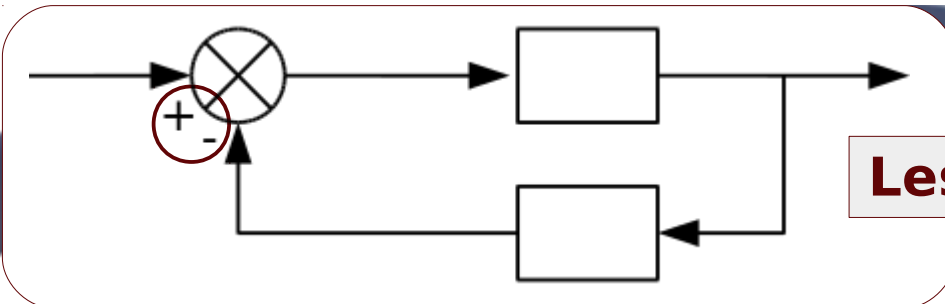
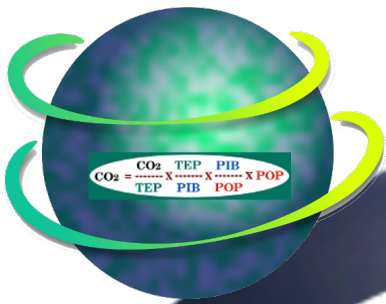
Rétroaction positive



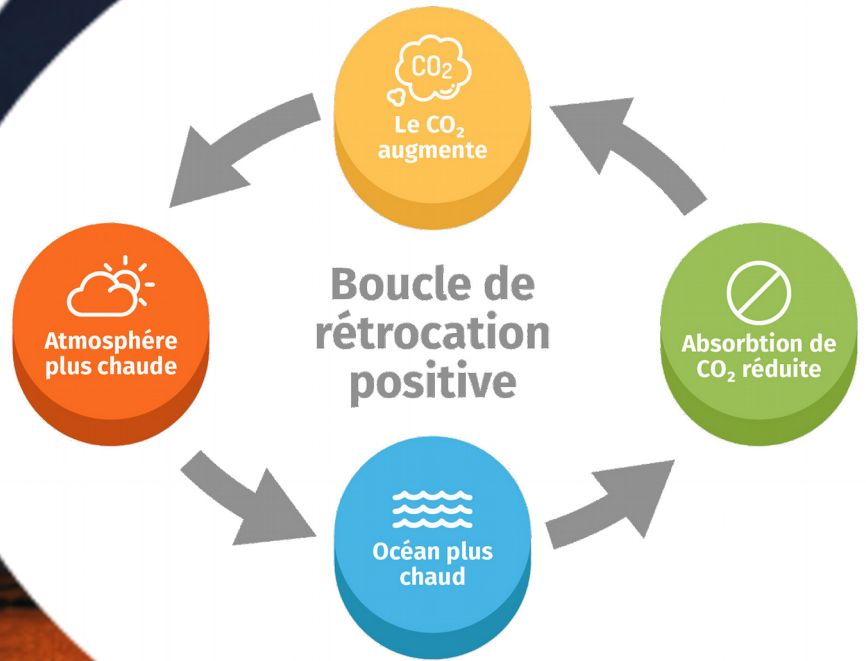
Les boucles de rétroactions

Exemple 1: rétroaction de la vapeur d'eau

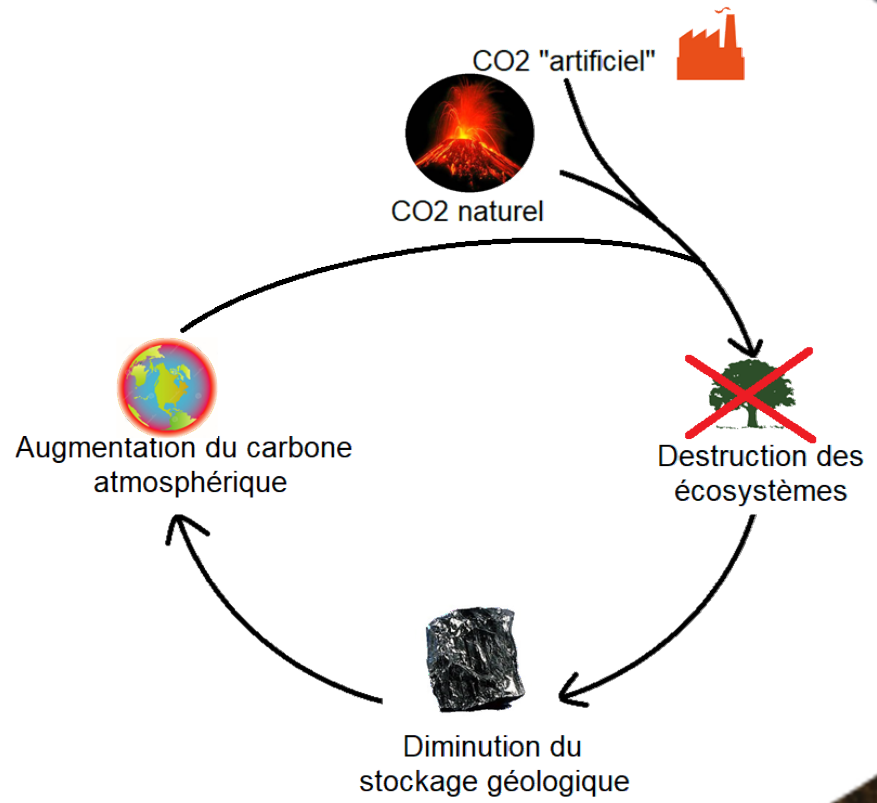


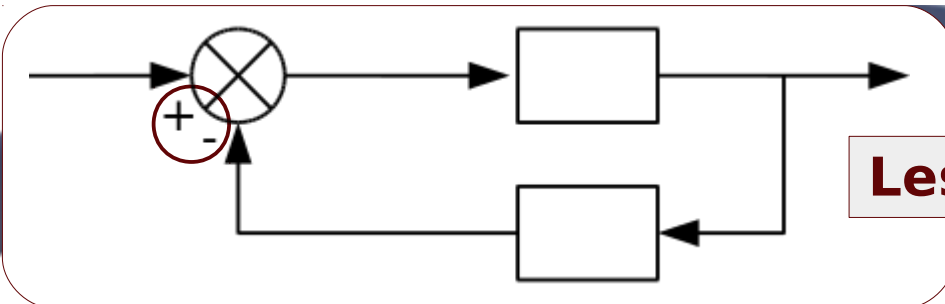
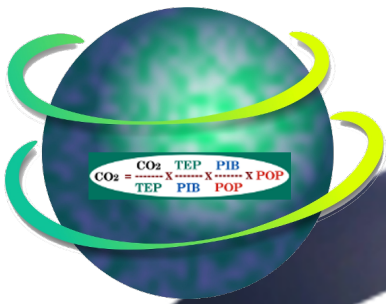


Les boucles de rétroactions



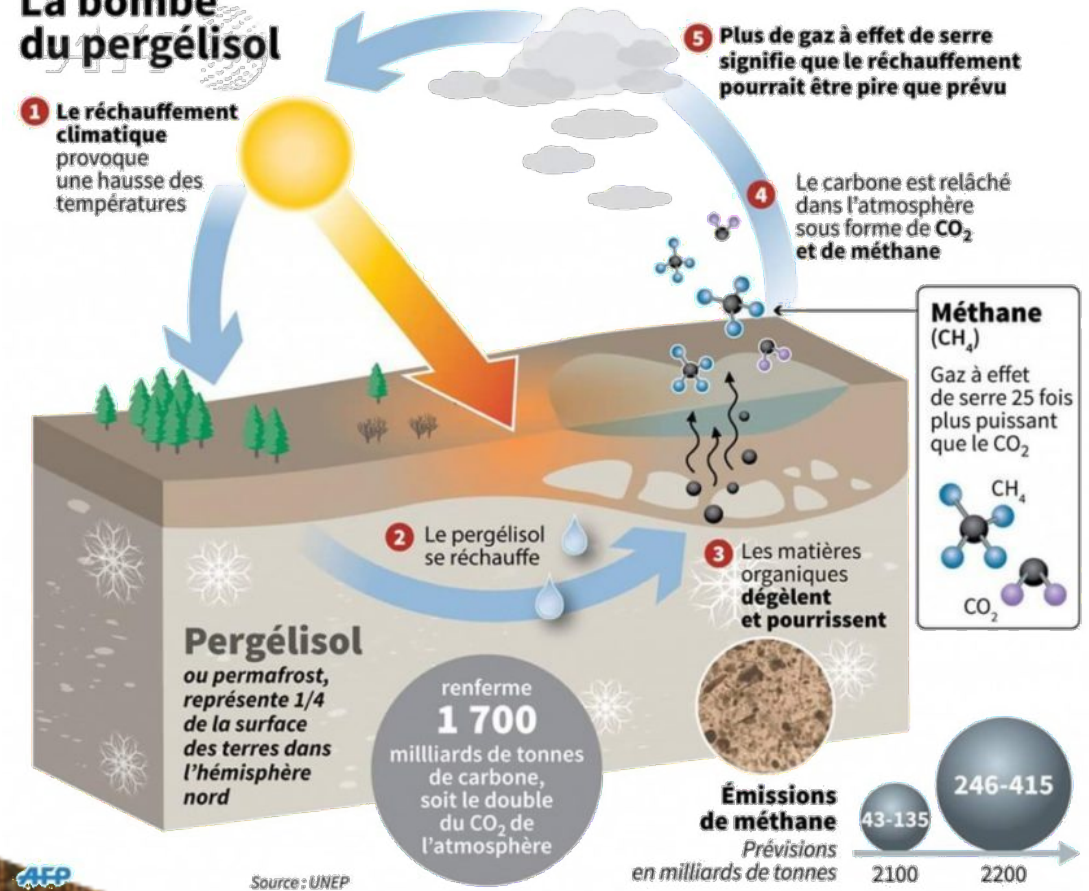
Prairie Climate Centre © 2018, Prairie Climate Centre

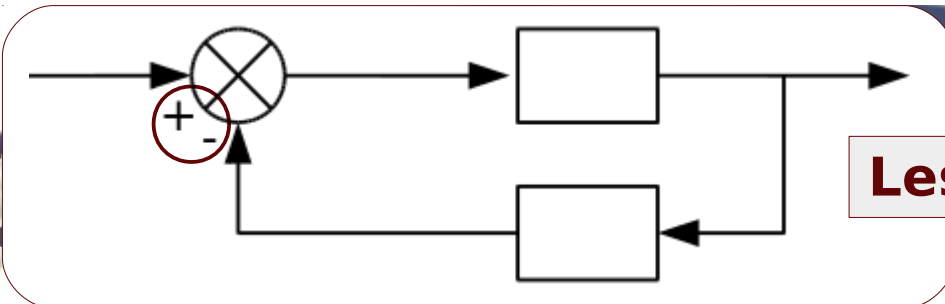
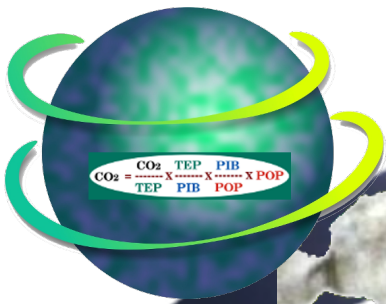




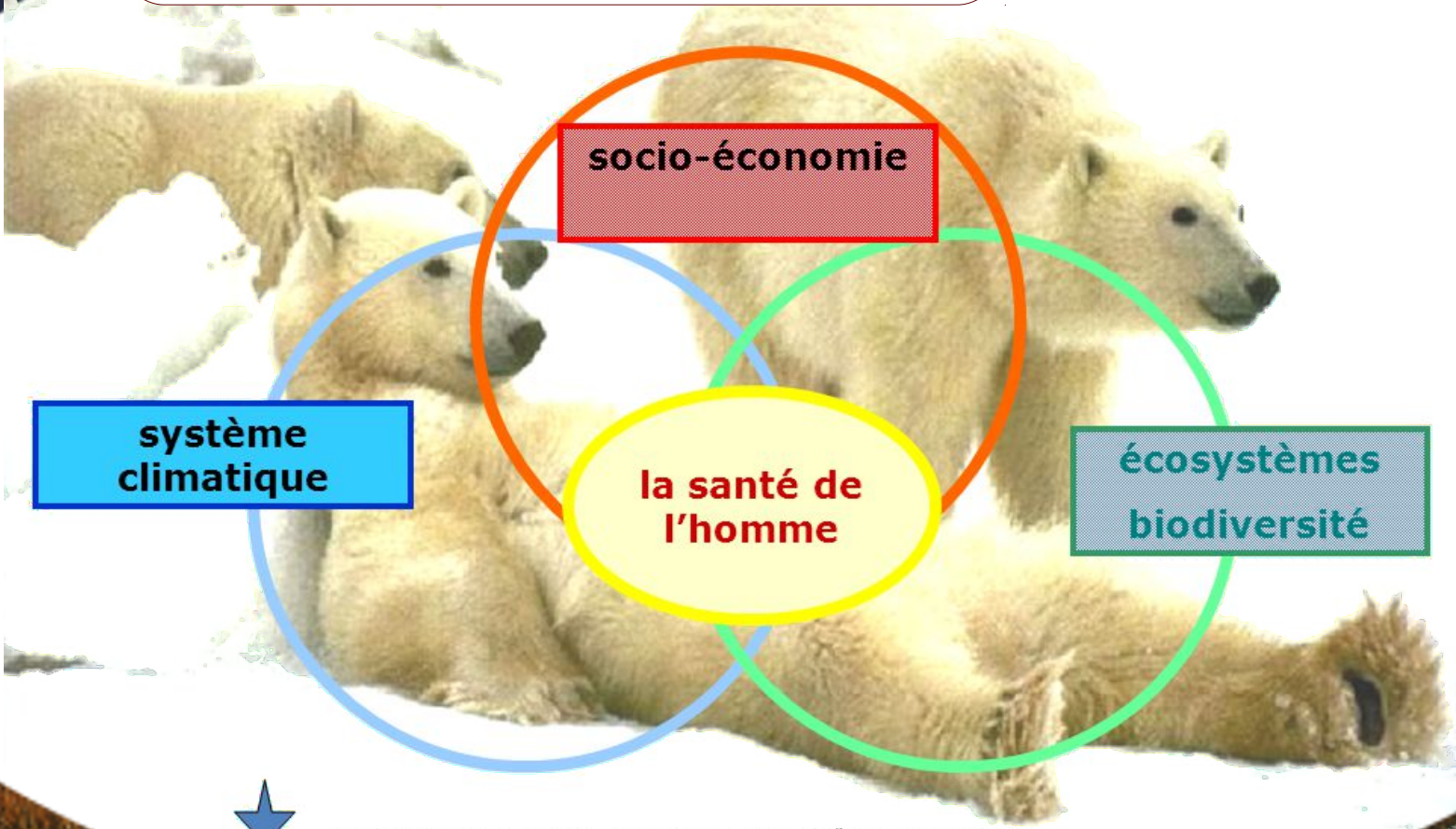
Les boucles de rétroactions

La bombe du pergélisol





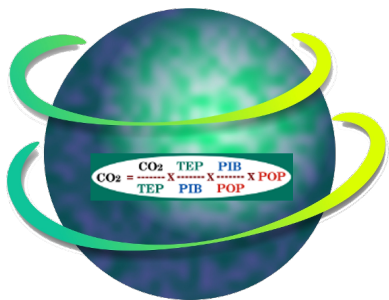
Les boucles de rétroactions

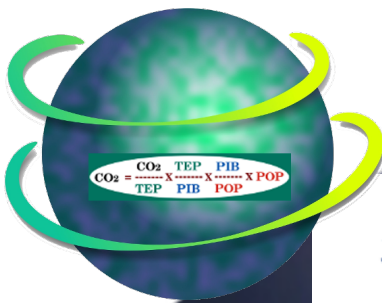


★ relations et boucles de rétroaction

Le changement climatique

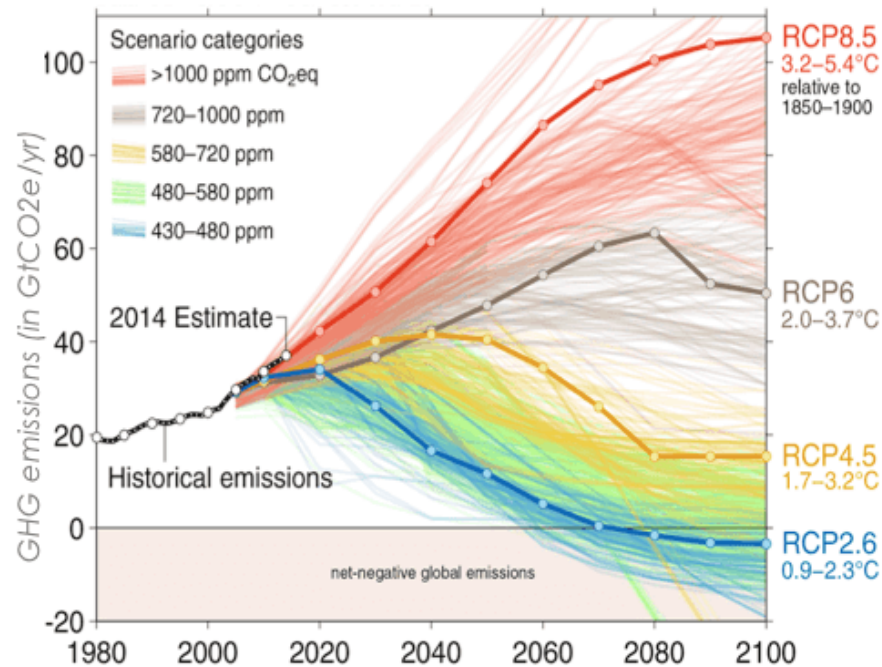
et ses interactions avec d'autres problèmes globaux





Dans son discours du 29 septembre 2015, **Mark Carney**, Président du Conseil de Stabilité Financière et gouverneur de la Banque d'Angleterre, a décrit **trois principaux types de risques climatiques** :

Scénarios climatiques du GIEC



Risques physiques

Conséquences actuelles d'événements climatiques sur les passifs d'assurance et sur la valeur des actifs financiers (ex. : les inondations et les tempêtes qui provoquent des dégâts matériels ou perturbent le commerce)

Risques de transition

Risques financiers engendrés par un processus d'ajustement vers une économie moins carbonée

Risques de responsabilité

Potentielles conséquences à venir si des parties ayant souffert de pertes dues aux effets du changement climatique cherchaient une compensation par ceux qu'ils tiendraient pour responsables

«Un monde à 4 degrés n'est pas assurable»
Henri de Castries
 Source: Global Carbon Project



[*http://www.focusclimat.eu/*](http://www.focusclimat.eu/)

[*https://www.facebook.com/focusclimat/*](https://www.facebook.com/focusclimat/)

[*focusclimat@netc.eu*](mailto:focusclimat@netc.eu)