

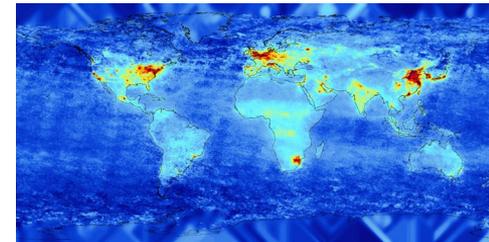
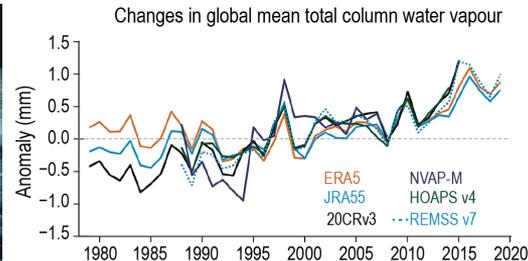
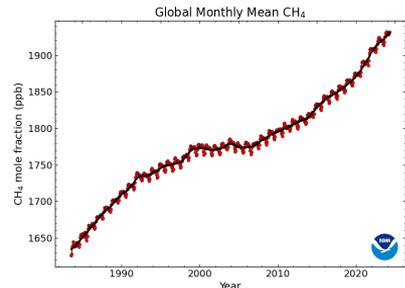
Chaire *Avenir Commun Durable*

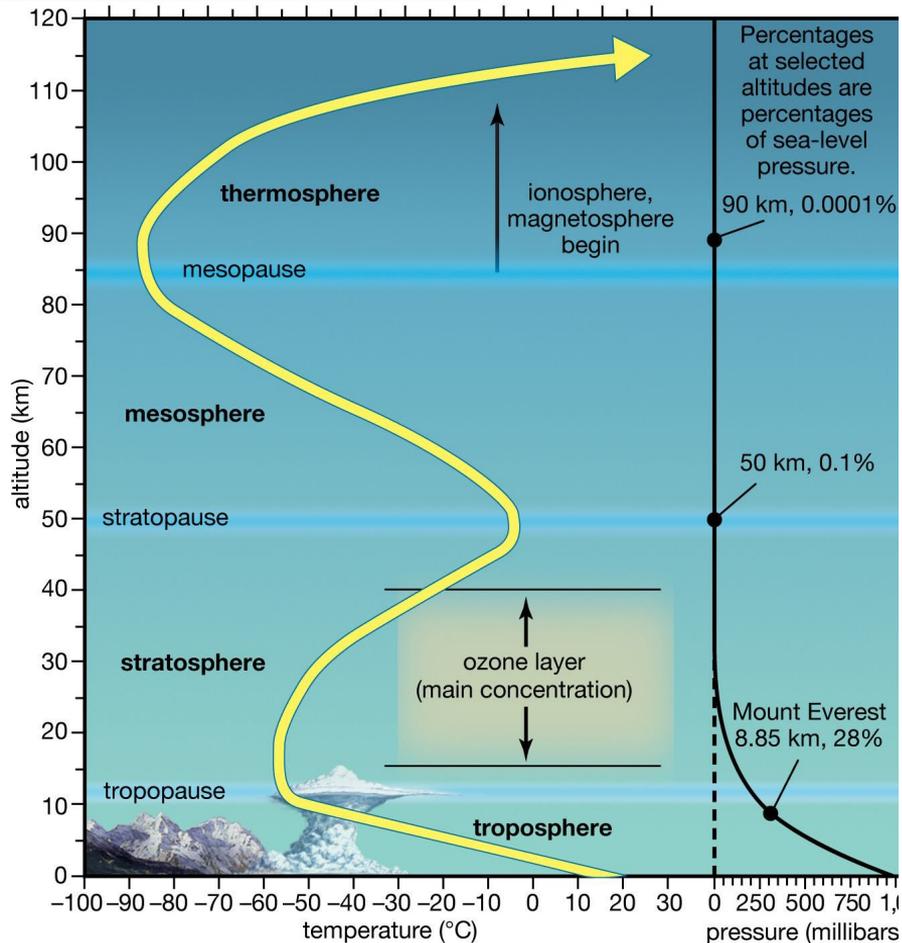
Les gaz de l'atmosphère

Evolution naturelle et influence humaine



François-Marie
Bréon





Dans l'atmosphère

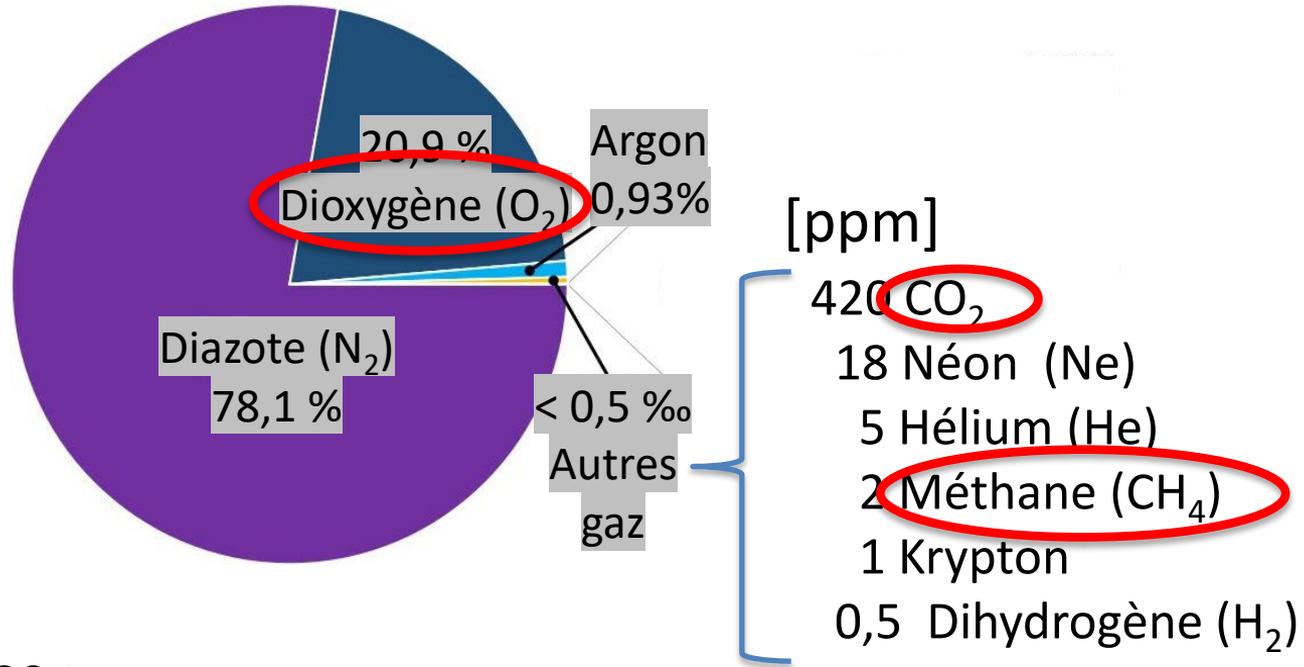
Des gaz : [Aujourd'hui](#)

Des aérosols : [Le 21 Novembre](#)

Des nuages : [Le 12 Décembre](#)



Epaisseur de l'atmosphère ≈ 100 km
Rayon de la Terre : ≈ 6400 km



+ gaz variables :

H₂O : ≈ max 5% tropique au sol; min <<1‰ haute atmosphère

Ozone (O₃) : quelques ppm dans la stratosphère

Il y a 3 milliard d'années, pas d'oxygène sur Terre. Atmosphère de méthane, sulfure d'hydrogène, Ammoniac...

Organismes mono-cellulaires dans les océans

Apparition de la photosynthèse

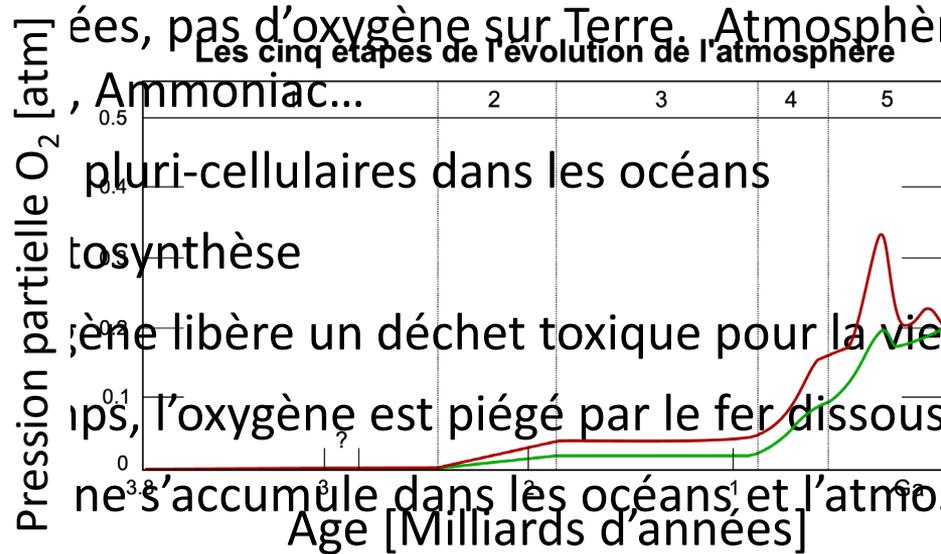
La production d'oxygène libère un déchet toxique pour la vie de l'époque

Dans un premier temps, l'oxygène est piégé par le fer dissous dans les océans.

Plus de fer => l'oxygène s'accumule dans les océans et l'atmosphère

Disparition des micro-organismes Archées, source de méthane pour l'atmosphère

Le méthane disparaît => diminution de l'effet de serre => la terre devient une boule de glace

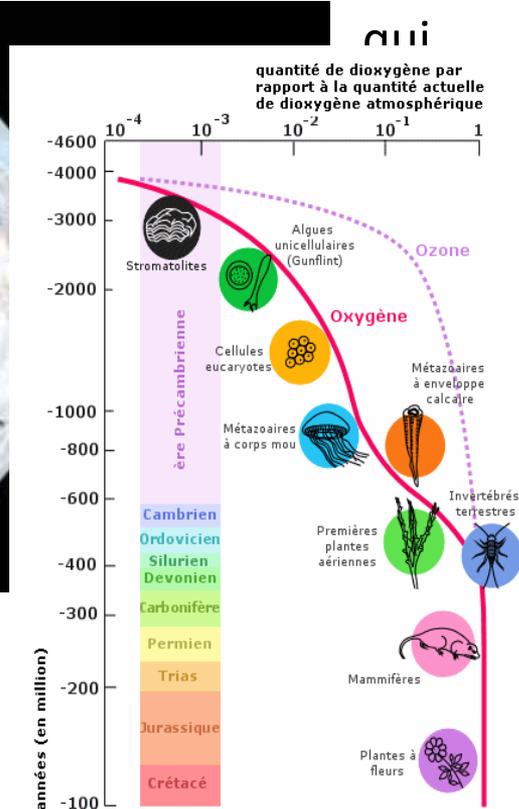
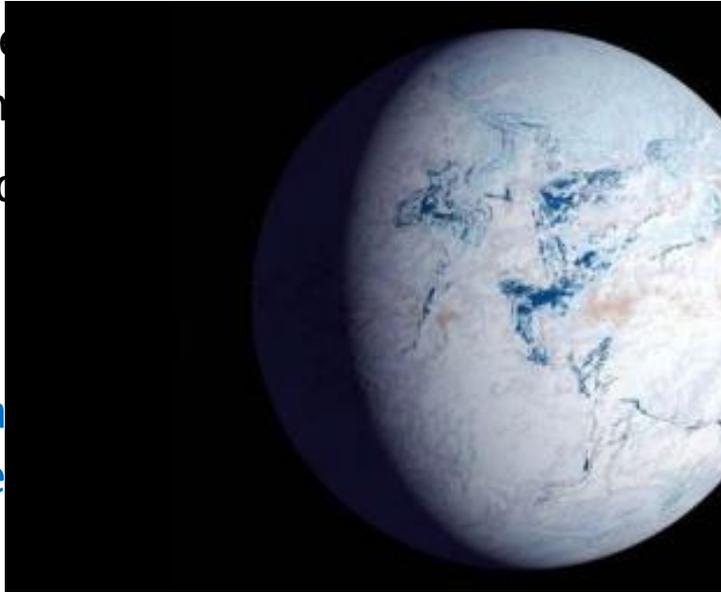


La glace réfléchit les rayons du soleil; le soleil ne peut plus réchauffer la Terre;
elle se refroidit encore plus

La tectonique de
s'accumule dans

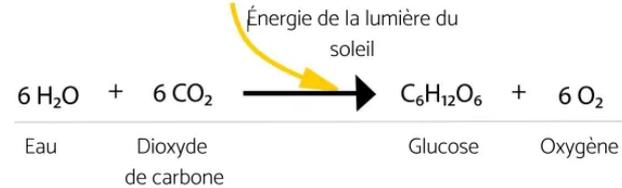
L'effet de serre d

Dans le lointain
la vie, conduisant
à un changeme





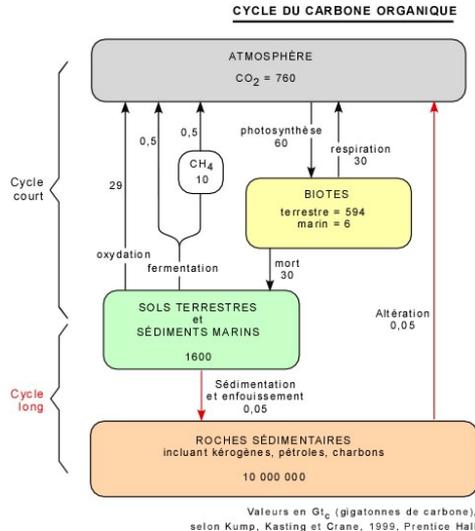
La photosynthèse est une source d'oxygène pour l'atmosphère

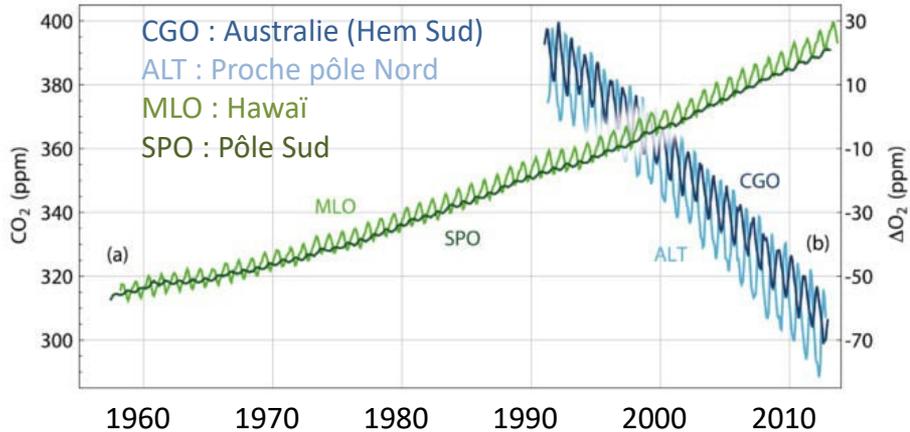


Mais la respiration des végétaux, et la décomposition après leur mort consomme de l'oxygène

Une forêt ancienne est grossièrement à l'équilibre pour son bilan O_2 .

Une forêt en croissance est source d' O_2 .





Variations de l'O₂ atmosphérique très faibles (en relatif) mais mesurables

Diminution de 80 ppm en 20 ans (sur un total de 209 000 ppm)

Même période CO₂ augmente de ≈40 ppm

Processus explicatifs:

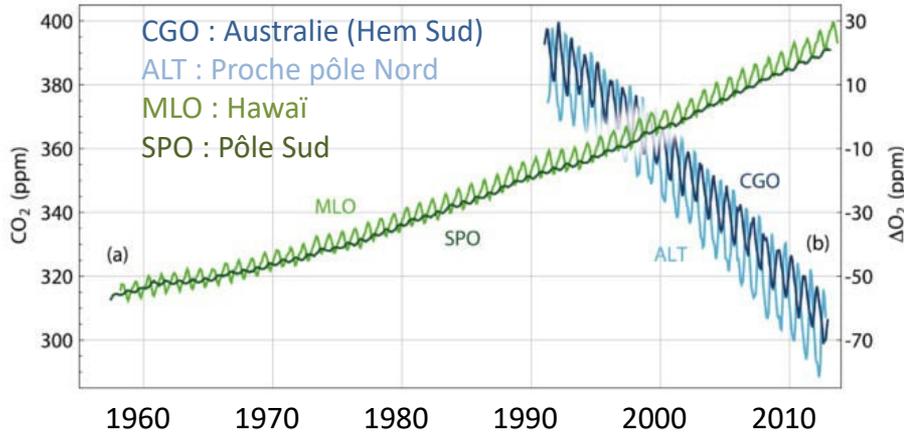
Combustion du charbon : $C + O_2 \Rightarrow CO_2$

Combustion du gaz : $CH_4 + 2 O_2 \Rightarrow CO_2 + 2 H_2O$

Croissance (en net global) de la végétation :



Absorption par les océans du CO₂ (réduit l'augmentation du CO₂ atmosphérique)
sans impact sur O₂



Cycle saisonnier de l'O₂ atmosphérique
beaucoup + fort que celui du CO₂
Opposé sur les deux hémisphères

Processus explicatifs:

Océan : Eau qui chauffe rejette de l'O₂

Végétation : Cycle Photosynthèse / respiration

Conclusions:

La combustion des fossiles diminue la concentration d'oxygène dans l'atmosphère

Variations de l'O₂ très faibles devant quantité totale

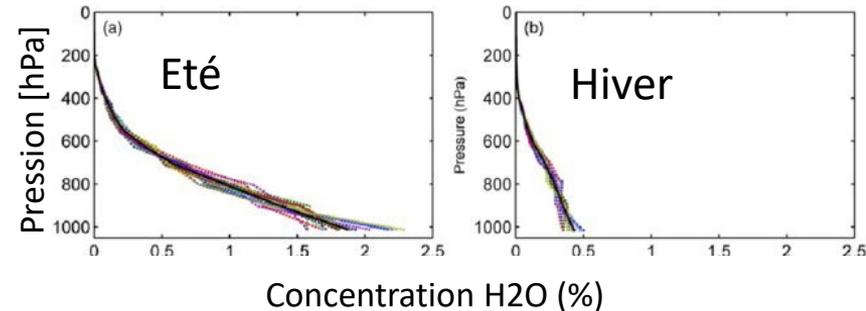
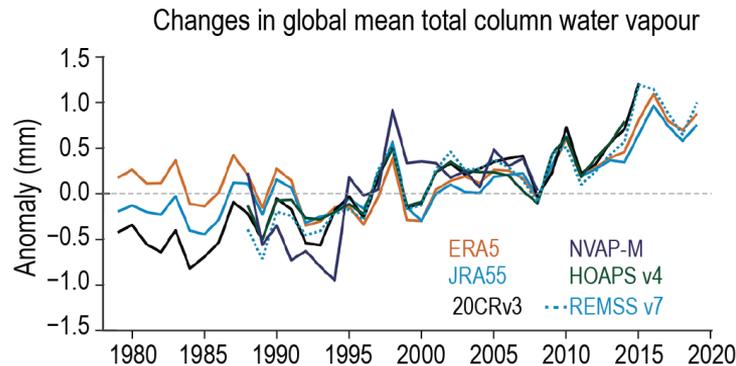
La concentration de vapeur d'eau est TRES variable dans l'atmosphère

Concentration moyenne de l'ordre de 3 ‰ (2 cm d'eau précipitable sur la colonne). Jusqu'à ≈5%

La concentration de vapeur d'eau dépend fortement de la température est donc responsable d'une rétroaction climatique très forte



Les observations confirment une tendance à l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique en lien avec le réchauffement climatique



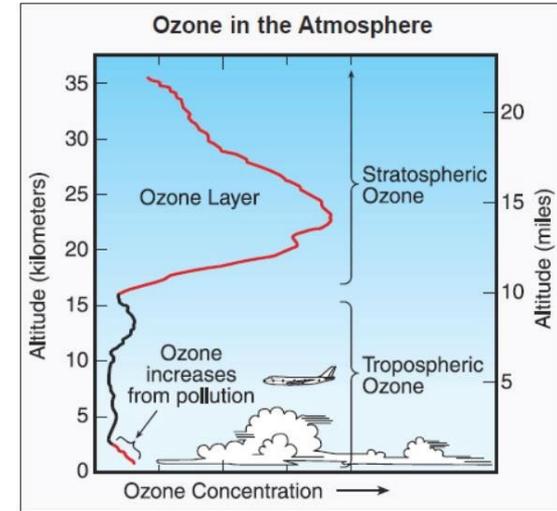
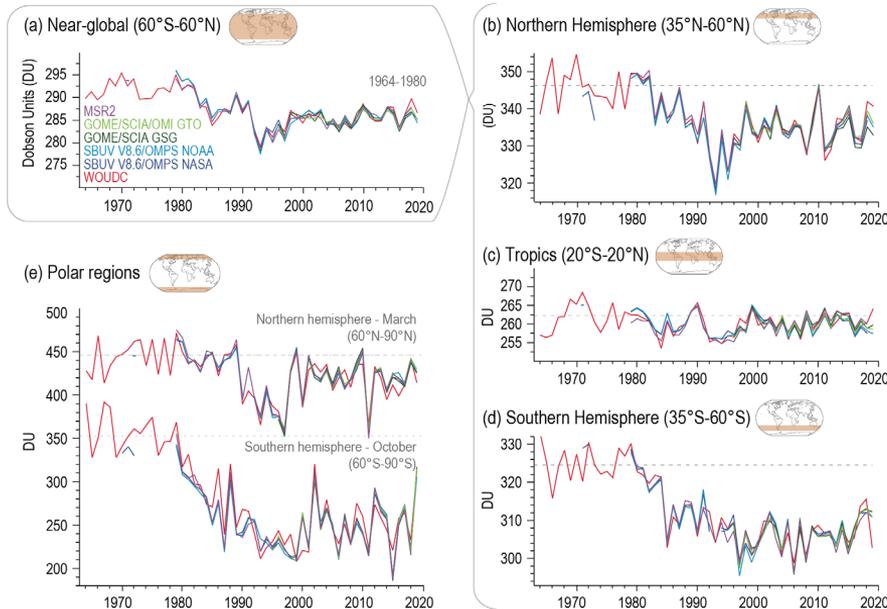
Cf séminaire de Hélène
Brogniez le 28 Novembre

L'essentiel de l'ozone atmosphérique est dans la stratosphère, à des altitudes supérieures à 20 km

Concentrations dans la troposphère très variable

L'ozone troposphérique est un polluant (impact sur santé et environnement)

Mean total ozone in six regions



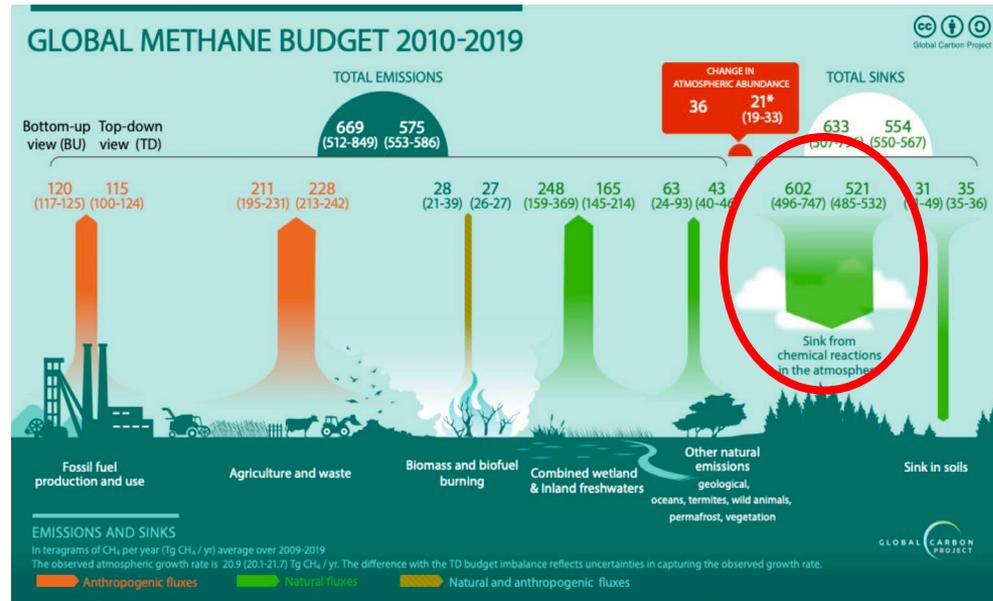
Cf séminaire de Sophe Godin,
en suivant

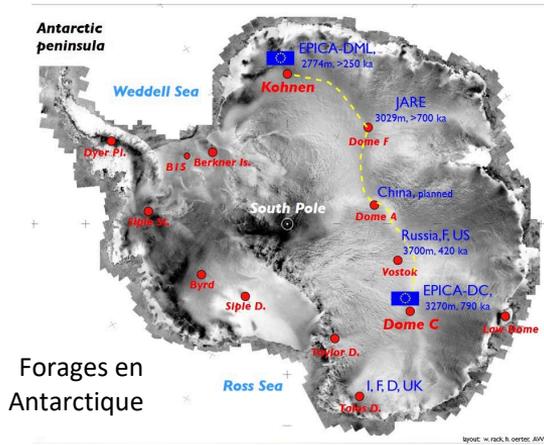
Ces deux gaz sont impliqués dans des processus biologiques (photosynthèse, respiration autotrophe, respiration hétérotrophe, bactéries méthanogènes...)

Leur concentration va donc varier en réaction à des évolutions de ces processus

Sources de CO₂ : cf leçon inaugurale

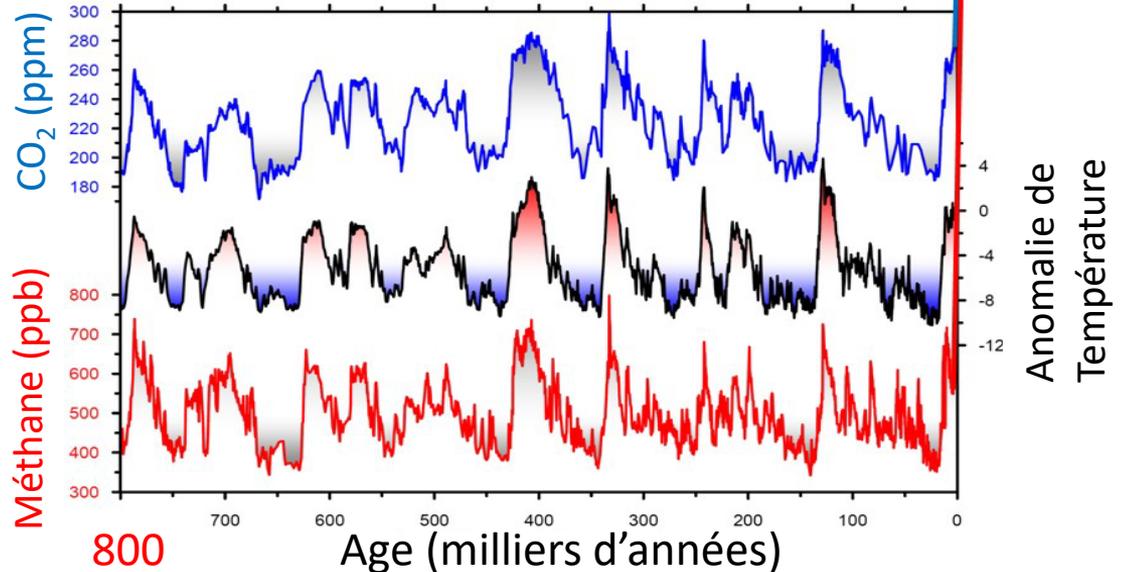
Sources de méthane:

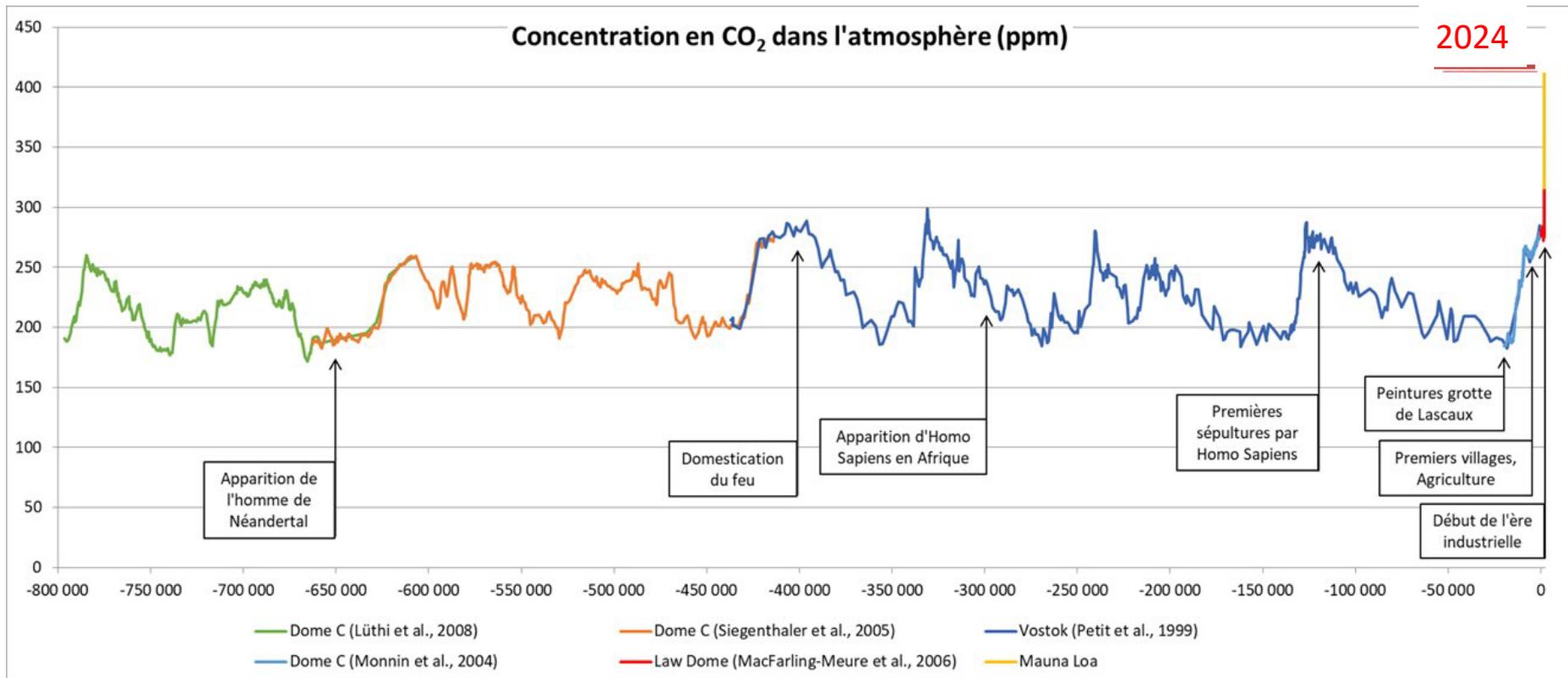




1930 ppb → ← 420 ppm

Les concentrations de CO₂ et méthane ont varié avec le climat sur le dernier million d'années. Mais variations actuelles « hors échelle »

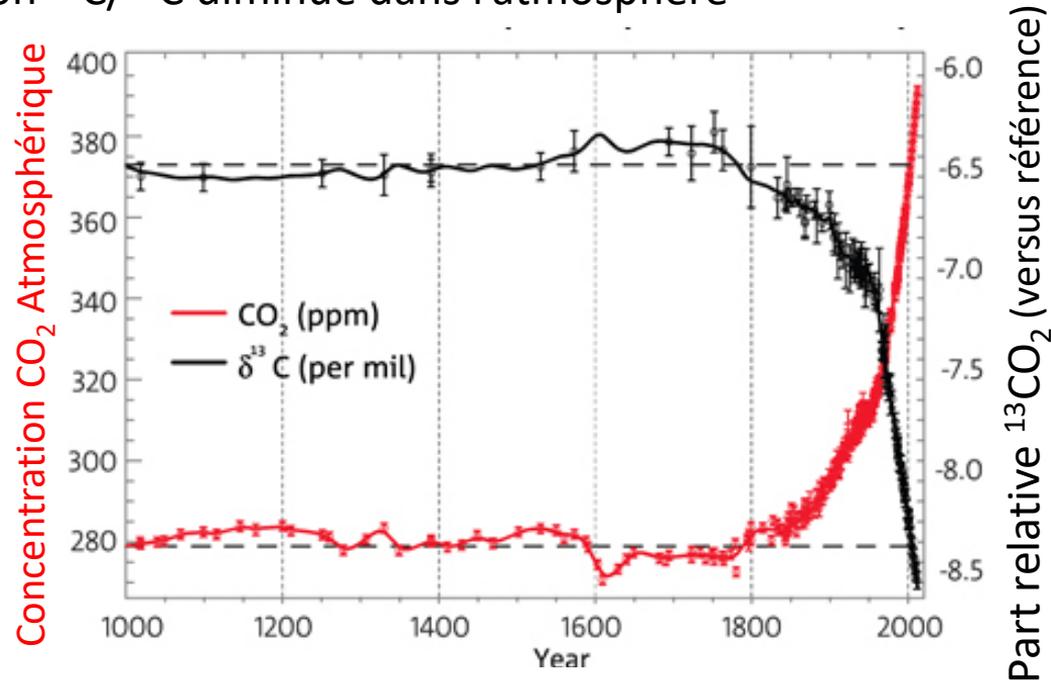


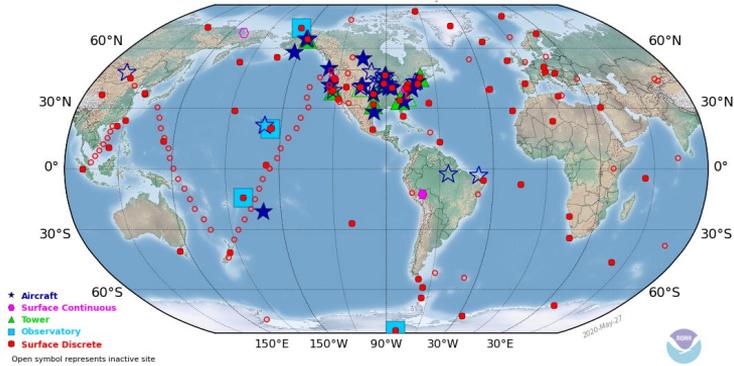


Le carbone du CO₂ existe sous plusieurs formes isotopiques. ¹²C est la plus commune, suivie de ¹³C (un neutron de plus).

Les combustibles fossiles sont pauvres en ¹³C.

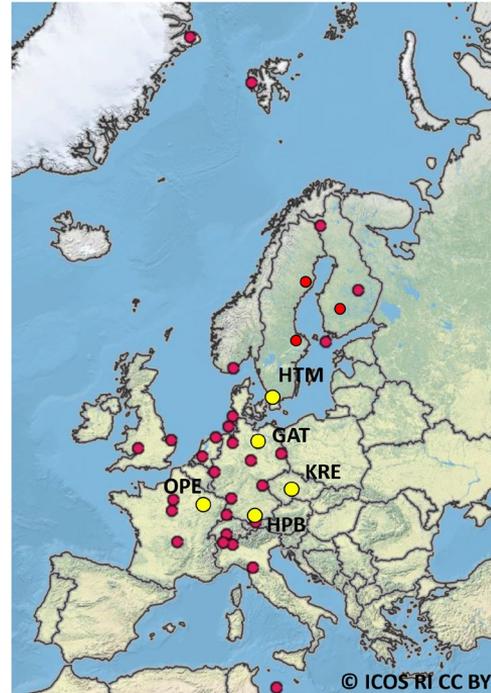
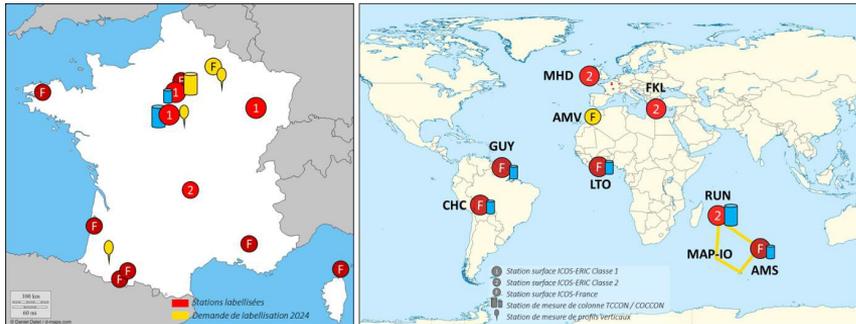
Sans surprise, la proportion ¹³C/¹²C diminue dans l'atmosphère





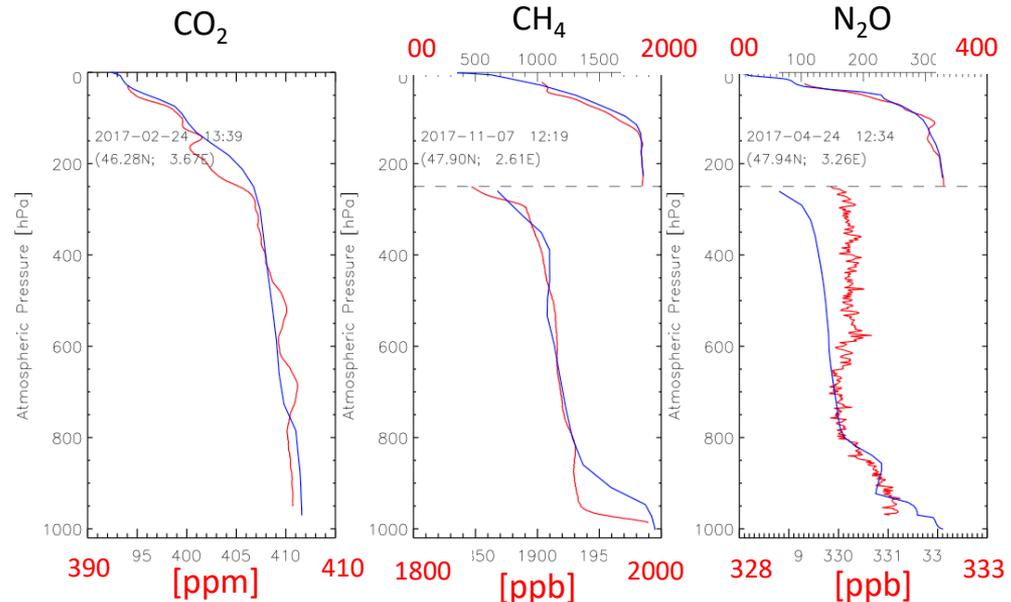
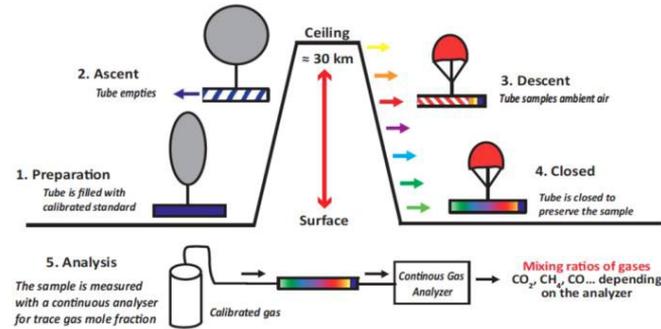
NOAA (USA)

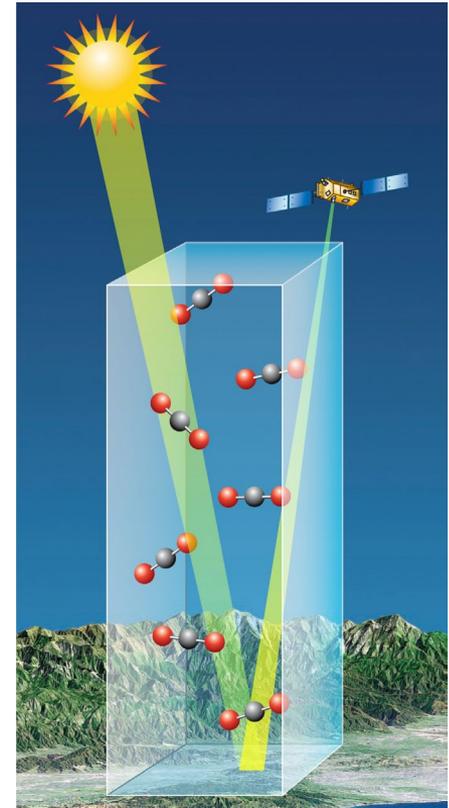
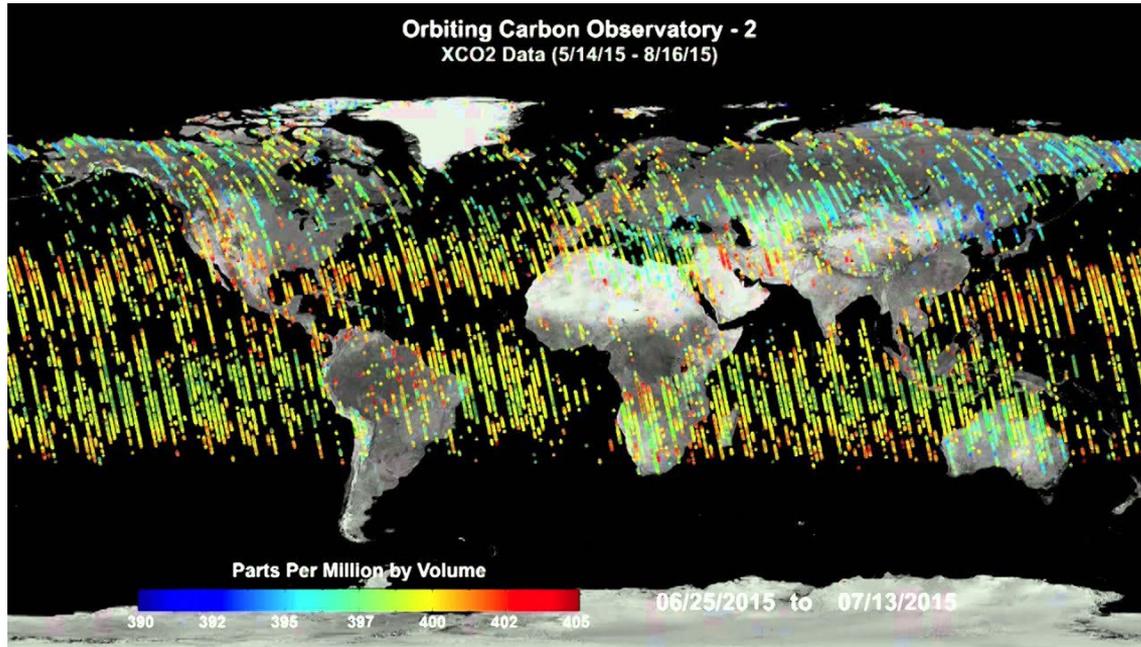
Service National d'Observation : LSCE

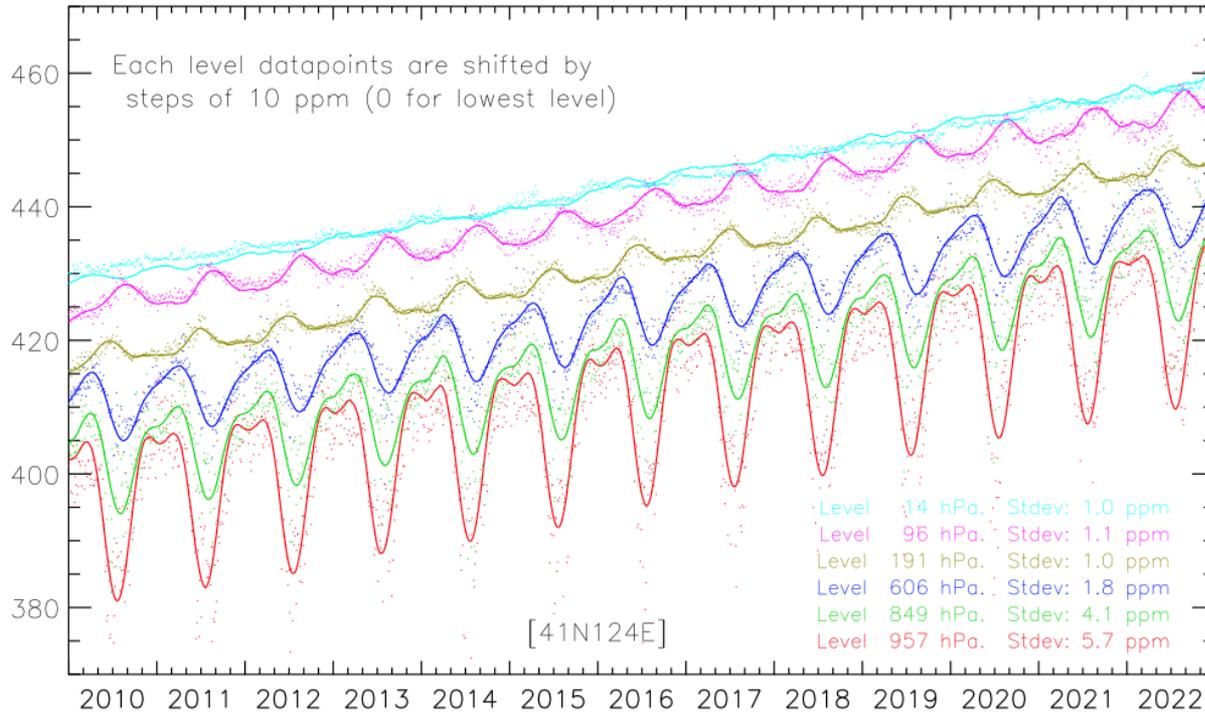


ICOS (Europe)

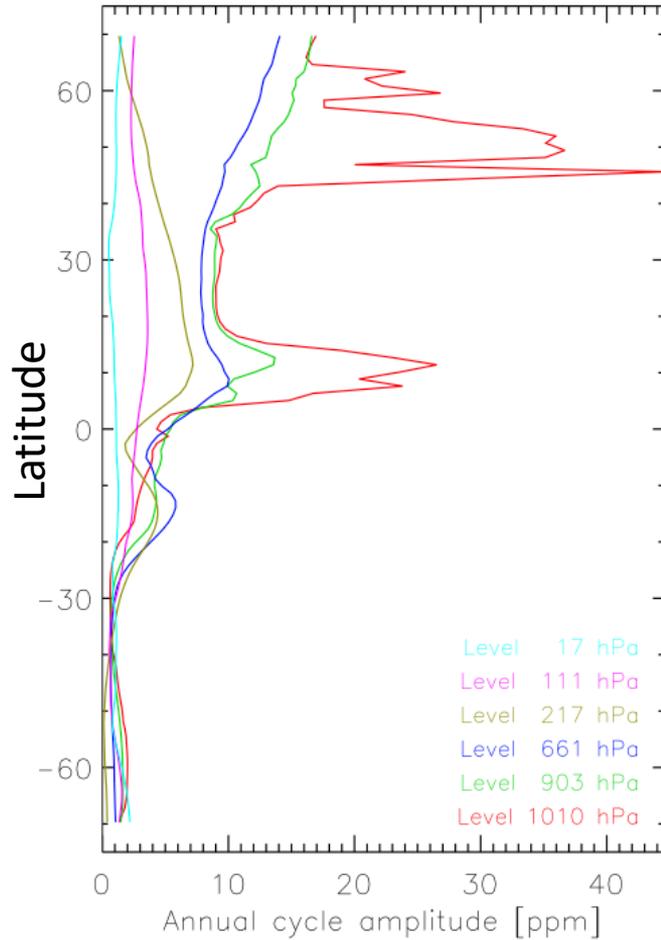








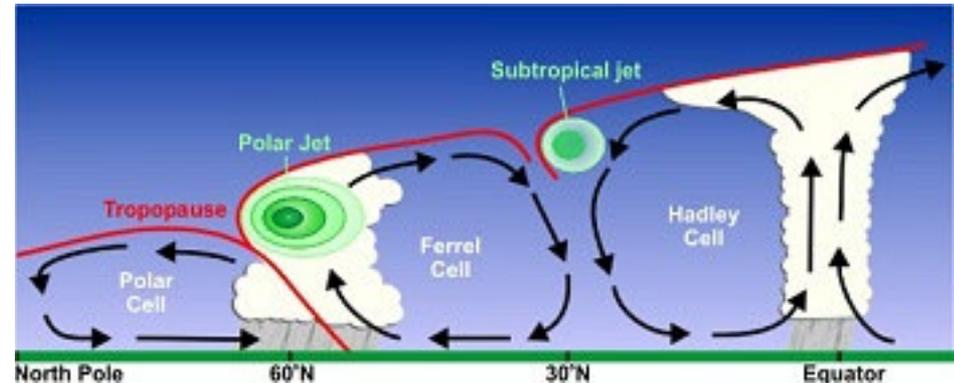
Le CO₂ montre un cycle annuel jusqu'à 30 ppm dans les basses couches de l'atmosphère
Amplitude du cycle plus faible en altitude



Cycle annuel du CO₂ atmosphérique supérieur à 10 ppm dans l'hémisphère Nord

Varie avec l'altitude; négligeable dans la stratosphère, + fort en surface

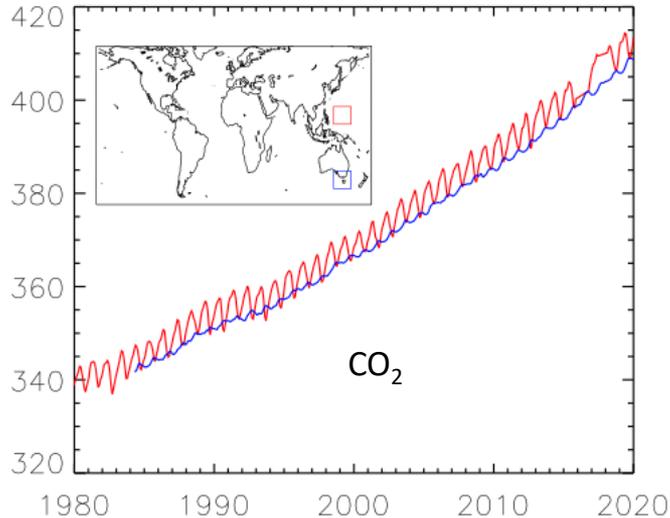
Doit être pris en compte pour évaluer correctement le taux de croissance du CO₂



Les émissions sont dans l'hémisphère Nord

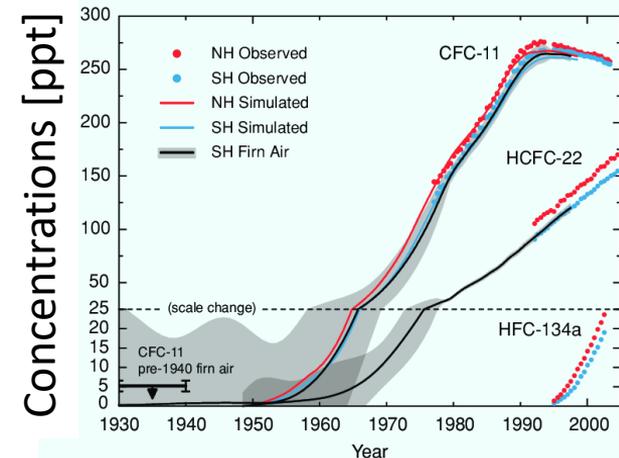
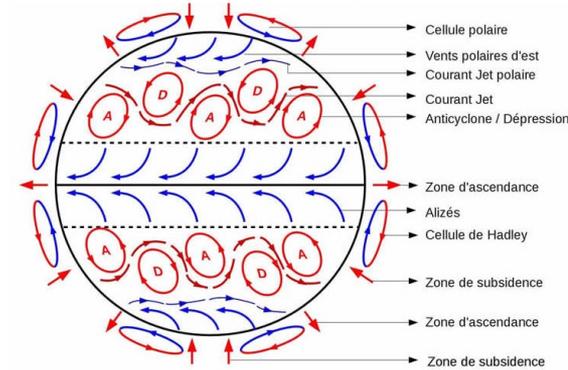
Temps de mélange entre hémisphères de l'ordre de 2 ans

=> Concentrations plus élevées dans le nord



ppm : 10^{-6}
ppb : 10^{-9}
ppt : 10^{-12}

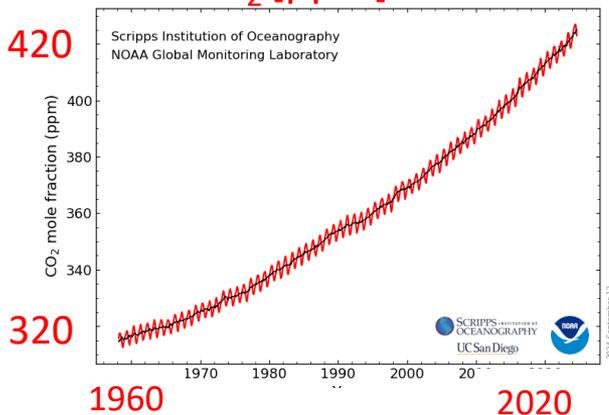
Différences inter-hémisphère encore plus visible sur les gaz « industriels » (sans activité biologique)



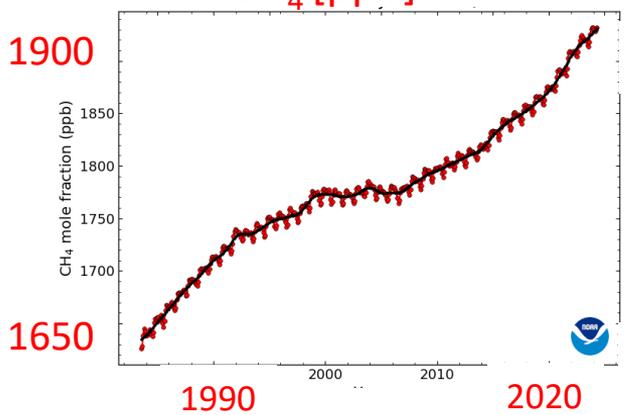
Les tendances des principaux GES

Concentration

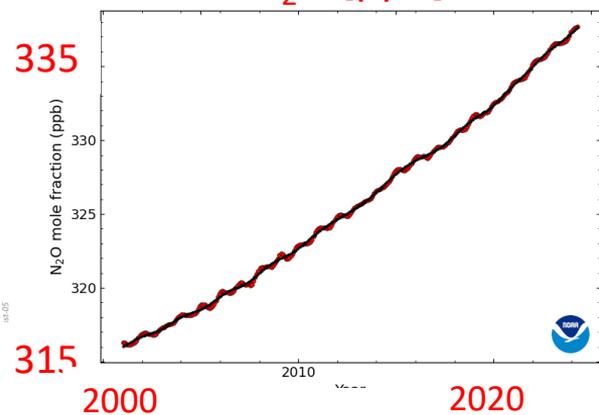
CO₂ [ppm]



CH₄ [ppb]

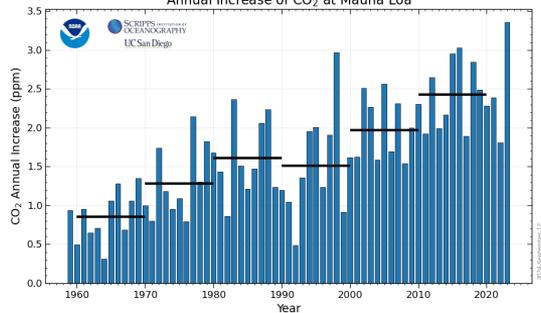


N₂O [ppb]

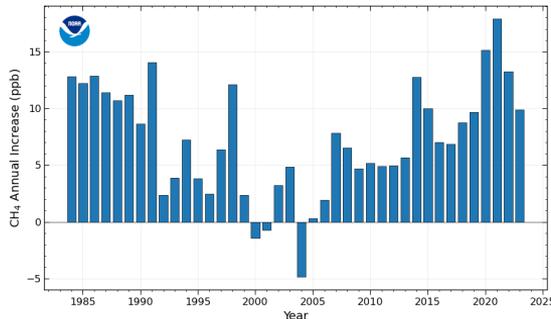


Croissance Annuelle

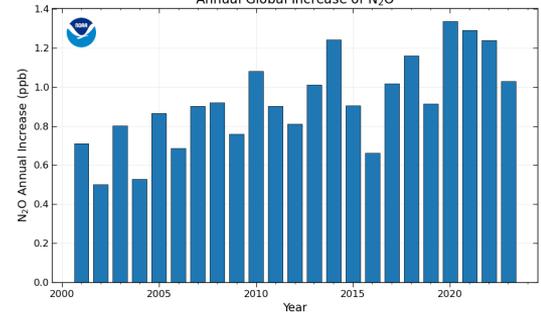
Annual Increase of CO₂ at Mauna Loa



CH₄ Annual Increase (ppb)



Annual Global Increase of N₂O



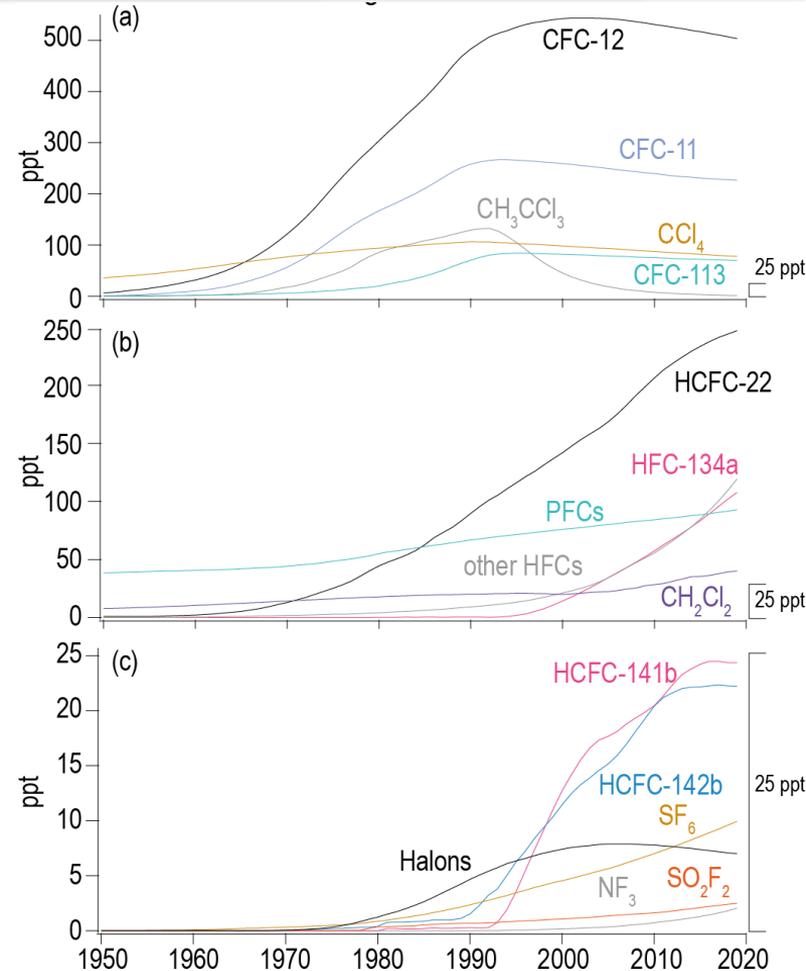
Gaz à effet de serre "industriels" dont la concentration "naturelle" est nulle

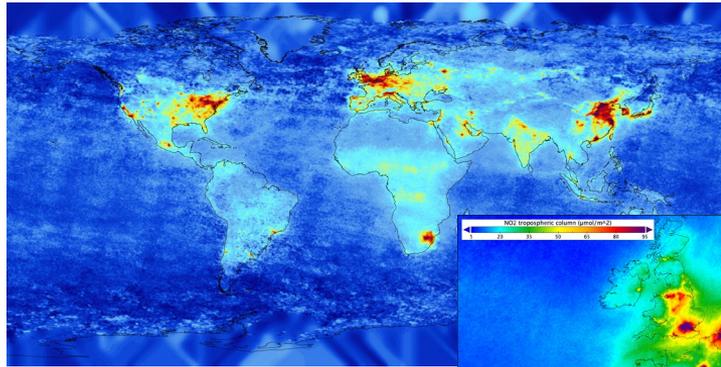
Certains ont un impact sur l'ozone stratosphériques et ont été interdits

=> Concentration stabilisée

Grande durée de vie

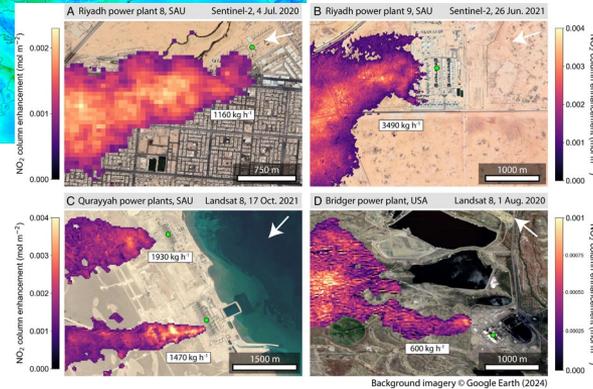
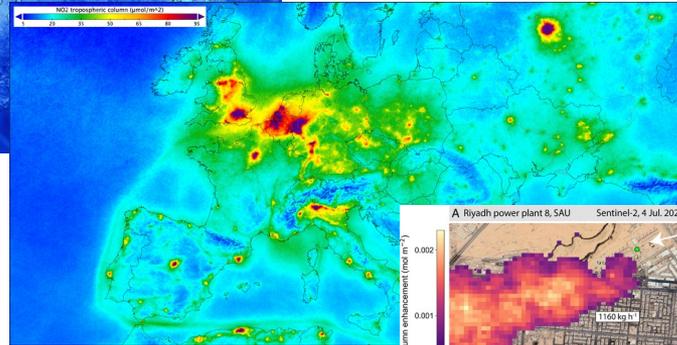
ppm : 10^{-6}
ppb : 10^{-9}
ppt : 10^{-12}





NO₂ ≈ quelques heures
CO ≈ 1 mois
Ozone ≈ quelques jours

NO₂ vu par satellite

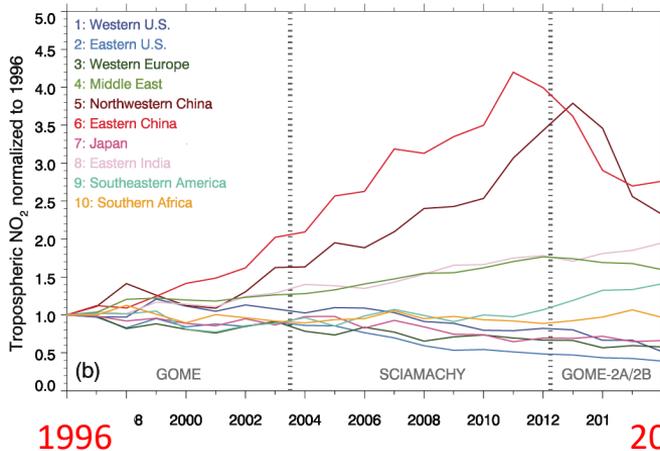
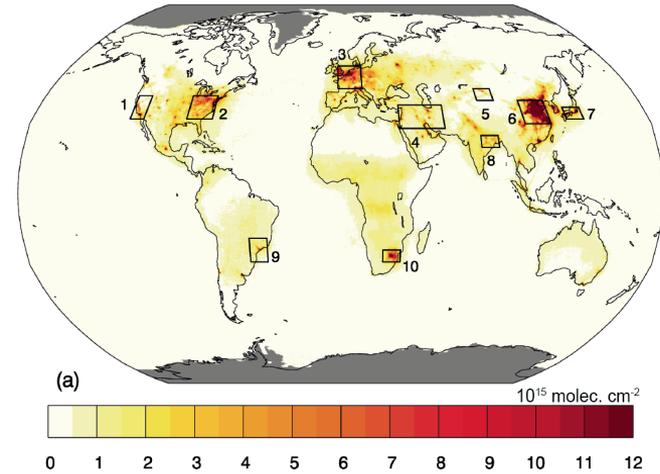


Sources naturelles et anthropiques

Concentrations très variables

Gaz réactifs qui ont un impact sur la santé et l'environnement

Pas d'accumulation dans l'atmosphère



NO₂

Décroissance nette des concentrations de
N₂O en Europe et USA
Valeurs très élevées, mais en diminution
depuis ≈2010 en Chine
Croissance in Inde et Moyen Orient

- 1: Western U.S.
- 2: Eastern U.S.
- 3: Western Europe
- 4: Middle East
- 5: Northwestern China
- 6: Eastern China
- 7: Japan
- 8: Eastern India
- 9: Southeastern America
- 10: Southern Africa

Le radical OH est le principal oxydant de l'atmosphère

Il est en particulier le principal responsable de l'oxydation du méthane atmosphérique (second gaz à effet de serre anthropique)

NO_2 conduit à la formation de OH.

Pendant la pandémie, $\text{NO}_2 \searrow$ (trafic), $\text{OH} \searrow$, $\text{CH}_4 \uparrow$. Explique $\approx 50\%$ de la hausse du CH_4 en 2020

De même, dans le contexte de la transition énergétique, la diminution annoncée des émissions de NO_2 s'oppose aux efforts sur les émissions de CH_4

Nombreux envisagent une part croissante de l'hydrogène dans le système énergétique

Difficile de stocker H₂. Fuites sont attendues

H₂ n'est pas un gaz à effet de serre. Donc sans conséquence ?

H₂ réagit avec OH, diminuant alors la concentration de ce gaz, ce qui augmente la durée de vie du méthane dans l'atmosphère.

Les émissions de H₂ contribuent donc, indirectement, à l'effet de serre via les concentrations de méthane

Les évaluations quantitatives sont sources de polémiques, mais montrent une contribution significative à l'effet de serre

+99% de l'atmosphère (N_2 , O_2 , Ar) ne contribue pas à l'effet de serre

Les processus climatiques font intervenir des éléments "trace" (CO_2 , CH_4 , O_3 ...) et H_2O

La concentration de ces gaz est suivie par des mesures sols, aéroportées, et par satellites

La concentration de ces gaz dans l'atmosphère est régie par des processus biologiques, chimiques, et dynamiques

Les activités humaines ont eu un impact majeur sur la concentration de nombreux gaz, et modifié l'équilibre chimique de l'atmosphère

La tendance montre des évolutions contrastées :

- Les gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O) sont en croissance rapide
- Les gaz "polluants" (NO_2 , CO, Ozone troposphérique) diminuent dans les régions occidentales, mais augmentent rapidement en Inde ou au Moyen-Orient

FIN

Quelques mots sur les tendances de la pollution

Insister sur la différence entre pollution et gaz à effet de serre

Vérifier le mécanisme de production d'ozone troposphérique