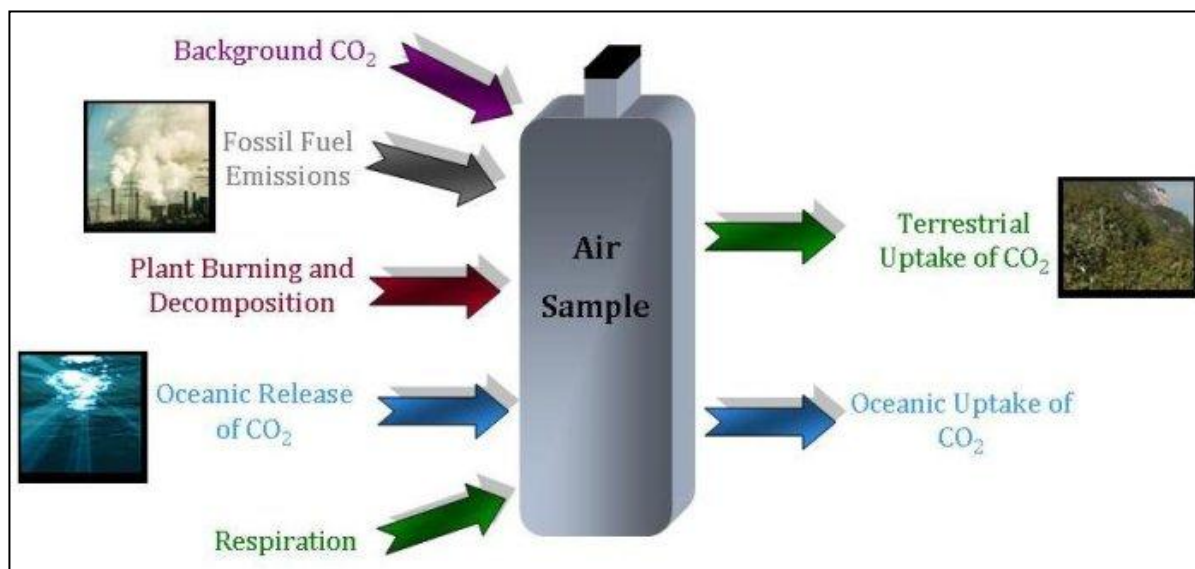


Comment identifier l'origine des émissions de CO₂ dans l'atmosphère ?

Le CO₂ atmosphérique : une mosaïque de CO₂ d'origine diverses :

Le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans un échantillon d'air est un mélange de dioxyde de carbone provenant de différentes sources (Voir Figure. 1) :

- CO₂ présent « naturellement dans l'atmosphère »,
- CO₂ provenant des émissions des énergies fossiles,
- CO₂ provenant des échanges avec l'océan,
- CO₂ provenant de la respiration des êtres vivants, ...etc.



Voir Fig.1 : un échantillon d'air : mélange de CO₂ d'origines diverses.

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/mixing.html>

Grâce aux isotopes du Carbone, les scientifiques établissent des rapports où **empreintes isotopiques** : $\delta^{13}\text{C}$ et $\Delta^{14}\text{C}$, qui permettent de connaître précisément la source du CO₂ additionnel qui s'ajoute chaque année dans l'atmosphère.

Pour des informations plus précises sur les calculs de ces rapports :

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/deltavalues.html>

Explications :

Les isotopes du carbone :

L'élément carbone existe dans la nature sous différentes formes : les isotopes (qui diffèrent par le nombre de neutrons) :

- le ¹⁴C, isotope instable qui se désintègre en fonction du temps,
- le ¹³C et le ¹²C, 2 isotopes stables.

Les isotopes stables ¹³C et ¹²C dans les différentes enveloppes :

L'atmosphère a un certain rapport de ¹³C / ¹²C ou $\delta^{13}\text{C}$ (Voir figure 2.)

La biosphère terrestre a un rapport très différent de ¹³C à ¹²C de l'atmosphère. En effet lors de la photosynthèse, le ¹²C est davantage absorbé que le ¹³C lors de la diffusion du CO₂ au niveau des stomates puis, le ¹²C est davantage fixé sous forme de sucres simples que le ¹³C.

Pour ces deux raisons, il y a moins de ¹³C que de ¹²C dans les tissus de la biosphère. (Voir figure 2.)

Les combustibles fossiles ont également moins de ¹³C que de ¹²C, car ils proviennent d'anciens végétaux. (Voir figure 2.)

Les océans ont un rapport de ¹³C / ¹²C ou $\delta^{13}\text{C}$ très similaire à celui de l'atmosphère. L'océan ne fractionnant pas ¹²C de ¹³C. (Voir figure 2.)

Figure 2. Rapport isotopique $\delta^{13}\text{C}$ du C pour différentes sources de CO_2 .

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/mixing.html>

Source de CO_2	Valeur du $\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Combustibles fossiles	-28
Biosphère terrestre	-26
Océan	-10
Atmosphère	-8

Le travail du détective :

Au laboratoire NOAA, chargé des analyses de l'air, on mesure le rapport de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 de l'atmosphère.

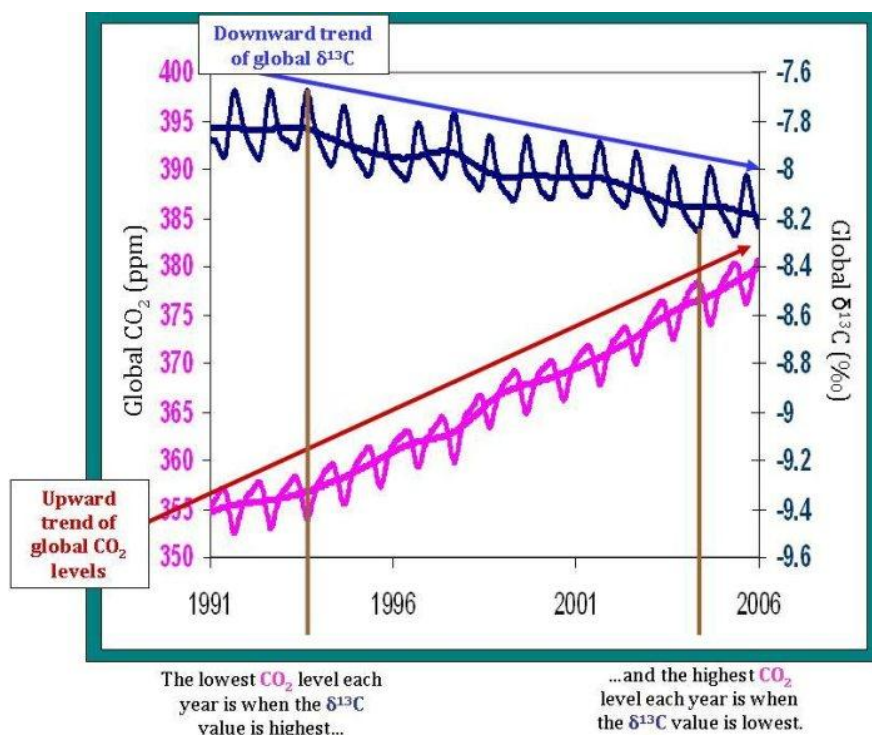
Grâce à deux éléments d'informations :

- le rapport isotopique $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 dans l'atmosphère est constitué à partir d'un mélange de sources (Voir Figure. 1),
 - l'empreinte isotopique $\delta^{13}\text{C}$ de chaque source est unique (Voir Figure.2),
- les scientifiques peuvent identifier l'origine des variations du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 dans l'atmosphère.

Résultats de mesures du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 de l'atmosphère :

Figure 3. Evolution du CO_2 total et du $\delta^{13}\text{C}$ du CO_2 de l'atmosphère, de 1991 à 2006

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/c14tellsus.html>



On constate une diminution des valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ au fil du temps : il y a relativement de moins en moins d'atomes ^{13}C que ^{12}C dans le CO_2 de l'atmosphère au fil du temps.

Cette tendance s'explique par l'ajout de CO_2 dans l'atmosphère qui doit venir de la biosphère terrestre et / ou des combustibles fossiles. **En fait, nous savons à partir des mesures de $\Delta 14\text{C}$ que cette diminution est due aux émissions de combustibles fossiles.**

^{14}C et combustibles fossiles :

Les combustibles fossiles sont âgés de millions d'années. Pour cette raison, tout le ^{14}C initialement présent s'est désintégré, ne laissant aucun ^{14}C dans cette ancienne matière organique.

Toutes les autres émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, étant plus « récentes », elles contiennent, au contraire, une certaine proportion de ^{14}C .

Pour ces raisons, **le ^{14}C constitue un autre traceur idéal de CO_2 provenant de la combustion de combustibles fossiles.**

Le travail du détective :

Au laboratoire américain NOAA chargé des analyses de l'air, on mesure **le $\Delta^{14}\text{C}$, un rapport isotopique qui quantifie la proportion $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ du carbone dans chaque échantillon d'air.**

Pour des informations plus précises sur les calculs de ce rapport :

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/deltavalues.html>

Les différentes sources possibles de CO_2 possèdent leur propre et spécifique valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ ou **empreinte isotopique.** (Voir Figure.4)

Figure 4. Rapport isotopique $\Delta^{14}\text{C}$ du C pour différentes sources de CO_2 .

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/mixing.html>

Source de CO_2	Valeur du $\Delta^{14}\text{C}$ (‰)
Combustibles fossiles	-1,000
Biosphère terrestre	+45
Océan	+45
Atmosphère	+45

La très faible proportion de ^{14}C dans les combustibles fossiles est à l'origine du très faible $\Delta^{14}\text{C}$ du CO_2 des combustibles fossiles par rapport à celui des autres sources. (Voir figure 4.)

Au cours du temps, plus la valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ du CO_2 mesuré dans un échantillon d'air diminue, plus les émissions de CO_2 correspondent à des émissions de combustibles fossiles.

Exemple de calculs :

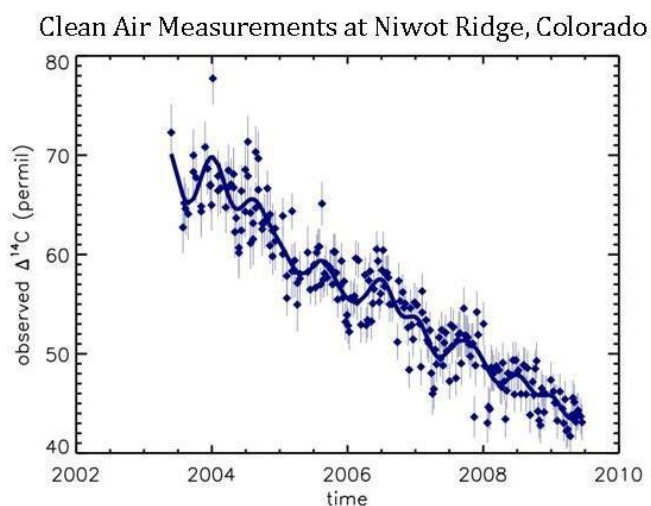
À l'heure actuelle (en 2010) l'atmosphère naturelle a environ 380 parties par million, ou ppm, de CO_2 , avec $\Delta^{14}\text{C}$ de 45 ‰. Si l'on ajoute 1 ppm de CO_2 des combustibles fossiles, avec un $\Delta^{14}\text{C}$ de -1000 ‰, alors la nouvelle valeur de $\Delta^{14}\text{C}$ dans l'atmosphère est un peu plus basse : 42 ‰.

D'autre part, si l'on ajoute au lieu de 1 ppm de CO_2 d'un feu de forêt, les émissions de CO_2 de l'incendie aurait la même valeur $\Delta^{14}\text{C}$ que l'atmosphère (ou très proche). Le $\Delta^{14}\text{C}$ de l'atmosphère ne changerait pas.

Résultats de mesures :

Figure 3. Evolution du $\Delta^{14}\text{C}$ mesuré dans l'air propre à Niwot Ridge. (1 point = 1 échantillon)

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/c14tellsus.html>



On constate globalement et localement une tendance à la baisse du $\Delta^{14}\text{C}$ du CO_2 l'air ce qui montre que le CO_2 supplémentaire ajouté à l'atmosphère provient des émissions dues aux combustibles fossiles.

Source : NOAA

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/isotopes/index.html>



Ce document réalisé par Delphine Sommier, professeur associée à l'Ifé/ ENS de Lyon est mis à disposition selon les termes de la [licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).