

# Comment identifier l'origine des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ?

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) présent dans un échantillon d'air est la résultante d'un mélange de dioxyde de carbone provenant de diverses sources (Voir figure 1) :

- CO<sub>2</sub> présent «naturellement dans l'atmosphère»,
- CO<sub>2</sub> provenant des émissions des énergies fossiles,
- CO<sub>2</sub> provenant des échanges avec l'océan,
- CO<sub>2</sub> provenant de la respiration des êtres vivants...

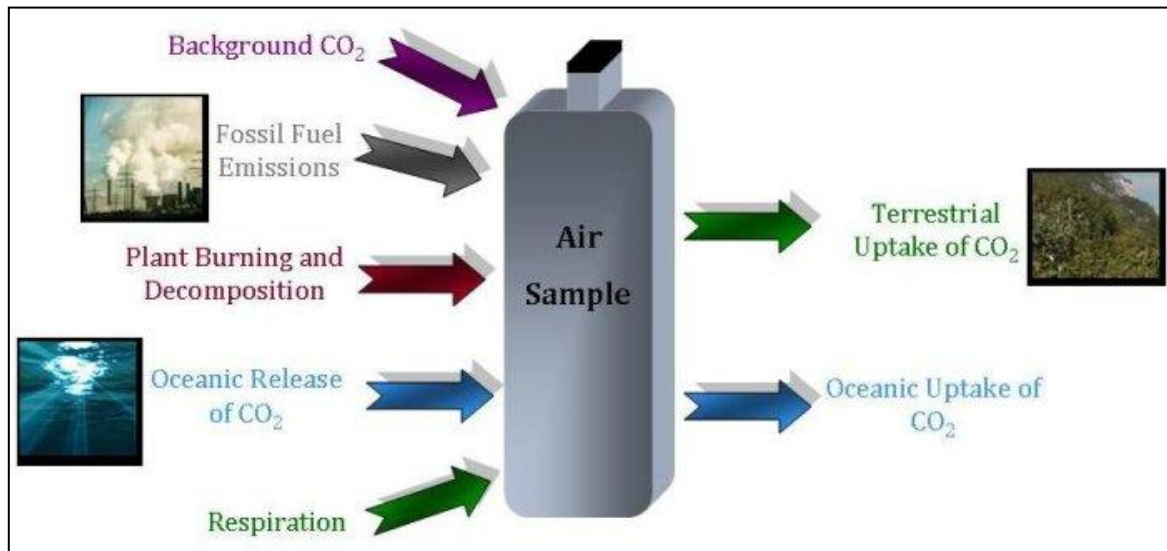


Figure 1 - Un échantillon d'air : mélange de CO<sub>2</sub> d'origines diverses.

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

Le CO<sub>2</sub> peut être formé à partir de 3 **isotopes\*** du carbone.

\***Isotope** signifie par étymologie : même lieu (du grec ISOS : même, identique et TOPOS : lieu).

Ce sont, en effet, des éléments chimiques qui se retrouvent dans la même case que d'autres dans le tableau de Mendeleïev, car ils possèdent les mêmes propriétés chimiques.

Ils ont le même nombre de protons et d'électrons, mais leurs nombres de neutrons sont différents.

Ces éléments ont les mêmes propriétés chimiques puisque ces propriétés sont déterminées par le nombre d'électrons et celui-ci reste identique.

Ces éléments n'ont pas les mêmes propriétés physiques car leur masse est différente.

## 1. Les isotopes du carbone

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

- le <sup>12</sup>C, isotope stable le plus présent,
- le <sup>13</sup>C, autre isotope stable peu présent,
- le <sup>14</sup>C, isotope instable peu présent qui se désintègre en fonction du temps,

Grâce aux **isotopes\*** du carbone, les scientifiques établissent une **empreinte isotopique appelé δC** (correspondant à un rapport) qui permet de connaître précisément la source du CO<sub>2</sub> additionnel qui s'ajoute chaque année dans l'atmosphère.

## 2. Les isotopes stables <sup>12</sup>C et <sup>13</sup>C dans les différentes enveloppes terrestres (Voir figure 2)

- **L'atmosphère** a un rapport de <sup>13</sup>C / <sup>12</sup>C ou δ<sup>13</sup>C de -8‰,
- **L'hydrosphère** a un rapport de <sup>13</sup>C / <sup>12</sup>C ou δ<sup>13</sup>C de -10‰, très similaire à celui de l'atmosphère.

- **La biosphère terrestre** a un rapport de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $\delta^{13}\text{C}$  de -26‰, très éloigné de celui de l'atmosphère. En effet lors de la photosynthèse, le  $^{12}\text{C}$  est davantage absorbé que le  $^{13}\text{C}$  lors de la diffusion du  $\text{CO}_2$  au niveau des stomates foliaires puis, le  $^{12}\text{C}$  est davantage fixé sous forme de sucres simples que le  $^{13}\text{C}$ . Pour ces deux raisons, il y a moins de  $^{13}\text{C}$  que de  $^{12}\text{C}$  dans les tissus de la biosphère.
- **Les combustibles fossiles** ont un rapport de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $\delta^{13}\text{C}$  de -28‰, donc comportent également moins de  $^{13}\text{C}$  que de  $^{12}\text{C}$  ce qui se comprend aisément vu qu'ils proviennent d'anciens végétaux.

Source de $\text{CO}_2$	Valeur du $\delta^{13}\text{C}$ en (‰)
Combustibles fossiles	-28
Biosphère terrestre	-26
Hydrosphère (océans)	-10
Atmosphère	-8

Figure 2 - Rapports isotopiques  $\delta^{13}\text{C}$  pour différentes sources de  $\text{CO}_2$

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

### 3. Quelle interprétation donner aux valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ du $\text{CO}_2$ et à leurs variations ? (Voir figure 3)

Au laboratoire on mesure le rapport de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ou  $\delta^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  sur des échantillons d'air.

Sachant que :

- le rapport isotopique  $\delta^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère est constitué à partir d'un mélange de sources (Figure 1),
- l'empreinte isotopique  $\delta^{13}\text{C}$  de chaque source est unique (Figure 2),

les scientifiques peuvent identifier l'origine des variations du  $\delta^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère.

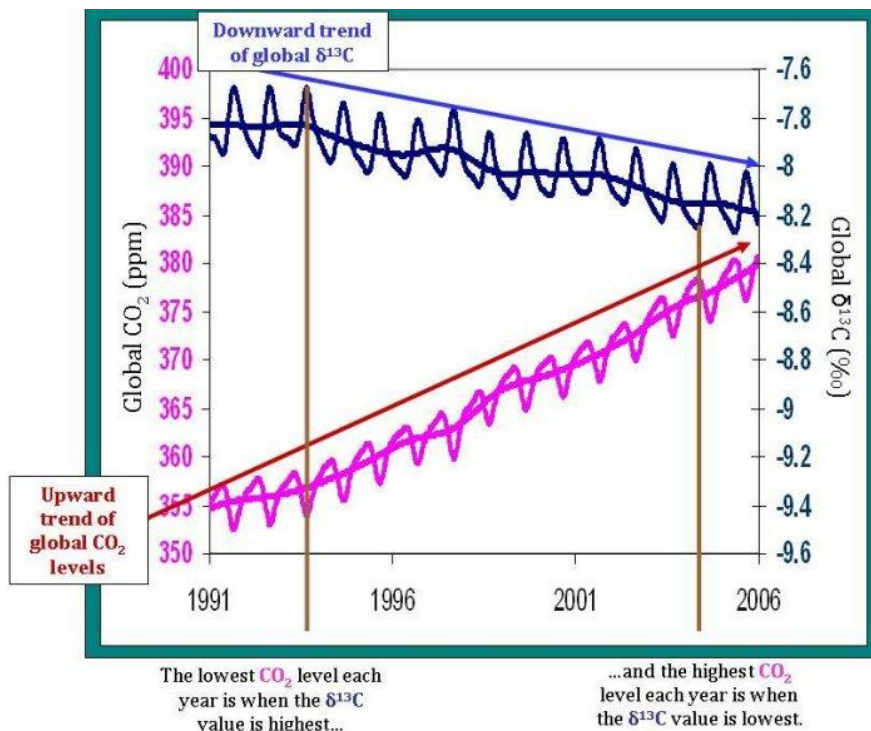


Figure 3 - Evolution du  $\text{CO}_2$  total et du  $\delta^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère de 1991 à 2006

Issu de <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 : la quantité relative de d'atomes  $^{13}\text{C}$  est de moins en moins importante par rapport à celle de  $^{12}\text{C}$  dans le  $\text{CO}_2$  atmosphérique.**

**Cette tendance s'explique par l'ajout de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère qui doit venir de la biosphère terrestre et/ou des combustibles fossiles.**

#### 4. L'isotope instable $^{14}\text{C}$ et combustibles fossiles (Voir figure 4)

Le  $^{14}\text{C}$  est constamment produit dans la haute atmosphère sous l'effet des rayonnements solaires à haute énergie à partir de l'azote. Les végétaux peuvent l'incorporer dans leur matière organique à la suite de la photosynthèse. Ces végétaux sont à l'origine des combustibles fossiles que l'homme utilise depuis l'avènement de l'ère industrielle.

Le  $^{14}\text{C}$  est radioactif et possède une demi-vie de 5730 ans. Or, on admet qu'au bout de 10 demi-vies (soit 57 300 ans), la quantité d'isotope peut être considérée comme négligeable.

De ce fait, tout le  $^{14}\text{C}$  initialement présent dans les combustibles fossiles que nous utilisons s'est désintégré (datés de plusieurs millions d'années), ne laissant aucun  $^{14}\text{C}$  dans cette ancienne matière organique.

La combustion massive de ces combustibles fossiles devrait donc faire diminuer la concentration atmosphérique en  $^{14}\text{C}$ .

**Le  $^{14}\text{C}$  constitue donc un traceur idéal du  $\text{CO}_2$  provenant de la combustion de combustibles fossiles.**

Au laboratoire américain NOAA chargé des analyses de l'air, on mesure le  $\delta^{14}\text{C}$ , 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  $\text{CO}_2$  possèdent leur propre **empreinte isotopique  $\delta^{14}\text{C}$**  (Voir Figure 4)

Source de $\text{CO}_2$	Valeur du $\Delta^{14}\text{C}$ (‰)
Combustibles fossiles	-1000
Biosphère terrestre	+45
Océan	+45
Atmosphère	+45

Figure 4 - Rapports isotopiques  $\delta^{14}\text{C}$  pour différentes sources de  $\text{CO}_2$

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

#### 5. Quelle interprétation donner aux valeurs du $\delta^{14}\text{C}$ du $\text{CO}_2$ et à leurs variations ? (Voir figure 5)

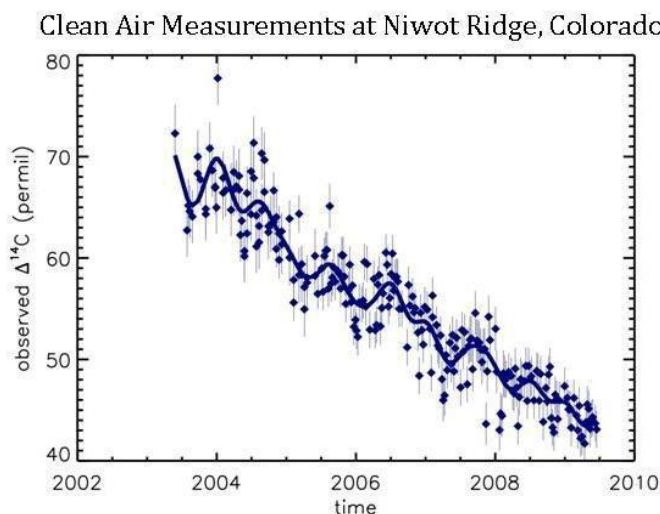


Figure 5 - Evolution du  $\delta^{14}\text{C}$  mesuré dans l'air propre à Niwot Ridge (1 point = 1 échantillon)

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

**On constate une tendance à la baisse du  $\delta^{14}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$  l'air ce qui montre que le  $\text{CO}_2$  supplémentaire ajouté à l'atmosphère provient des émissions dues à la combustion des combustibles fossiles.**

L'atmosphère actuelle a environ 380 parties par million, ou ppm, de  $\text{CO}_2$ , avec  $\delta^{14}\text{C}$  de 45 ‰. Si l'on ajoute 1 ppm de  $\text{CO}_2$  issu de la combustion de combustibles fossiles, avec un  $\delta^{14}\text{C}$  de -1000 ‰, alors la nouvelle valeur de  $\delta^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère connaît une variation sensible pour s'établir à 42 ‰.

A l'inverse, si on ajoute 1 ppm de  $\text{CO}_2$  issu d'un feu de forêt, les émissions de  $\text{CO}_2$  de l'incendie aurait la même valeur  $\delta^{14}\text{C}$  que l'atmosphère (ou très proche). Le  $\delta^{14}\text{C}$  atmosphérique ne changerait donc pas.

