

# **Le CO<sub>2</sub> d'origine anthropique et volcanique**

LABALETTE Julien ; TROUVILLIEZ Alexandre

19 décembre 2008

## Table des matières

<b>1</b>	<b>L'argument présenté dans le film</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>le CO2 relâché dans l'atmosphère par les volcans en moyenne</b>	<b>3</b>
2.1	les émissions des volcans et le cycle du carbone . . . . .	3
2.2	Rappels de tectonique . . . . .	3
2.3	détermination des sources du CO2 volcanique . . . . .	5
2.4	Mesures des rejets de CO2 par les volcans . . . . .	6
2.5	L'impact des dorsales océaniques . . . . .	6
2.6	Autre possibilité, le dégazage passif . . . . .	7
<b>3</b>	<b>le CO2 relâché lors de grands évènements</b>	<b>7</b>
3.1	au moment de l'éruption . . . . .	7
3.2	piégeage d'une partie de ce carbone dans la biosphère . . . . .	7
3.3	plutôt à une moins grande respiration de la biosphère . . . . .	8
3.4	d'autres paramètres peuvent intervenir dans le cas du Pinatubo . . . . .	9
<b>4</b>	<b>conclusion</b>	<b>9</b>

## Table des figures

1	Le cycle du Carbone (source : globe.gouv) . . . . .	4
2	une coupe transversale schématique de la terre (source : Hards, 2005) . . . . .	4
3	Les émissions des différents types de volcans (source : Hards, 2005)	6
4	La diminution du taux d'accroissement de CO2 après une éruption volcanique majeure . . . . .	8
5	les radiations depuis l'observatoire de Mauna Loa . . . . .	9
6	l'augmentation de la photosynthèse durant les 2 années suivant l'éruption du Pinatubo . . . . .	10
7	variation de l'épaisseur des cernes annuels des arbres de l'ITRDB après les éruptions majeures . . . . .	11
8	Les différents effets suivant leurs périodes de temps des gaz libérés lors des éruptions volcaniques . . . . .	11

## Introduction

Le film « The great global warming swindle »<sup>1</sup> développe plusieurs points pour réfuter la thèse d'un réchauffement climatique anthropique du au CO<sub>2</sub>. Dans ce film, un argument est exprimé : « les volcans produisent chaque année plus de CO<sub>2</sub> que toutes les usines, les voitures, les avions et les autres sources anthropiques de CO<sub>2</sub> réunies<sup>2</sup> ». Par la suite, nous allons regarder la véracité de cet argument.

## 1 L'argument présenté dans le film

Comme présenté dans l'introduction, l'argument se limite à la phrase citée. Aucune donnée chiffrée sur les émissions dues aux volcans chaque année ni aucune source ou fondement scientifique présenté. Ce n'est pas le cas pour les émissions de CO<sub>2</sub> d'origine anthropique qui sont fixées à 7GtC/an. N'ayant aucune référence, nous allons donc nous renseigner sur les émissions dues aux volcans, sachant que ces émissions doivent être supérieures à 7GtC/an pour vérifier l'argument.

## 2 le CO<sub>2</sub> relâché dans l'atmosphère par les volcans en moyenne

### 2.1 les émissions des volcans et le cycle du carbone

Les volcans rejettent en effet du CO<sub>2</sub> lors des éruptions. Si l'on considère le cycle du carbone (voir figure 1), il convient de remarquer que ces émissions ne représentent qu'une faible part des flux de carbone à destination de l'atmosphère. Le présent travail s'efforce de déterminer l'origine et la quantité de CO<sub>2</sub> rejeté par les volcans.

### 2.2 Rappels de tectonique

Il convient en premier lieu de rappeler les principes de la tectonique terrestre et les liens entretenus avec les volcans.

La Terre est une planète singulière à l'échelle du système solaire : c'est le seul corps céleste qui présente une activité tectonique actuelle. La tectonique des plaques résulte du refroidissement de la Terre. La lithosphère, partie solide de la Terre de 120 km d'épaisseur, repose sur le manteau ductile (voir figure 2). De fait les mouvements de la lithosphère découpée en plaques sont permis par la ductilité du manteau.

---

1. La grande arnaque du réchauffement climatique en français

2. ceci est juste notre traduction, en anglais dans le documentaire : « volcanos produce more CO<sub>2</sub> each years than all the factories and cars and planes and others sources of man-made carbon dioxide put together »

# Global Carbon Cycle

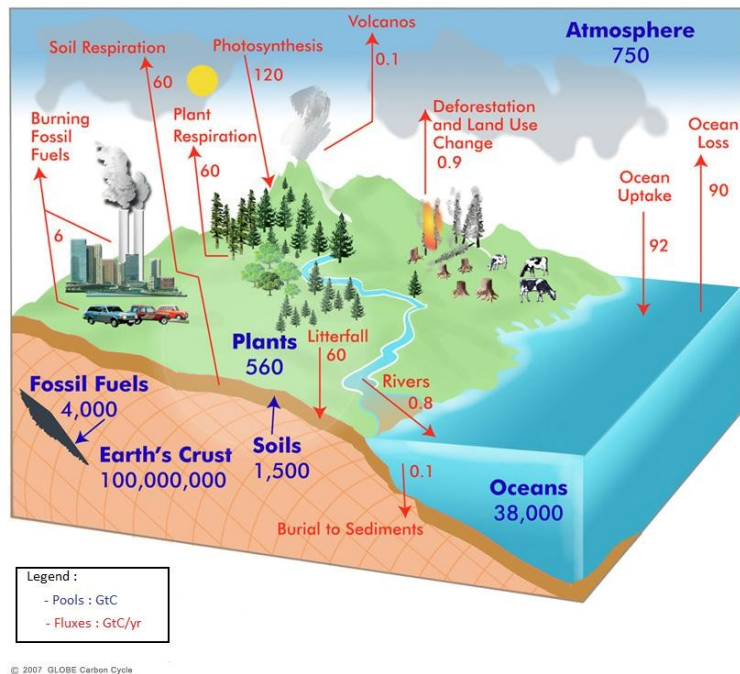


FIGURE 1 – Le cycle du Carbone (source : globe.gov)

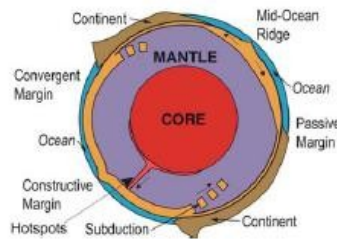


FIGURE 2 – une coupe transversale schématique de la terre (source : Hards, 2005)

Les phénomènes intéressants se produisent aux limites des plaques : on distingue trois types de frontières de plaques :

- les zones de divergence sont les frontières de plaques où de la lithosphère est « fabriquée » : à ce niveau des processus magmatiques (principalement volcaniques) engendrent la formation de lithosphère. Les zones de divergence sont caractérisées comme des dorsales ou des rifts ; ce sont typiquement des MOR (Mid-Ocean Ridges) ;

- les zones de convergence sont des frontières de plaques où la lithosphère est « détruite ». En d’autres termes la lithosphère d’une plaque passe sous celle d’une autre : c’est la subduction. La subduction permet de retourner du matériel lithosphérique dans le manteau ;
- les zones de coulissage sont les zones où les plaques glissent l’une par rapport à l’autre.

Le volcanisme est étroitement associé à ces différentes zones. En effet, au niveau de ces trois types de frontières de plaques, les conditions de température et de pression permettent la formation d’un magma qui sera émis à la surface terrestre lors d’éruptions. Au niveau des zones de divergence, la lithosphère océanique est plus fine. Le manteau peut remonter et subir une décompression, ce qui entraîne la fusion des roches le composant et par là-même la formation d’un magma. Au niveau des zones de convergence, c’est l’hydratation des roches par exfiltration d’eau accumulée dans la lithosphère subductée qui occasionne la genèse d’un magma. Il existe un type de volcans non lié à la tectonique : il s’agit du volcanisme de points chauds, où des panaches de magma se forment en profondeur avant de remonter au cœur d’une plaque.  $^{13}\text{C}$

### 2.3 détermination des sources du CO<sub>2</sub> volcanique

Pour déterminer les sources du CO<sub>2</sub> émise par un volcan et sa source, le  $\delta^{13}\text{C}$  est employé. Cette mesure repose sur le fait que le carbone contenu dans une molécule de CO<sub>2</sub> possède plusieurs isotopes :  $^{13}\text{C}$  et  $^{12}\text{C}$ . Le  $\delta^{13}\text{C}$  vaut :

$$\left( \left( \frac{^{12}\text{C}/^{13}\text{C}_{mes}}{^{12}\text{C}/^{13}\text{C}_{ref}} \right) - 1 \right) / 1000$$

Le rapport  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  mesuré dans l’atmosphère est exprimé en partie par millier. La valeur de référence est le ratio  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  mesuré dans la bélemnite de PeeDee (Californie). Le  $\delta^{13}\text{C}$  est exprimé en ‰. Il convient de noter que l’isotope  $^{13}\text{C}$  témoigne d’une origine biosphérique du CO<sub>2</sub> (biomasse ou fossile). Les mesures du  $\delta^{13}\text{C}$  réalisées au droit des zones de divergence et des points chauds montrent une origine mantellique du CO<sub>2</sub> (le  $\delta^{13}\text{C}$  vaut  $-4 \pm 2,5\%$ ). Au niveau des zones de convergence, les valeurs trouvées pour le  $\delta^{13}\text{C}$  s’étalent entre  $-12$  et  $+2,5\%$ . Cela témoigne d’une origine crustale majoritaire du CO<sub>2</sub> rejeté.

Les sources du CO<sub>2</sub> émis des volcans trouvent donc leur origine dans la lithosphère et le manteau. Les volcans assurent donc un flux entre le réservoir des roches carbonées et l’atmosphère. Le réservoir des roches carbonées est le plus grand réservoir de carbone du cycle. En outre, le temps de résidence du carbone dans ce réservoir est long : 200 Ma. A première vue, l’activité des volcans ne peut avoir d’impact qu’à une échelle de temps grande (échelle des temps géologiques), attendu que les roches carbonées ne libèrent que lentement le CO<sub>2</sub>.

Pourquoi alors estimer que sur une année le CO<sub>2</sub> volcanique est supérieur au CO<sub>2</sub> anthropique ?

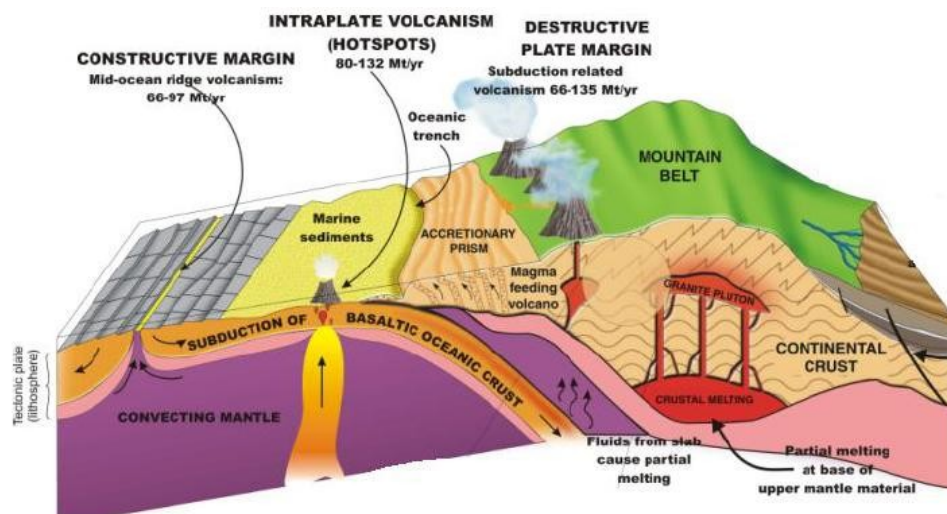


FIGURE 3 – Les émissions des différents types de volcans (source : Hards, 2005)

## 2.4 Mesures des rejets de CO<sub>2</sub> par les volcans

La nature et la quantité des gaz rejetés par les volcans sont mesurées par spectroscopie infrarouge et analyse UV. Ces analyses se basent sur les différences d'absorption des longueurs d'onde des gaz. Les émissions de CO<sub>2</sub> des volcans à l'heure actuelle sont estimées à environ 300 Mt/an, ce qui équivaut approximativement à 100MtC/an. Cela représente 1% des rejets humains environ. Même lors des événements volcaniques particuliers (exemple des trapps du Deccan, il y a 66 Ma), les émissions de CO<sub>2</sub> n'ont pas dépassé la GtC/an : le CO<sub>2</sub> additionnel relâché lors de la formation des trapps du Deccan représentait entre 0,3 et 2 MtCO<sub>2</sub>/an. Si ce chiffre est rapporté aux 6 GtC/an rejetés par les activités anthropiques, il peut paraître dérisoire. Alors pourquoi les détracteurs du réchauffement climatique ont-ils avancé que les émissions volcaniques surpassaient les émissions anthropiques ?

## 2.5 L'impact des dorsales océaniques

Les dorsales océaniques constituent la plus grande chaîne de volcans à l'échelle terrestre (longueur totale cumulée de 60000 km). L'hypothèse selon laquelle ces formations géologiques rejetteraient près de 6 GtC/an pourrait être faite. Seulement, la plus grande part des dorsales sont immergées. Les émissions se font dans l'océan. Outre que les temps de transfert depuis l'océan profond sont très longs (dizaines de milliers d'années), le CO<sub>2</sub> ainsi émis est immédiatement dissous dans l'océan et est même réinjecté dans la lithosphère en formation. L'impact des dorsales sur la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère peut donc être considéré comme nul.

## 2.6 Autre possibilité, le dégazage passif

Les volcans sont des édifices géologiques qui recouvrent une grande surface. Un édifice volcanique présente des cheminées secondaires, des zones poreuses. Les gaz diffusent par ces interstices, par ces conduits, sans qu'une éruption ne se produise. Des mesures effectuées dans la région géothermale de Yellowstone indiquent que le flux de carbone émis par dégazage passif serait de l'ordre de  $1,6 \pm 0,6$  MtCO<sub>2</sub>/an. Cette quantité est encore insignifiante par rapport aux 6 GtC/an émises par l'Homme.

## 3 le CO<sub>2</sub> relâché lors de grands évènements

Les valeurs que nous avons vu jusqu'à présent sont des calculs intégrateurs sur l'année et il traîne sur Internet des rumeurs obscures comme quoi une éruption volcanique du type Pinatubo équivaldrait à 10 fois les émissions anthropiques annuelles de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 au moment de l'éruption

Au moment de l'éruption, les volcans relâchent directement du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Il a été estimé que l'éruption du 18 mai 1980 du Mont Saint Helens a relâché entre 4,8 et 22 MtCO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ce relarguage de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui a été mis en évidence dans les sections précédentes devrait provoquer une augmentation temporaire de l'accroissement de CO<sub>2</sub> annuel, au moins sur une année. Pourtant, lorsque l'on regarde le taux d'accroissement de CO<sub>2</sub> après deux éruptions majeures dont celle du Pinatubo, on observe au contraire une baisse de ce taux (Prentice et al, 2001) sur une à deux années (voir figure 4).

### 3.2 piégeage d'une partie de ce carbone dans la biosphère

Une étude sur le proxy de l'isotope 13 du carbone dans l'atmosphère peut être faite ( $\delta^{13}C$ ). La variation de ce proxy est un marqueur du piégeage du carbone par la biosphère, les plantes stockant préférentiellement le <sup>12</sup>C que le <sup>13</sup>C (Battle et al, 2000). Une augmentation du flux de carbone depuis l'atmosphère vers la biosphère peut être observée durant les deux années suivant l'éruption du Pinatubo en juin 1991.

Ce carbone serait stocké dans la biosphère, mais alors de quelle manière ? Lors de l'éruption, les volcans relâchent des aérosols en grande quantité, surtout du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). L'éruption du Mont Pinatubo a relâché au moins 17 Mt de SO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Hards, 2005). La présence de ces aérosols va absorber l'effet direct des radiations solaires. Cela a pour effet de refroidir la température de surface (Robock, 2000) et de diminuer les radiations directes au profit de radiations diffuses (voir figure 5).

L'augmentation de ces radiations diffuses permettrait une meilleure production primaire nette, la photosynthèse étant plus efficace en lumière diffuse. Une étude menée sur la canopée de la forêt de Havard puis généralisée au reste du

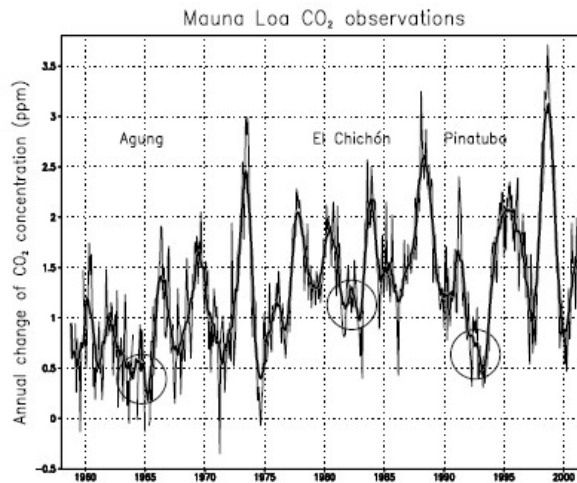


Figure 3. Annual rate of increase of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. Data are from *Keeling and Whorf* [2004]. Thin line is monthly values and thick line is 9-month running mean. Minima following the largest volcanic eruptions of the period are indicated. Other interannual variations are partially due to biospheric responses to changing land climate, El Niños, and La Niñas. (Figure 7 from *Robock* [2003].)

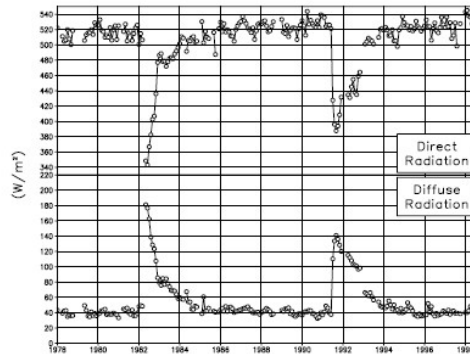
FIGURE 4 – La diminution du taux d’accroissement de CO<sub>2</sub> après une éruption volcanique majeure

globe a estimée que l’augmentation de production primaire nette à midi par rapport à un ciel sans nuage est de 23% en 1992 et 8% en 1993 (Gu et al, 2003). Le puit de carbone vers la biosphère serait donc dû à une augmentation de la production primaire nette durant les années 1992 et 1993 (voir la figure 6).

### 3.3 plutôt à une moins grande respiration de la biosphère

L’inconvénient de la méthode précédente est qu’elle n’est pas intégratrice. Une autre étude de dendrochronologie, méthode elle plus intégratrice, menée sur des éruptions depuis 1026 et sur de nombreuses données de la banque ITRDB (International Tree Ring Data Bank) arrive à une conclusion inverse (Krakauer et al, 2003). La photosynthèse aurait plutôt diminué lors des périodes post-éruptives à cause d’une température plus faible et d’une saison végétative plus courte. Cependant, la baisse de température provoquée par l’éruption entrainerait une respiration hétérotrophique encore moindre que la diminution de production primaire nette, augmentation ainsi le flux de carbone vers la biosphère (Krakauer et al, 2003).





**Figure 1.** Direct and diffuse broadband radiation measurements from the Mauna Loa observatory, measured with a tracking pyrheliometer and shade disk pyranometer on mornings with clear skies at solar zenith angle of  $60^\circ$ , equivalent to 2 relative airmasses [Dutton and Christy, 1992]. The reduction of direct radiation and enhancement of diffuse radiation after the 1982 El Chichón and 1991 Pinatubo eruptions are clearly seen. Years on abscissa indicate January of that year. Data courtesy of E. Dutton. (Figure 4 from Robock [2000]. It is similar to Figure 2 of Dutton and Bodhaine [2001].)

FIGURE 5 – les radiations depuis l’observatoire de Mauna Loa

### 3.4 d’autres paramètres peuvent intervenir dans le cas du Pinatubo

Dans le cas du Pinatubo, d’autres paramètres peuvent entrer en compte que nous ne développerons pas ici, cela ne nous semble pas le sujet principal de ce rapport :

- Les événements ENSO sont un facteur important contrôlant le  $\text{CO}_2$  atmosphérique. Suite à une éruption important dans le Pacifique, les chances d’avoir un El-Nino dans l’hiver suivant l’éruption sont augmentées de 50% (Adams et al, 2003) ;
- L’éruption relargue aussi du plomb qui se répand à la surface de l’océan pacifique et augmente la production primaire nette du phytoplancton (Watson, 1997) ;
- la baisse de l’augmentation de carbone pourrait être en partie du à l’effondrement du bloc de l’URSS

## 4 conclusion

Les volcans rejettent un flux de  $\text{CO}_2$  dans l’atmosphère négligeable par rapport aux émissions humaines. Certes, les volcans ont dû jouer un rôle important par le passé quant à l’émission de  $\text{CO}_2$  (en l’absence d’activités humaines, les volcans étaient l’une des sources prépondérantes d’émission de  $\text{CO}_2$  et participaient à l’évolution naturelle du climat). Mais à l’heure actuelle, la part de  $\text{CO}_2$  qu’ils rejettent n’équivaut qu’un 1% des émissions anthropiques (Morner et Etiope, 2003). De fait, peut-être les détracteurs du réchauffement climatique

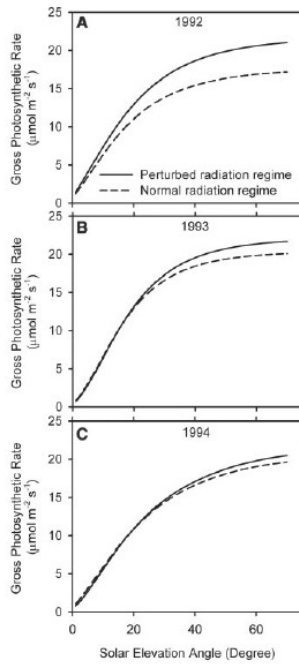


Fig. 2. The canopy gross photosynthetic rate versus the solar elevation angle under the perturbed cloudless solar radiation regime (solid lines) and the normal cloudless solar radiation regime (dashed lines) in (A) 1992, (B) 1993, and (C) 1994. The canopy gross photosynthetic rate was calculated from the parameters in Table 1 and the relations between the diffuse radiation and direct beam radiation and the solar elevation angle (Fig. 1) using the generalized rectangular hyperbola model (34).

Fig. 1. Regression between the cloudless solar radiation and the solar elevation angle for the 6 years (1992 to 1997) after the Mount Pinatubo eruption. The regression relation is  $I = c_0 + c_1 * [1 - \exp(-c_2 * \theta)]$ .  $I$  is the direct beam or the diffuse solar radiation.  $c_0$ ,  $c_1$ , and  $c_2$  are regression coefficients.  $\theta$  is the solar elevation angle. Diffuse radiation and direct beam radiation were measured independently. Because of this, some minor mismatch between diffuse and direct radiation in the year-to-year variations existed, but it was not found to affect the final results considerably (SOM text; figs. S3 and S4). (A) Direct beam solar radiation on the normal plane. (B) Diffuse solar radiation.

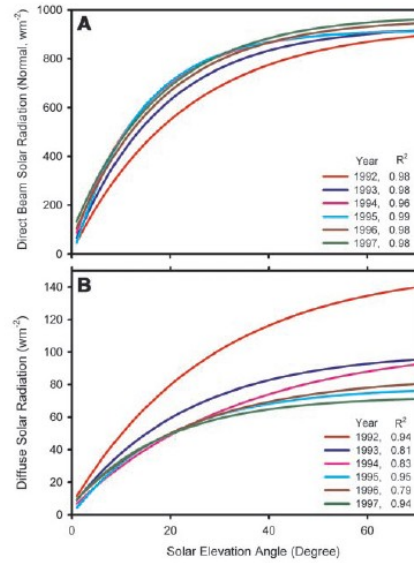


Table 1. Inferred canopy parameters in 1992, 1993, and 1994 from hourly NEE measurements under cloudless conditions. Parameters associated with diffuse radiation are larger than those associated with direct beam radiation, indicating advantages of diffuse radiation over direct beam radiation for canopy photosynthesis (33, 34, 36).

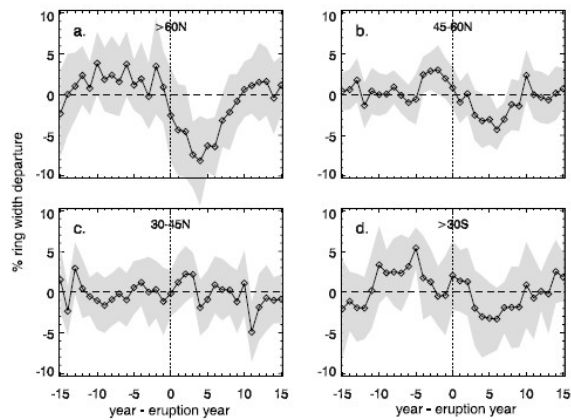
	1992	1993	1994
Initial diffuse RUE ( $\mu\text{mol/J}) \times 100$	11.82	7.39	10.18
Initial direct RUE ( $\mu\text{mol/J}) \times 100$	3.94	6.17	3.78
Diffuse CLR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	139.60	169.07	146.93
Direct CLR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	19.33	18.95	28.66

FIGURE 6 – l'augmentation de la photosynthèse durant les 2 années suivant l'éruption du Pinatubo

ont-ils fait une erreur d'échelle (confusion entre GtC et MtC).

L'argument aurait pu être plus percutant s'il avait porté sur les émissions de vapeur d'eau et de méthane. En termes d'effet de serre, ces deux gaz ont une efficacité supérieure à celle du dioxyde de carbone. Et les volcans rejettent bien plus de vapeur d'eau que de  $\text{CO}_2$  par exemple (entre 40 et 60% des gaz émis lors d'une éruption sont de la vapeur d'eau).

En outre, l'impact des volcans sur le climat est complexe. En plus de rejeter des gaz, ils émettent des aérosols. Les aérosols ont tendance à refroidir le climat. Il faut donc distinguer l'action à court terme des volcans (refroidissement via les aérosols) de l'action à long terme (participation au réchauffement).



**Figure 2.** (a–d) Mean ring width departures around eruption years, by latitude zone (with the 30°S–45°S and 45°S–56°S zones combined). Shading shows 2-standard error confidence limits based on the variation across eruption years. Because width departures are expressed relative to a centered moving average, zones that have substantial negative departures following eruption years tend to show positive departures preceding eruption years. See Table 2 for number of sites and significance levels of departures for each zone. Table 1 lists the eruption years used.

FIGURE 7 – variation de l'épaisseur des cernes annuels des arbres de l'ITRDB après les éruptions majeures

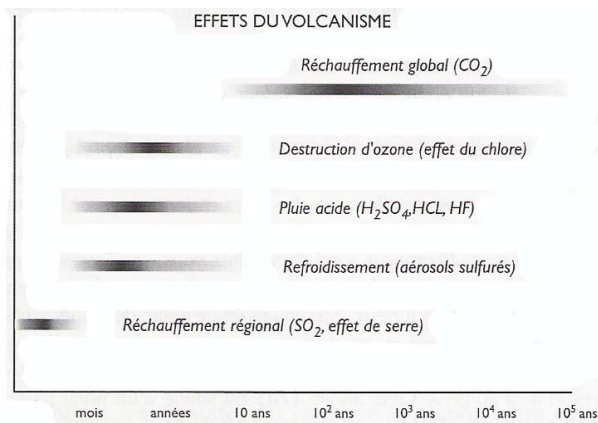


FIGURE 8 – Les différents effets suivant leurs périodes de temps des gaz libérés lors des éruptions volcaniques

## bibliographie

ADAMS, J.B., MANN, M.E., AMMANN, C.M., Proxy Evidence for an El Niño-like Response to Volcanic Forcing, *Nature*, 426, 274-278, 2003

BATTLE, M., M.L. BENDER, P.P. TANS, J.W.C. WHITE, J.T. ELLIS, T. CONWAY, R.J. FRANCEY, 2000 : Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric  $O_2$  and  $\delta^{13}C$ , *Science*, 287, 2467-2470

GU LIANHONG ; BALDOCCHI DENNIS D ; WOFSEY STEVE C ; MUNGER J WILLIAM ; MICHALSKY JOSEPH J ; URBANSKI SHAWN P ; BODEN THOMAS. A Response of a deciduous forest to the Mount Pinatubo eruption : enhanced photosynthesis. *Science (New York, N.Y.)* 2003;299(5615) :2035-8

HARDS, V. L. 2005. Volcanic contributions to the global carbon cycle. British Geological Survey Occasional Publication. Numero 10. 26pp

KRAKAUER, N.Y., AND J.T. RANDERSON. 2003. Do volcanic eruptions enhance or diminish net primary production? Evidence from tree rings. *Global Biogeochemical Cycles*. 17(4) : 1118. doi : 10.1029/2003GB002076

MORNER N.A., ETIOPE G. [2002]. Carbon degassing from the lithosphere. *Global and Planet. Change.*, 33, 1-2, 185-203

PRENTICE ET AL., in *Climate Change 2001 : The Scientific Basis*, J. T. Houghton et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001) pp. 183-237.

ROBOCK, A., Volcanic eruptions and climate, *Rev. of Geophys.*, 38, 191-219, 2000

ROBOCK, ALAN, 2005 : Cooling following large volcanic eruptions corrected for the effect of diffuse radiation on tree rings. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L06702, doi :10.1029/2004GL022116