

Préparation IESO 2021 – Défi 2 – Décembre

Annale Olympiade de Géosciences 2018 – Sujet métropole

Le risque d'éruption d'un supervolcan fait fréquemment les gros titres des journaux, quand bien même les scientifiques estiment qu'il est très peu probable qu'une telle éruption ait lieu au cours du prochain millénaire.

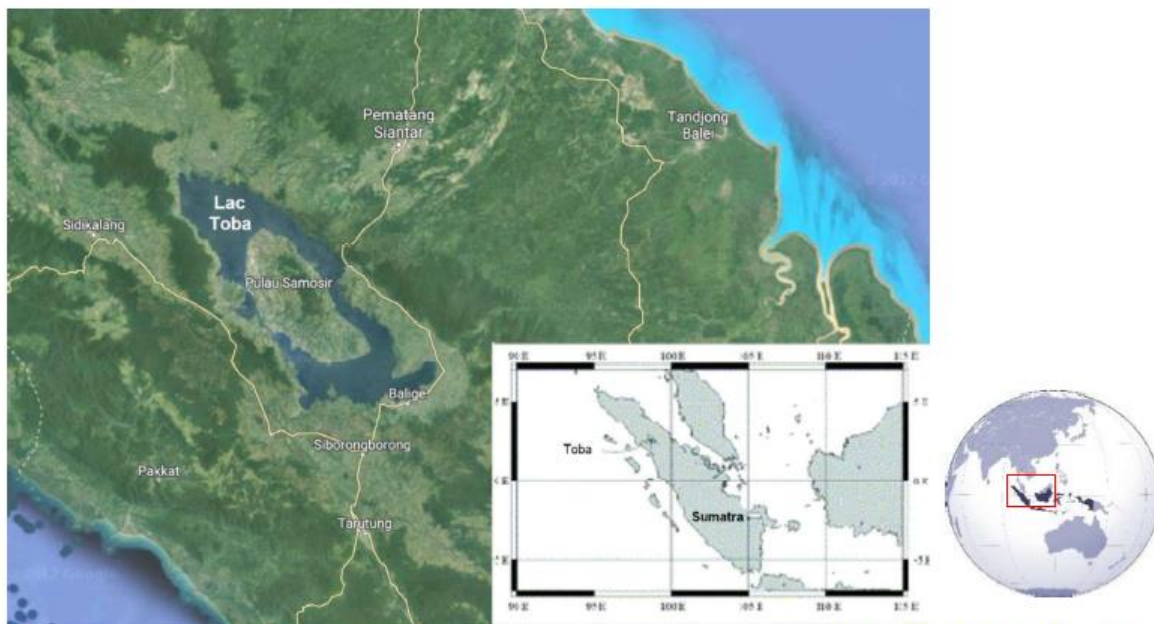
Pour ce défi, votre mission est de montrer, à partir de l'exemple du volcan Toba, comment une éruption volcanique majeure peut impacter le climat. Pour cela, il vous faut :

- Justifier, à partir des informations tirées des documents 1, 2 et 3, que le volcan Toba est un volcan à dynamique majoritairement explosive qui appartient à la catégorie des supervolcans.
- Justifier, à partir des informations tirées des documents 4 et 5, que l'éruption du volcan Toba d'il y a 74 000 ans est associée à des modifications du climat mondial.
- Expliquer, à partir des informations extraites de l'ensemble des documents, comment une éruption volcanique majeure, telle que celle de Toba il y a 74 000 ans, peut fortement impacter le climat mondial.

Document 1 - Le volcan Toba

Document 1a - Le lac Toba (vue satellitaire)

Le lac Toba actuel se situe en Indonésie, sur île de Sumatra. Au centre du lac se trouve une île constituée par un dôme de roches volcaniques. Sa profondeur moyenne est d'environ 500 m.

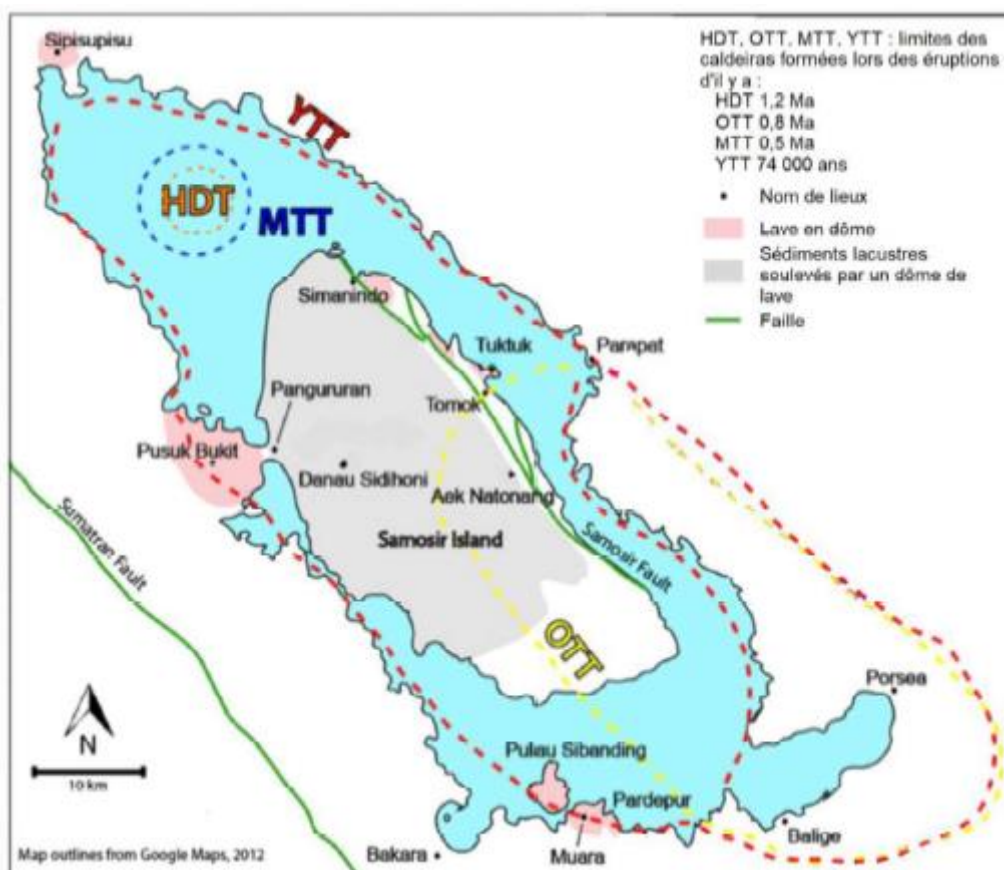


<https://forums.infoclimat.fr/> - GoogleEarth

Document 1b - Les caldeiras du lac Toba

Une caldeira est un vaste cratère volcanique d'effondrement qui résulte de l'émission rapide d'un important volume de lave. Le volcan Toba montre des traces de caldeiras successives (limites marquées par un trait en pointillés sur la carte).

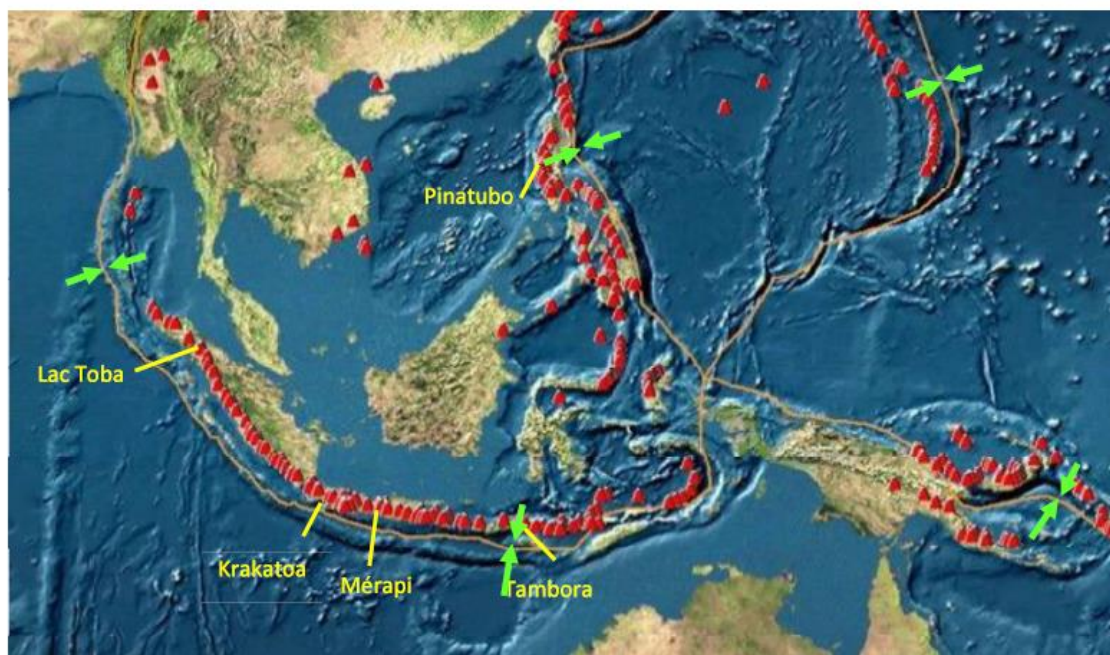
La dernière éruption a eu lieu il y a 74 000 ans. On estime la production de matériel pyroclastique* laissé par cette dernière à près 3 fois le volume de la caldeira formée lors cette éruption, soit environ 2 800 km³.



D'après Chesner et Rose (1991) et Chesner (2012)

*Le volume de matériel pyroclastique est le volume de matière émis par le volcan, il est à distinguer du volume de magma

Document 1c - Le contexte géologique



Conçu avec le logiciel Sismolog

- ▲ Volcan
- Limite de plaques tectoniques
- Mouvement relatif de convergence
- ← Mouvement relatif de divergence

Document 2 – L'éruption du volcan Tambora (autre volcan indonésien) et ses conséquences

« Considéré comme un volcan éteint par les habitants de la région, le Tambora s'est réveillé lentement à partir de 1812. Le 5 avril 1815, une éruption débute et forme une colonne de cendres de plus de 30 km de hauteur. Cette activité persiste de façon intermittente jusqu'au soir du 10 avril. À 19h ce jour-là, l'éruption majeure débute. Une seconde colonne se forme jusqu'à une altitude de 43 km, envoyant des quantités gigantesques de cendres dans l'atmosphère. Très rapidement, le conduit par lequel le magma est éjecté s'élargit, la teneur en eau du magma diminue et la colonne de cendres s'effondre sur elle-même, générant des coulées pyroclastiques qui recouvrent toute la région. La quantité de magma qui sort du volcan est tellement importante que le volcan s'effondre sur lui-même, perdant plus de 1 400 m d'altitude et laissant une caldeira de 6,5 km de diamètre et 1 000 m de profondeur. Cette phase paroxysmale de l'éruption dure à peine plus de 24 heures. L'arrivée des coulées pyroclastiques à la mer provoque des tsunamis qui déferlent sur les côtes des îles voisines et parcourent plusieurs centaines de kilomètres, affectant jusqu'à l'île de Java. D'immenses radeaux de ponces (roches volcaniques très légères) et de nombreux troncs d'arbres flottent sur l'océan. [...]

Dès le premier été qui a suivi l'éruption du Tambora, des phénomènes étranges sont observés en Europe de l'ouest. De nombreuses observations écrites font état, notamment dans le sud de l'Angleterre, d'une atmosphère brumeuse en permanence, filtrant une partie du rayonnement solaire, et ceci indépendamment des vents qui soufflaient au niveau du sol. La présence de produits volcaniques dans la haute atmosphère est bien sûr à l'origine de ce phénomène, immortalisé par le peintre anglais William Turner. L'année 1816 a été la plus froide depuis les 600 dernières années en Europe et en Amérique du Nord. L'histoire retient surtout la tempête qui a eu lieu, dans l'est des États-Unis, du 5 au 11 juin, avec des températures en-dessous de zéro durant plusieurs nuits, et d'abondantes chutes de neige qui ont fortement affecté les cultures. En Europe de l'ouest, la famine s'étend rapidement, en lien avec l'augmentation du prix des céréales devenues beaucoup plus rares. »

Extrait de *Volcanologie*, Chazot, Lénat, Maury, Agranier, Roche, éditions Deboeck, 2017, p 175

Document 3 – Quelques caractéristiques d'éruptions volcaniques majeures de type explosif

On distingue les éruptions explosives de supervolcans explosifs par leur production pyroclastique* hors norme ; l'US Geological Survey (USGS) l'applique à toute éruption qui rejette plus de 1 000 km³ de ponces et de cendres en une seule explosion.

Volcan et localisation	Date ou âge des éruptions	Volume de matériel pyroclastique émis (en km ³)*
Fish Canyon, Colorado, USA	- 28 millions d'années	3 000
Yellowstone, Wyoming, USA	- 2,2 millions d'années	2 500
Taupo, Nouvelle-Zélande	- 26 500 ans	1 170
Yellowstone, Wyoming, USA	- 640 000 ans	1 000
Tambora, île de Sumbawa, Indonésie	1 815	150
Mérapî	2 010	130
Krakatoa, île au sud de Sumatra, Indonésie	1 883	21
Pinatubo, Philippines	1 991	4
Vésuve	79	3,3
Mont Saint Héléne, Washington, USA	1 980	<1

Données dispersées

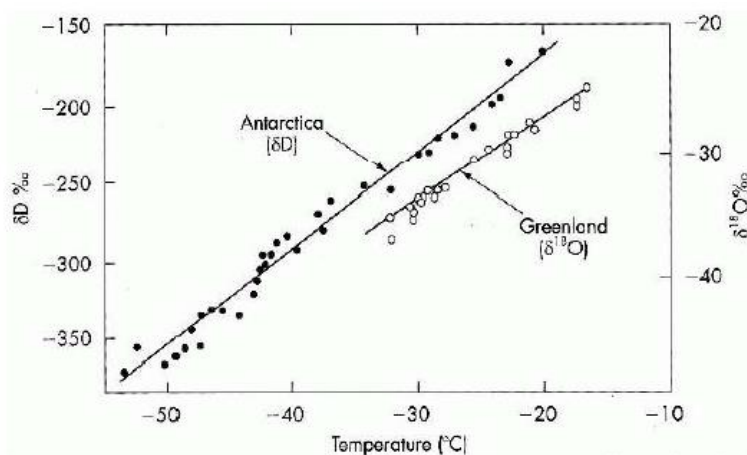
*Le volume de matériel pyroclastique est le volume de matière émis par le volcan, il est à distinguer du volume de magma

Document 4 - Des informations apportées par le thermomètre isotopique

Document 4a - Le principe des thermomètres isotopiques

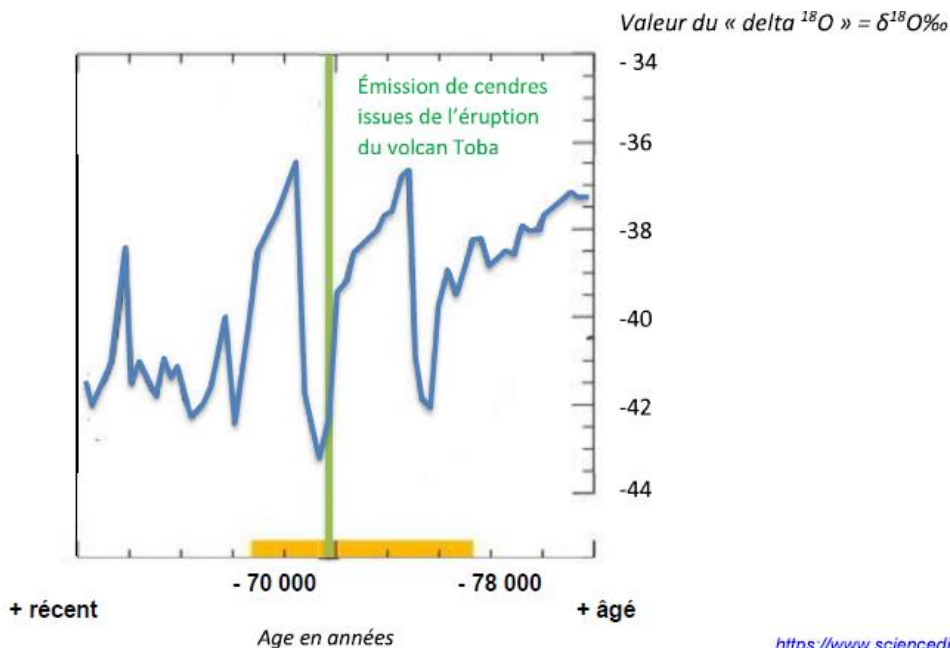
L'eau (H₂O) est constituée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. L'atome d'oxygène existe sous la forme de deux isotopes stables : l'oxygène 16, ¹⁶O, et l'oxygène 18, ¹⁸O. Dans l'eau de pluie ou dans la neige, on trouve donc de l'eau avec des atomes d'oxygène 16 et de l'eau avec des atomes d'oxygène 18. L'H₂¹⁶O est beaucoup plus fréquente que l'H₂¹⁸O. On peut mesurer les variations du rapport H₂¹⁸O / H₂¹⁶O, noté « δ¹⁸O », dans les précipitations en fonction de la température moyenne. Le graphique suivant montre les résultats obtenus pour le Groenland, noté « Greenland ».

Il existe également deux isotopes stables pour l'hydrogène : l'hydrogène 1, ¹H, et le deutérium, ²H. De la même façon, on peut mesurer les variations du rapport ²H₂O / ¹H₂O noté « δD » en fonction de la température moyenne. Le graphique ci-dessous montre les résultats obtenus en Antarctique, noté « Antarctica ».



D'après Jouzel et al, 1994, dans Planet-Terre

Document 4b - Les variations du delta ^{18}O dans les glaces du Groenland



Document 5 – Les informations apportées par l'étude des pollens

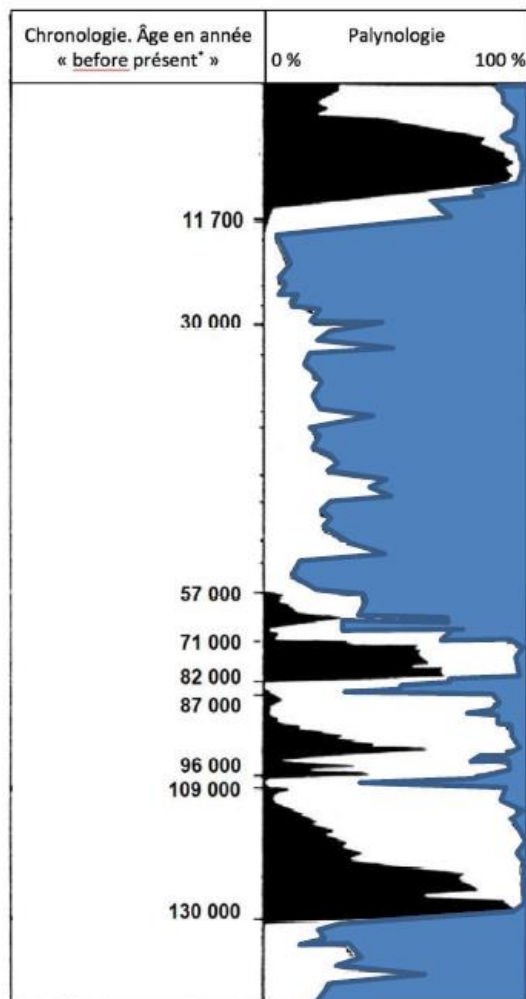
L'étude des pollens des végétaux permet de reconstituer la diversité des espèces végétales qui sont notamment dépendantes des conditions climatiques. Une dominante de pollens de plantes herbacées traduit un climat froid et sec ; une dominante de pollens d'arbres traduit un climat plus tempéré, en particulier les chênaies.

Le graphe suivant présente la composition en pollens d'une colonne de sédiments âgés de -140 000 ans à nos jours (tourbière de la Grande Pile, France).

* Before présent = Avant 1950

Légende

- Chênaie
- Autres arbres
- Herbes

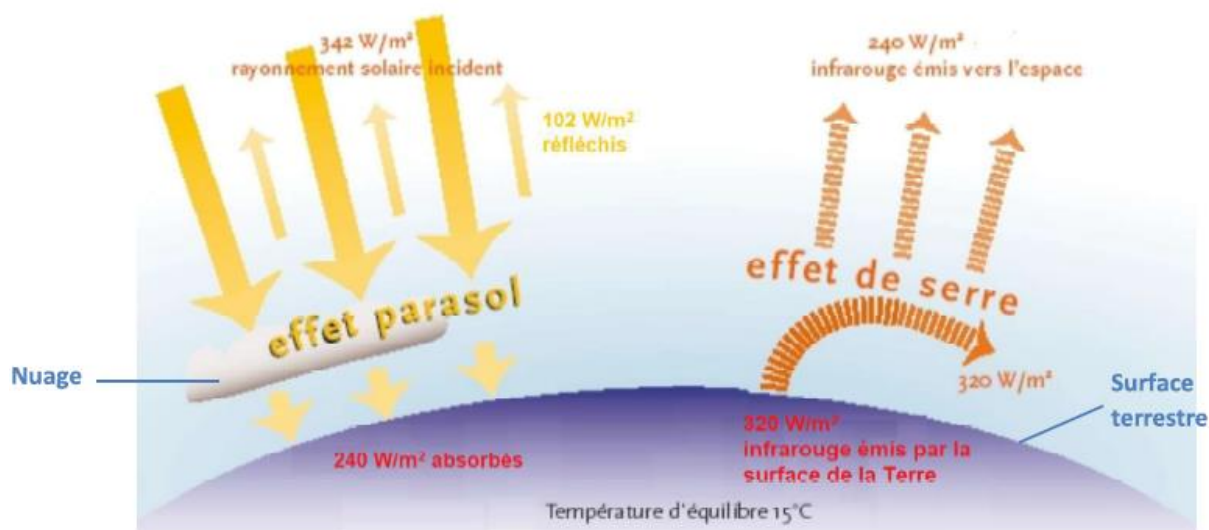


D'après G. Woillard, revu par Ellwood in Brugal et al. 2001 dans Manuel d'Archéologie, François Djindjian, 2011, Ed Armand Coli

Document 6 – Les émissions volcaniques et leurs conséquences

Document 6a – Le bilan radiatif de la Terre

Le bilan radiatif de la Terre dresse un inventaire de l'énergie reçue et perdue par l'atmosphère et l'hydrosphère de la Terre.



Document 6b – Les matériaux émis dans l'atmosphère lors d'une éruption volcanique

Outre les matières solides, de nombreux gaz sont libérés lors d'une éruption volcanique. Le tableau ci-dessous représente les proportions des principaux gaz émis lors de deux éruptions explosives, à l'exception de la vapeur d'eau. Ces gaz sont normalement en concentration très faible dans l'atmosphère.

	Mt. St. Helens (USA)	Mérapi (Indonésie)
H ₂ (%)	0,85	1,54
CO ₂ (%)	6,64	7,07
CO (%)	0,06	0,16
SO ₂ (%)	0,2089	1,15
H ₂ S (%)	0,3553	1,12

D'après volcano.oregonstate.edu

Document 6c – L'influence de quelques composants atmosphériques sur le bilan radiatif de la Terre

Les effets suivants sont régionaux et relativement brefs si seule la troposphère (les 10 premiers kilomètres environ) est affectée. Si les gaz et les particules ci-dessous atteignent la stratosphère (10 à 50 km d'altitude), l'effet est mondial et plus durable, jusqu'à plusieurs années.

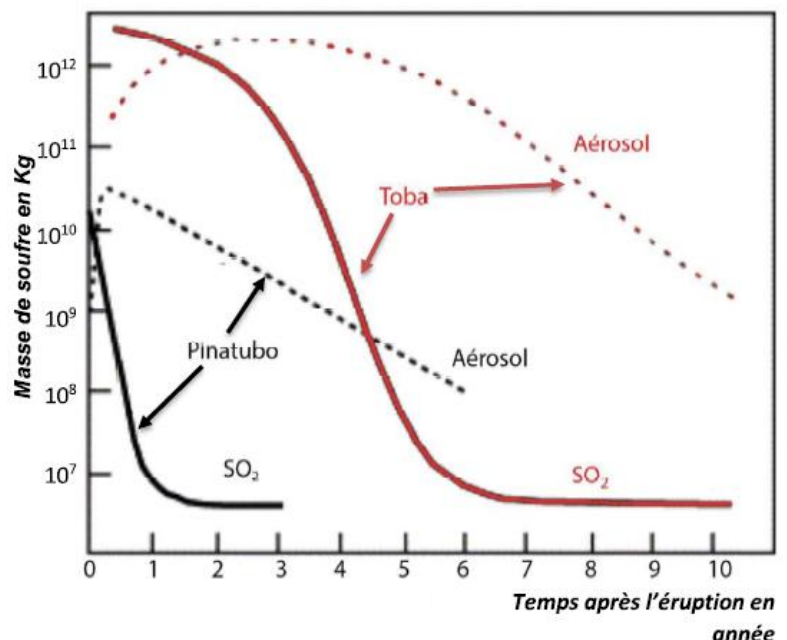
Composant	Effet
Cendres	Effet parasol
CO ₂	Effet de serre (difficilement quantifiable compte tenu du CO ₂ atmosphérique préexistant)
H ₂ S, SO ₂	Transformation en H ₂ SO ₄ , pluies acides
H ₂	Aucun impact direct
Aérosols dont H ₂ SO ₄	Effet parasol très élevé
CO	Contribution à la formation de l'ozone troposphérique Transformation en CO ₂ dans l'atmosphère

D'après le MOOC Volcanologie physique de l'IPGP

Document 6d – Le devenir des matériaux soufrés

Ejecté dans la stratosphère, le dioxyde de soufre se mélange avec la vapeur d'eau de l'atmosphère et se transforme alors en acide sulfurique liquide (H₂SO₄). Il devient ce qu'on appelle un « aérosol », c'est-à-dire de fines gouttelettes de quelques dixièmes de microns de diamètre en suspension dans un gaz.

Le graphe ci-dessous présente les masses totales de soufre, sous la forme de dioxyde de soufre (traits pleins) et d'aérosol de sulfate (traits pointillés) qui auraient été émises dans la stratosphère lors de l'éruption de Toba. Ces résultats sont issus d'un modèle numérique. Pour la simulation, il a été considéré une injection de 6.10¹² kilogrammes de SO₂ dans la stratosphère.



forums.infoclimat.fr

Les masses de soufre sous la forme de SO₂ et d'aérosol de sulfate observées pour le Pinatubo (éruption de 1991) sont présentées à titre de comparaison.

Document bonus :

Le panache du Pinatubo lors de l'éruption de 1991 est composé de mots en lien avec le défi de Décembre. Un seul mot sort de cet ensemble ; il s'agit du thème du prochain défi. Sauras-tu le retrouver ?



lespritsorcier.org

Le thème du prochain défi est :