L'ombre des volcans = Der Schatten der Vulkane

Autor(en): **Naudet, Jean-Pierre**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **41 (1983)**

Heft 198

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899244

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

L'ombre des volcans

JEAN-PIERRE NAUDET

Der Schatten der Vulkane

Le 18 mai 1980, l'explosion du volcan Saint-Helens (USA) détruisait par la violence de son souffle, faune et flore dans un rayon de 20 à 25 km et projetait dans l'atmosphère plusieurs millions de tonnes de cendres et de poussières. Une partie de ces cendres retombait au sol, recouvrant cultures et forêts de l'Etat de Washington d'une couche épaisse de plusieurs centimètres au centre de l'Etat, tandis que les cendres expulsées à très haute altitude (10 km et plus) se dispersaient autour du globe. Les péripéties de cette éruption bien localisée dans une région d'accès aisé, étaient suivies par de nombreux observateurs et offraient, en particulier, l'opportunité d'étudier les effets du volcanisme sur l'atmosphère de la Terre.

On sait, en effet, depuis quelques années, qu'une partie des cendres et gaz émis lors des éruptions majeures s'accumule dans la stratosphère entre 10 et 30 km d'altitude où elle forme, autour de la planète, une couche qui empêche une fraction du rayonnement solaire de parvenir jusqu'au sol. Par cette variation du bilan d'énergie qu'il provoque, le volcanisme engendre des modifications climatiques affectant aussi bien les températures que le régime des pluies, avec des répercussions probables sur les activités humaines (l'agriculture, par exemple). L'intensité et le sens de ces variations climatiques restent cependant très difficiles à préciser dans le détail. Ils sont recherchés selon deux méthodes complémentaires qui sont d'une part la mise en évidence de corrélations chronologiques entre climat et histoire du volcanisme et, d'autre part, la mesure directe des perturbations stratosphériques consécutives à une éruption actuelle. Astronomes, préoccupés par la transparence de l'atmosphère, et physiciens de l'atmosphère à l'Observatoire de Genève participent à cette seconde méthode d'investigation, notamment par un programme d'étude des constituants de la haute atmosphère à l'aide de ballons stratosphériques[1]). La confrontation fortuite de ce programme de l'Observatoire avec l'éruption du Saint-Helens offre l'occasion de présenter ici un aperçu des mécanismes qui lient volcanisme et climat.

Dispersion des cendres volcaniques dans l'atmosphère

La plupart des éruptions volcaniques n'affectent que la troposphère. Cette région de l'atmosphère qui s'étend à partir du sol jusqu'à environ 10 km d'altitude, est caractérisée par un mélange important des masses d'air et par la présence des pluies qui «lavent» rapidement le ciel des cendres volcaniques. Le temps d'existence de ces cendres en suspension dans l'air ne dépasse guère ainsi quelques semaines. Ce type de volcanisme ne provoque que des perturbations météorologiques brèves et locales mais n'a pas d'effets climatiques à plus long terme.

Seules quelques éruptions cataclysmiques comme il ne s'en produit qu'une dizaine par siècle (Krakatoa, 1883, Agung, 1963 ou Saint-Helens, 1980), libèrent une énergie suffisante (supérieure à une bombe de 2 mégatonnes de TNT) pour propulser une partie de leurs rejets à des altitudes supérieures à 10 km, dans la stratosphère. Là, contrairement à ce qui se passe dans la troposphère, les mouvements verticaux des masses d'air sont très lents et le temps de séjour des cendres et gaz volcaniques est suffisamment long pour que ceux-ci soient dispersés tout autour de la Terre.

L'évolution de cette dispersion, dans le cas de l'éruption du

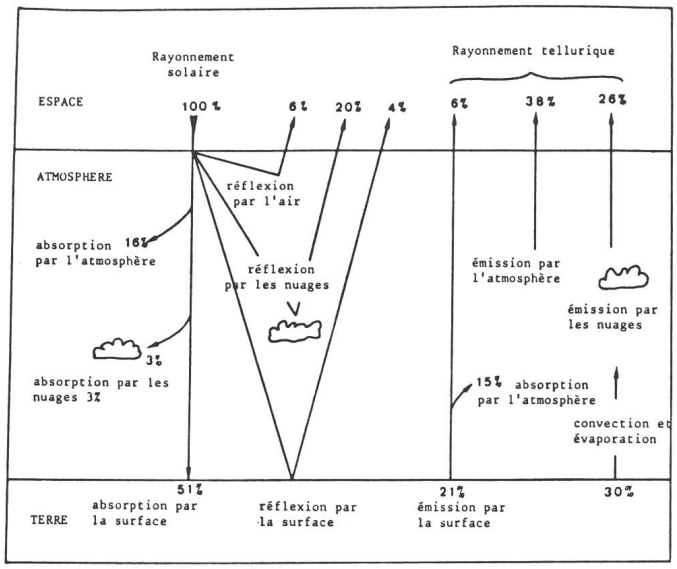

Figure 1: Bilan radiatif moyen de la Terre et de l'atmosphère. Une surcharge de l'aérosol stratosphérique consécutive à une éruption volcanique augmente davantage l'absorption et la réflexion par l'atmosphère que son émission. Il en résulte un échauffement de la couche d'aérosol dans la stratosphère aux dépens de la surface qui se refroidit.

Saint-Helens, a été suivie par différents satellites d'études atmosphériques, notamment SAGE, par des mesures lidar (voir définition plus bas) à partir du sol et à l'aide d'instruments portés par ballon stratosphérique. Le satellite SAGE (Stratospheric Aerosol and Gaz Experiment) mesure l'absorption par les constituants de l'atmosphère du rayonnement du Soleil au moment où celui-ci est proche de l'horizon afin que les parcours optiques dans l'atmosphère soient les plus longs possible, et donc l'absorption maximum. Du fait de la rotation rapide de ce satellite autour de la Terre en 1h30, une trentaine de levers et de couchers de Soleil sont observés pendant chaque période de 24 heures. Le lidar, autre methode d'étude de l'atmosphère, fonctionne à partir du sol selon un principe similaire au radar. Un laser émet un flash lumineux qui peut être rétrodiffusé (réfléchi) par les couches diffusantes de l'atmosphère. La mesure de l'intervalle de temps qui sépare l'émission du flash du retour de son écho permet de déterminer l'altitude d'une couche diffusante, et le rapport de l'énergie émise par le laser à l'énergie reçue en retour donne des indications sur la nature de la couche.

Expulsés jusqu'à des altitudes de 20 à 25 km, les rejets du Saint-Helens ont été entraînés par un système complexe de

vents dont la direction et la vitesse variaient avec l'altitude. Entre 8 et 15 km, les cendres se déplaçaient rapidement vers l'est, achevant un tour complet de la Terre en une quinzaine de jours. Dans la zone intermédiaire de 15 à 20 km, la vitesse de la dispersion était plus faible et les trajectoires multiples. Enfin, au-dessus de 20 km, les cendres effectuaient le tour de la Terre en deux mois, dans le sens contraire, d'est en ouest.

Formation d'une couche d'aérosol

Les rejets volcaniques qui se composent de poussières, de cendres et de gaz acides, notamment du gaz sulfureux (SO_2) viennent enrichir d'un facteur 100 et plus une couche de particules microscopiques (aérosols) déjà présente dans la stratosphère avant l'éruption. Bien que la structure de cette couche soit souvent complexe et changeante, elle peut généralement se caractériser par un maximum de densité de particules vers 20 km d'altitude. Les causes de son existence, même en l'absence d'activité volcanique importante, sont multiples et restent encore mal définies. Pratiquement, les particules qui la composent sont répertoriées, d'après leur origine, en trois catégories. On admet que les plus grosses, de dimension supérieure à 1 µm (1 µm = 10^{-6}m), qui ne représentent que quelques pour cent de l'ensemble des particules, proviennent de la volatilisation des météorites à leur entrée dans l'atmosphère tandis que les plus petites de dimension inférieure à 0,1 µm sont des noyaux de condensation troposphériques entraînés vers la stratosphère par le mouvement des masses d'air. Les particules de taille intermédiaire (1–0,1 µm) seraient formées dans la couche même. Elles sont constituées de soufre soit sous la forme de sulfates, en particulier du sulfate d'ammonium ($[NH_4]\ SO_4$), soit sous la forme d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique (H_2SO_4). Sulfates et acide résulteraient de l'oxydation d'un gaz d'origine naturelle ou anthropogénique ayant diffusé du sol vers la stratosphère et contenant du soufre (OCS, CS_2).

Du fait de leur poids, les grosses particules (particules météoritiques ou cendres volcaniques) tombent assez rapidement dans la troposphère tandis que les plus petites n'ont pas d'effet optique. Ce sont donc les particules intermédiaires dont la dimension effective est de l'ordre de 0,3 µm qui altèrent durablement la transparence de l'atmosphère aux rayons du Soleil. On conçoit alors que la gravité d'une perturbation du bilan radiatif, consécutive à une éruption volcanique, dépende du volume de sulfates et de gaz sulfureux injecté dans la stratosphère par le volcan. La conversion du gaz en particules d'aérosol débute dans le panache du volcan et s'achèverait dans la stratosphère quelques semaines plus tard. Ceci est illustré par le fait que le satellite SAGE ait détecté en août 1980 une densité d'aérosol quatre fois supérieure à celle de la fin du mois de mai. Parallèlement, les mesures lidar corroborent l'évolution d'un aérosol de particules relativement grandes, comme les cendres, vers un aérosol de fines particules liquides, dans un laps de temps d'un mois après l'éruption du Saint-Helens.

Perturbation du bilan radiatif

La quasi-totalité (99%) de l'énergie reçue du Soleil aux confins de l'atmosphère terrestre est contenue dans le domaine de longueurs d'onde 0,1 µm – 3,8 µm et présente un maximum pour une longueur d'onde voisine de 0,47 µm qui est visible par notre oeil. Environ un tiers de cette énergie est réfléchie vers l'espace par le sol, les constituants de l'atmosphère et surtout par les nuages. Le reste est absorbé par l'atmosphère et le sol qui s'échauffent, et émettent en retour un rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde (rayonnement tellurique 3,6 µm – 100 µm). L'énergie émise et réfléchie par la Terre et son atmosphère devrait compenser exactement l'énergie reçue du Soleil pour que la température moyenne de la planète demeure constante. En réalité, ce bilan global varie dans l'espace et dans le temps, et ces variations constituent le moteur de la circulation atmosphérique et océanique.

Une surcharge de l'aérosol stratosphérique à la suite d'une éruption volcanique intervient dans ce transfert de rayonnement d'une part, en réfléchissant vers l'espace, en difussant et en absorbant une partie du rayonnement solaire qui normalement atteint le sol et, d'autre part, en absorbant une quantité de rayonnement tellurique plus importante que ce que l'aérosol émet lui-même. Il en résulte un échauffement de la stratosphère aux dépens de la troposphère qui, recevant moins d'énergie, se refroidit, L'ampleur de ces variations de température dépend d'abord des propriétés optiques de l'aérosol qui sont toujours difficiles à définir vu l'extrême diversité de la taille et de la composition chimique des particules. De plus, ces propriétés se modifient au cours du temps car les cendres initiales riches en silice absorbent davantage que les gouttelettes d'acide sulfurique qui, elles, ont un pouvoir de réflexion élevé. Enfin, toute variation de la température de l'atmosphère engendre une cascade de phénomènes annexes. Un accroissement de la surface neigeuse et glaciaire consécutif à une diminution de température pourra accélérer le refroidissement en réfléchissant un peu plus de rayonnement vers l'espace alors qu'une diminution de la couverture nuageuse aura l'effet contraire...

La dernière éruption à avoir eu un effet global sur le climat est celle de l'Agung en 1963. Elle abaissait la transparence atmosphérique de 5% et la température moyenne au sol d'environ 0,3°C pendant 1 à 2 ans. Le retour de la transparence au niveau antérieur, à mesure de la décroissance de la densité de

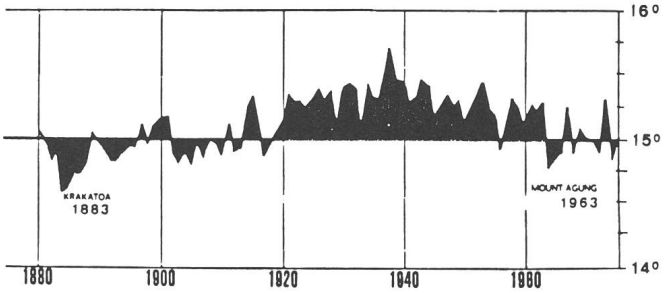

Figure 2: Exemple de courbe de température moyenne pour l'hémisphère nord. On remarque le refroidissement provoqué par les éruptions du Krakatoa et du Mont Agung.

l'aérosol, s'échelonnait sur huit années. Les experts réunis à Washington D.C. (USA) en novembre 1980 (Symposium sur l'éruption du Saint-Helens) ont estimé que l'impact climatique du Saint-Helens sera moins marqué que celui de l'Agung et que la variation de la température moyenne au sol ne dépasserait pas quelques centièmes de degré. La quantité de matériaux injectée dans la stratosphère en mai 1980 ne représentait, en effet, que quelques dixièmes de millions de tonnes contre 10 à 30 millions de tonnes pour l'Agung et, surtout, leur faible teneur en sulfates, comparée aux grandes éruptions précédentes, devrait limiter les effets à long terme.

Les variations de température induites par une éruption volcanique sont faibles par rapport à la baisse de la température moyenne de 6°C nécessaire pour faire débuter une gla-

ciation. Elles restent néanmoins comparables aux oscillations engendrées par d'autres phénomènes tels que la variation cyclique du rayonnement émis par le Soleil[2]) ou les modifications de l'abondance de CO_2 et d'ozone dans l'atmosphère... L'influence du volcanisme doit donc être prise en compte dans un modèle global du climat d'autant plus qu'elle est brutale et que ses effets pourraient se cumuler lors de périodes d'activité volcanique plus intense qu'aujourd'hui. Cette prise en compte implique une connaissance précise des propriétés optiques de l'aérosol stratosphérique, ce qui nécessite des mesures telles qu'elles sont effectuées, entre autres, par l'Observatoire de Genève à l'aide d'instruments automatiques embarqués dans une nacelle stratosphérique.

En résumé, l'éruption du Saint-Helens marque une étape importante de la climatologie en permettant d'étalonner l'impact du volcanisme sur le climat tout en précisant le rôle du cycle du soufre dans l'atmosphère. Or ce corps chimique est fréquemment présent dans les activités humaines, en particulier sous la forme de sulfure de carbonyle (COS). Bien que de nombreuses sources de ce composé soufré aient été identifiées, la plus importante est due au traitement et à l'utilisation de combustibles fossiles. Sa durée de vie dans l'atmosphère est supérieure à une année, ce qui lui permet de s'accumuler et de diffuser vers la stratosphère où il serait une source de sulfates pour l'aérosol stratosphérique. Il n'est donc pas exclu que son émission en grande quantité dans l'atmosphère par certaines fumées industrielles et autres pollutions ait des effets climatiques à long terme.

Adresse de l'auteur:
Jean-Pierre Naudet, Observatoire de Genève, CH 1290 Sauverny.

Bibliographie:
1) J.-P. Naudet: L'analyse des composants de la haute atmosphère. ORION No. 170.
2) M. Grenon: L'activité solaire et les atmosphères planétaires. ORION No. 180.

Am 18. Mai 1980 zerstörte der Ausbruch des Vulkans Saint-Helens alles in einem Umkreis von 20–25 km und schleuderte mehrere Millionen Tonnen Asche und Staub in die Atmosphäre. Während ein grosser Teil der Asche wieder auf die Erde zurückfiel, zerstreute sich diejenige, die höher als 10 km geschleudert wurde, rasch um den Erdball.

Man weiss seit einigen Jahren, dass bei grösseren Vulkanausbrüchen ein Teil der Asche und des Gases sich in der Stratosphäre ansammelt und einen Teil des Sonnenlichtes hindert bis auf den Erdboden vorzudringen, was eine Änderung des Klimas hervorrufen kann. Da die Durchsichtigkeit der Atmosphäre für die Astronomie von grosser Bedeutung ist, befassen sich mehrere Astronomen der Sternwarte Genf mit Untersuchungen der oberen Atmosphäre.

Die meisten Vulkanausbrüche berühren nur die Troposphäre und die Asche wird durch den Regen rasch aufgelöst. Nur einige grössere Ausbrüche wie diejenigen des Krakatoa (1883), des Agung (1963) und des Saint-Helens (1980) hatten genügend Energie (mehr als eine Bombe von 2 Megatonnen TNT), um einen Teil ihres Auswurfes auf über 10 km Höhe zu schleudern. Im Gegensatz zu der Troposphäre sind hier die vertikalen Bewegungen der Luftmassen sehr langsam und die Asche und die vulkanischen Gase bleiben lange genug oben, um rund um die ganze Erde zerstreut zu werden.

Beim Ausbruch des Saint-Helens wurde dieser Ablauf durch verschiedene Methoden studiert: mittels des Satelliten SAGE (Stratospheric Aerosol and Gaz Experiment), durch Messungen vom Boden aus und mittels Stratosphärenballonen. Bis auf eine Höhe von 20–25 km hinaufgeschleudert, wurden die Auswürfe des Saint-Helens durch ein komplexes System von Luftströmungen, deren Richtung und Stärke mit der Höhe ändern, davongetragen. Zwischen 8 und 15 km Höhe wurde die Asche rasch nach Osten getragen und umrundete die Erde in ungefähr zwei Wochen. In der mittleren Zone (15–20 km) war die Ausbreitungsgeschwindigkeit kleiner und die Strömungen waren zahlreicher. Über 20 km brauchte die Asche zwei Monate zur Erdumrundung und dies von Ost nach West.

Die Auswürfe der Vulkane, die aus Staub, Asche und Schwefelgas bestehen, bereichern eine Schicht mikroskopischer Teilchen (Aerosole), die sich schon vorher in der Stratosphäre befanden. Obgleich diese Schicht komplex und veränderlich ist, kann doch ein Maximum bei 20 km Höhe festgestellt werden. Der Ursprung dieser Schicht, auch bei Abwesenheit von vulkanischen Ausbrüchen, ist vielseitig und noch wenig geklärt.

Die grössten Teilchen (Meteoritenstaub oder Asche vulkanischen Ursprungs) fallen ihres Gewichtes wegen ziemlich rasch in die Tropopause, während die kleinsten Teilchen keine optische Wirkung haben. Es sind daher die Teilchen mittlerer Grösse, die einen länger dauernden Einfluss auf die Durchsichtigkeit der Luft und somit auf die Sonneneinstrahlung haben. Die Masse der durch den Vulkanausbruch in die Stratosphäre geschleuderten Schwefelgase bedingt daher die Grösse des klimatischen Einflusses. Die Umwandlung der Gase in Aerosolteilchen fängt bereits in der Rauchfahne des Vulkans an und endet einige Wochen später in der Stratosphäre. So hat der Satellit SAGE im August viermal mehr Aerosol festgestellt als im Mai vorher.

Bei der Verdichtung der Aerosolschicht wird ein Teil des Sonnenlichtes abgestrahlt und absorbiert. Es entsteht daher eine Erwärmung der Stratosphäre auf Kosten der Troposphäre. Beim Ausbruch des Agung im Jahre 1963 hat die Durchsichtigkeit der Atmosphäre um 5% abgenommen und die mittlere Temperatur am Boden ist während 1 bis 2 Jahren um ca. 0,3°C gesunken. Es brauchte 8 Jahre, bis die Durchsichtigkeit der Luft wieder ihren früheren Wert erreicht hatte. Es wird erwartet, dass der Ausbruch des Saint-Helens nur einen geringen klimatischen Einfluss haben wird, da der Auswurf viel kleiner war als beim Agung. Die mittlere Bodentemperatur dürfte kaum mehr als einige Hundertstel von einem Grad schwanken.

Die durch einen Vulkanausbruch bedingten Temperaturschwankungen sind schwach, wenn man bedenkt, dass zur Auslösung einer Eiszeit eine solche von 6°C nötig ist. Aber sie müssen trotzdem beachtet werden, da sie plötzlich auftreten und sich in Zeiten vermehrter vulkanischer Tätigkeit kumulieren können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Ausbruch des Saint-Helens eine wichtige Etappe der Klimatologie darstellt, da er gestattete, den Einfluss eines solchen Ausbruches auf das Klima genau zu studieren und auch die Rolle der Schwefelgase in der Atmosphäre näher zu beleuchten. Die Bildung solche Gase wird bei vielen menschlichen Tätigkeiten ausgelöst, besonders bei der Verarbeitung und Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass dieser Faktor auf längere Sicht einen Einfluss auf unser Klima haben wird. Kurzfassung W. Maeder