

Aérosols – un point d’interrogation à propos de l’avenir du climat

Les aérosols – innombrables particules en suspension dans l’air, invisibles en raison de leur taille infime – ne sont pas seulement problématiques du point de vue de la santé, mais représentent actuellement le plus important facteur d’incertitude dans le débat sur l’évolution future du climat. L’action directe des aérosols sur le bilan thermique de la Terre dépend de la taille et de la composition chimique des particules d’aérosols. La plus grande partie des aérosols renvoie le rayonnement solaire dans l’espace et a donc un effet de refroidissement. Les aérosols influent en outre sur la formation des nuages et donc aussi indirectement sur la température à la surface de la Terre. Dans le bilan net, cet effet indirect a probablement aussi pour conséquence un refroidissement dont l’ampleur est toutefois très difficile à estimer. L’accroissement de la concentration des aérosols dû à des activités humaines et son effet réfrigérant peut compenser en partie l’action de l’effet de serre provoqué par l’être humain. Toutefois, les aérosols, à la différence des gaz à effet de serre, ne s’accumulent pas sur de longues durées dans l’air; or, les conséquences de l’effet de serre additionnel ne sont pas indéfiniment retardées. Les concentrations d’aérosols fluctuent très fortement dans le temps et l’espace. C’est pourquoi leur effet de refroidissement est très hétérogène et difficile à mesurer ou à prévoir à l’échelle locale ou régionale. Cet effet est en général le plus fort au voisinage des sources d’aérosols, telles que les grandes régions industrielles.

Elles sont petites et invisibles, constituées des substances les plus diverses, ont des formes variées, peuvent entraver la respiration et refroidissent la surface de la Terre – tels sont en bref les qualités de ces aérosols. Dans la presse ils apparaissent au chapitre des polluants atmosphériques sous le nom de PM10. On entend par là toutes les particules en suspension dans l’air (voir encadré) qui ont un diamètre inférieur à 10 micromètres (millièmes de millimètre), la plupart se situent entre 0.01 et 1 micromètre. A part les médecins, qui ont décelé ces dernières années plusieurs effets sur le système cardiovasculaire humain et les voies respiratoires, les climatologues s’occupent aussi intensément de ces petites particules. Leur effet sur la for-

mation des nuages constitue pour eux depuis longtemps un véritable casse-tête.

Les aérosols reflètent le rayonnement solaire

Les aérosols agissent principalement dans le domaine du rayonnement solaire de courte longueur d’onde. Les particules renvoient dans l’espace une partie du rayonnement solaire incident et diminuent ainsi la part de rayonnement qui pénètre dans les basses couches de l’atmosphère et atteint la surface terrestre. Il s’ensuit un refroidissement de la surface terrestre. L’ampleur de ce refroidissement ne dépend pas seulement du nombre et de la taille des particules, mais aussi de leur contenu chimique ainsi que de sa distribution, à savoir si différentes substances chimiques sont contenues dans la même particule ou réparties sur plusieurs. L’effet des aérosols sur la température diffère fortement selon la région, étant donné que tant leur composition que leur concentration diffèrent d’une région à l’autre.

Les particules de suie remplissent un rôle particulier. Elles ne reflètent que faiblement le rayonnement solaire, mais en absorbent une partie en raison de leur couleur foncée. Cela conduit également à une diminution du rayonnement à la surface de la Terre, tandis que la température augmente dans la couche de l’atmosphère où l’absorption a lieu.

Les aérosols rendent les nuages plus blancs

Les nuages ont une grande influence sur la température à la surface de la Terre et représentent, à côté des aérosols, le plus important facteur d’incertitude dans l’évolution du climat. Selon leur apparence, les nuages ont un effet de refroidissement ou de réchauffement: les nuages élevés et minces (p.ex. les cirrus) exercent un effet de réchauffement semblable aux gaz à effet de serre, car ils laissent passer en grande partie le rayonnement solaire de courte longueur d’onde, mais absorbent le rayonnement thermique de la Terre. Par contre, les nuages épais (p.ex. les cumulus) réfléchissent une grande partie du rayonnement solaire et conduisent ainsi au refroidissement de la surface

Aérosols

Sortes

On distingue quatre catégories principales d'aérosols:

- sulfates (sels de l'acide sulfurique) et nitrates (sels de l'acide nitrique)
- aérosols carbonés (suie et composés organiques du carbone)
- poussière minérale
- sel

Les sulfates, les nitrates et les aérosols carbonés proviennent en majeure partie de sources humaines et sont en général de petite taille (inférieure à un millième de millimètre). La poussière et le sel marin sont en majorité d'origine naturelle et constitués de particules comparativement plus grossières.

Parmi les particules d'aérosols examinées en détail, nombreuses sont celles qui ont un noyau de suie responsable de l'absorption du rayonnement solaire et terrestre, alors que les autres composants ne font le plus souvent "que" diffuser le rayonnement.

Sources

Les *particules de poussière* d'origine naturelle sont avant tout dispersées par le vent et emportées dans l'atmosphère, principalement dans les régions sèches telles que les déserts ou leurs zones marginales sèches. Mais la poussière est émise aussi par des activités humaines, en particulier le défrichage par le feu dans les régions tropicales et les processus industriels tels que la combustion du charbon, la fabrication du ciment, la métallurgie et l'incinération des déchets.

Lors de la combustion de supports énergétiques fossiles (p.ex. mazout, charbon, essence) et de biomasse (bois, tourbe, déchets organiques), des *aérosols carbonés* faisant partie de la fumée sont également rejetés dans l'atmosphère.

Des *aérosols sulfatés* sont produits par des réactions chimiques dans l'air et sont formés principalement par l'oxydation du SO₂ issu de la combustion de matières fossiles et/ou d'éruptions volcaniques. Des aérosols sulfatés sont produits au-dessus des océans par l'émission de sulfure de diméthyl (DMS) par le phytoplancton et l'oxydation chimique dans l'atmosphère qui s'ensuit.

Des *aérosols nitrates* sont formés au cours de réactions chimiques des oxydes d'azote (sous-produits de processus de combustion).

Les *aérosols de sels marins* sont formés par divers processus physiques (p.ex. la production d'embruns) déclenchés par le mouvement des vagues des océans.

terrestre. Les aérosols jouent un rôle important dans la formation des nuages, parce que toute gouttelette de nuage se forme autour d'une particule d'aérosol qui en constitue le noyau. Si la quantité d'aérosol augmente, il y a davantage de noyaux et il se forme des gouttelettes en plus grand nombre, mais aussi plus petites. C'est ce qu'ont montré aussi bien des mesures directes au-dessus de l'Océan indien que des mesures par satellite. L'augmentation du nombre de gouttelettes fait apparaître le nuage plus blanc, augmente donc la réflexion et la diffusion du rayonnement solaire et a donc un effet de refroidissement. L'ampleur de cet effet dépend de la composition chimique de l'aérosol et de la distribution de taille des particules. Ici aussi, les particules de suie jouent un rôle particulier à concentration élevée, parce qu'elles réchauffent les nuages et les empêchent de se transformer en pluie.

Les aérosols peuvent empêcher la pluie

Pour tomber sur la Terre, les gouttes de pluie doivent atteindre une certaine taille. C'est pourquoi la répartition

de l'eau des nuages sur des gouttelettes plus nombreuses mais plus petites affaiblit la pluie. Cet effet a été décelé en Asie subtropicale à partir de données de satellites: on a trouvé autant de nuages à l'intérieur et à l'extérieur de masses d'air polluées, et ils avaient une teneur en eau comparable, mais on n'a observé de la pluie qu'à l'extérieur de l'air pollué. Puisqu'ils tardent à se transformer en pluie dans l'air pollué, ces nuages ont une durée de vie plus longue, ce qui pourrait provoquer un certain refroidissement à la surface de la Terre.

Les aérosols entrent en jeu à différents niveaux

A part leur action sur les nuages, les aérosols provoquent encore d'autres effets de rétroaction: un changement de température modifie l'humidité de l'air, ce qui à son tour influe sur les processus chimiques dans l'air et donc sur la composition des aérosols, ce qui de nouveau peut modifier la température.

L'absorption et la réflexion du rayonnement par les aérosols influent aussi sur la stabilité (stratification de

température) de l'atmosphère. Cela agit sur la force des vents à la surface de la Terre, donc aussi sur la formation de tourbillons de poussière et la production d'aérosols marins salés, ce qui change à son tour la concentration des aérosols. Les particules de suie, du fait qu'elles absorbent la lumière du soleil, exercent une action spécifique, semblable aux gaz à effet de serre. L'ampleur de cette action est toutefois mal connue, surtout en raison du manque de mesures fiables et représentatives.

Aérosols contre effet de serre

La question se pose, en résumé, de savoir si l'effet réfrigérant des aérosols peut annuler les conséquences de l'effet de serre. Un point important à cet égard est que la plupart des aérosols ne restent d'ordinaire que quelques jours à quelques semaines dans l'atmosphère avant d'être éliminés avec la pluie, tandis que les gaz à effet de serre subsistent plusieurs décennies ou siècles. A niveau égal d'émissions, cela signifie que la concentration d'aérosols reste constante, tandis que les gaz à effet de serre, en raison de leur durée de vie beaucoup plus longue, continuent de s'accumuler et voient leur concentration augmenter continuellement. Il est possible que le léger refroidissement global entre 1940 et 1970 soit dû en partie à la forte augmentation des émissions de soufre pendant cette période, ce qui a pu masquer une évolution éventuellement positive de la température.

L'action des aérosols se concentre en outre dans une large mesure dans les grandes régions industrielles où ces émissions ou leurs précurseurs se produisent. Mais selon les conditions météorologiques, des particules d'aérosols sont parfois transportées à des milliers de kilomètres, comme lorsque du sable du Sahara est emporté jusqu'en Europe centrale.

Pour l'heure, l'effet réfrigérant des aérosols est, en moyenne globale, d'un ordre de grandeur comparable à celui de l'effet de serre. Le comité international qui fait autorité en matière de climat – le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) – évalue l'effet radiatif actuel des gaz à effet de serre produits par l'homme à quelque +2.5 W/m² (le signe positif indique qu'il s'agit d'un réchauffement). La meilleure estimation situe l'effet total des aérosols à quelque -1.6 W/m², mais l'incertitude est très grande dans le cas des aérosols (entre -4 et +0.8 W/m²).

Cela signifie que l'effet de serre produit par l'homme est encore atténué actuellement par l'action des aérosols et qu'il ne se fait donc pas ressentir pleinement. Cependant, il faut admettre qu'à émission constante l'effet réfrigérant des aérosols diminuera en importance dans l'avenir vis-à-vis du réchauffement par les gaz à effet de serre. Les aérosols auront certes retardé le réchauffement global, mais ils n'auront pas pu l'empêcher à plus longue vue.

Personnes de contact:

Dr. Michel J. Rossi, institut de Génie de l'Environnement (IGE) – PAS, EPF Lausanne, Ecublens, 1015 Lausanne, tél. 021/693 53 21, fax 021/ 693 36 26, e-mail: michel.rossi@epfl.ch

PD Dr. Urs Baltensperger, Labor für Atmosphärenchemie, Paul-Scherrer-Institut, 5232 Villigen PSI, tél. 056/310 24 08, fax 056/ 310 45 25, e-mail: urs.baltensperger@psi.ch

Prof. Thomas Peter, Institut für Atmosphären- und Klimaforschung ETH Zürich, ETH Hönggerberg HPP, 8093 Zürich, tél. 01/633 27 55, fax 01/633 10 58, e-mail: thomas.peter@atmos.umnw.ethz.ch

Un réchauffement dû à des mesures sanitaires?

Les aérosols, en particulier les particules fines (poussière fine, PM10) et ultrafines (plus petites qu'un micron) produites en grande partie par l'être humain, sont très nocifs pour les voies respiratoires. D'importants efforts ont également été entrepris dans le monde entier pour en réduire les émissions. Aujourd'hui, de nombreuses centrales thermiques sont équipées d'installations de désulfuration et de filtres à suie, et la teneur en soufre du mazout est régulièrement abaissée. En Suisse par exemple, les concentrations de dioxyde de soufre ont baissé à un niveau situé entre un cinquième et un dixième de celui des années 80. Pas seulement dans les pays industrialisés, mais aussi dans des pays en voie d'industrialisation tels que la Chine, les mesures prises en ce sens sont constamment renforcées. La conséquence de ces efforts est une diminution de l'effet réfrigérant des aérosols. Ce développement est l'une des principales raisons pour lesquelles le réchauffement prévu pour le 21^e siècle a dû être corrigé à la hausse dans le rapport scientifique 2001 du GIEC par rapport au précédent datant de 1995.

Page internet

http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/160.htm

Le chapitre du rapport du GIEC 2001 sur les aérosols. Source: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, OMM / PNUE.

Manifestation intéressante

19 septembre 2002, 13:00-18:00 heures (symposium principal)

Science et la montagne magique – Contribution de la recherche alpine à la vision du monde des sciences naturelles
(Congrès annuel de l'Académie suisse des sciences naturelles ASSN)

Lieu: Maison des congrès, Davos

Info: Christian Preiswerk, Secrétariat général de l'ASSN, Bärenplatz 2, 3011 Berne, tél. 031 310 40 20,

e-mail: preiswerk@sanw.unibe.ch

www.sanw-davos02.ch/Hauptprogramm/Hauptsymposium.pdf

Programme du congrès annuel (18-21 sept.): www.sanw-davos02.ch

A l'occasion de l'Année internationale de la montagne, décrétée par l'ONU, le 182e Congrès annuel de l'Académie suisse des sciences naturelles est centré sur la recherche alpine. Cette dernière connaît un regain d'intérêt vu la sensibilité croissante à l'égard des changements du climat global et l'importance de la biodiversité dans les écosystèmes régionaux. A côté de nombreux ateliers (18-20 septembre) et des excursions (21 septembre), le symposium principal sera consacré, le 19 septembre, à la géologie alpine, aux données surprenantes sur le climat tirées des glaciers et des forages dans la glace, à l'importance des catastrophes naturelles pour l'identité nationale de la Suisse, à l'adaptation de l'être humain aux hautes altitudes, et à la vie des plantes dans le froid.

Actuel: les crues en Europe et les changements climatiques

A la suite des crues qui dévastent de grandes parties de l'Europe, la question est souvent posée de savoir si le réchauffement climatique y est pour quelque chose. On peut dire à cet égard de qui suit:

- Si l'on se réfère aux connaissances actuelles sur les processus physiques et aux prévisions des modèles climatiques pour la fin du 21e siècle, il est probable que les précipitations abondantes deviendront plus fréquentes en cas de réchauffement global. (Rapport 2001 du GIEC, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/008.htm#tabspm1)
- Le réchauffement climatique ne déclenche pas d'événements isolés ou extrêmes, mais peut renforcer ces derniers. Il s'ensuit que lors de certaines situations météorologiques fortuites qui amènent de fortes précipitations, la pluie est plus abondante dans un climat plus chaud (en raison de la teneur plus élevée de l'air en eau à plus hautes températures). Il faut donc compter avec des crues plus fréquentes et plus grosses que jusqu'ici.
- Un lien entre les changements climatiques et les événements extrêmes ne peut pas être «prouvé», parce que les événements extrêmes sont si rares qu'on ne peut pas établir de données statistiques sur leurs tendances. Peut-être sera-t-il possible à plus longue échéance de calculer les tendances aux inondations à l'échelle continentale ou globale.
- Le fait qu'il y ait eu des crues similaires déjà par le passé ne dit rien sur l'influence des changements climatiques. Il faut s'attendre à ce que l'intensification prévue du cycle de l'eau conduise à une augmentation de la fréquence des crues. Cependant, ce processus peut être régionalement compensé ou renforcé par d'autres processus (p.ex. El Niño, Oscillation Nord-Atlantique).

En bref:

Les crues récentes ne sont pas une conséquence du réchauffement climatique. Mais il est possible que leur ampleur ait atteint, à cause du réchauffement climatique, des proportions dépassant l'ordinaire. Les crues ne sont ni une preuve ni un démenti du changement climatique, mais elles cadrent bien avec l'image que les climatologues se font de l'évolution du climat sous l'effet du réchauffement au cours du 21e siècle.

Personnes de contact:

Dr. Christoph Frei, Institut für Klimaforschung, ETH Zürich, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich,

tél: 01/635 52 32, fax: 01/362 51 97, e-mail: christoph.frei@geo.umnw.ethz.ch

Prof. Heinz Wanner, Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstr. 12, 3012 Bern,

tél: 031/631 88 85, fax: 031/631 85 11, e-mail: wanner@giub.unibe.ch

