

Les aérosols atmosphériques



Polluants

Fiche détaillée

Niveau ★★☆

(A partir de la 2nd)

Par définition, un aérosol est une particule liquide ou solide en suspension dans un milieu gazeux (atmosphère) ou liquide. Dans les études atmosphériques, l'aérosol est rarement considéré de façon unitaire mais plutôt comme un ensemble, appelé population d'aérosol. Au sein de cette population, les aérosols ont des tailles et des morphologies très variables. De façon théorique, les aérosols sont décrits sous forme de sphères, permettant de ne considérer qu'un seul paramètre pour les décrire: leur diamètre. Les populations d'aérosols atmosphériques sont constituées de particules de très petites tailles (diamètre de quelques nanomètres pour les plus fines) comme de grosses particules (diamètres de plusieurs dizaines de micromètres). Les mécanismes et les processus générant ou amenant les particules à prendre de tels diamètres sont décrits dans la fiche 'Physique des Aérosols'. Entre deux instants successifs où est effectuée une mesure au sein d'une masse d'air contenant ces aérosols, les caractéristiques dimensionnelles, physiques et chimiques de la population auront évolué. Les concentrations en nombre ou en masse de ces populations sont aussi très variables en fonction de l'éloignement à la source. Ainsi près des sources les concentrations en nombre prendront des valeurs importantes, puis au fur et à mesure de l'éloignement à la source, du fait de la dispersion des aérosols et de leur dilution dans l'atmosphère, les concentrations en nombre diminueront. D'un point de vue de la mesure ou des modèles, ces informations concernant une population d'aérosols sont rendues sous forme de courbes appelées distributions granulométriques des aérosols (cf physique des aérosols). Les cartes issues des mesures satellites ou des modèles permettent d'avoir cette vision intégrée spatialement de la répartition des aérosols issus d'une source. Par exemple, comme le montre la figure 1 ci-dessous, on aperçoit que des poussières désertiques mises en suspension au dessus du Sahara, sont transportées vers le nord-est du continent africain jusque sur la mer Méditerranée (on reconnaît la pointe de l'Italie et la Sicile). La couleur plus ou moins brun foncé montre le caractère plus ou moins concentré de la population d'aérosols présente dans l'atmosphère sondée.



Figure 1 : Sortie de poussières désertiques sur l'Ouest de la Méditerranée – visualisation du transport et notion de dispersion des particules au fur et à mesure de l'éloignement à la source (ici le Sahara)

I. Sources

Les aérosols atmosphériques sont issus de **sources naturelles et anthropiques** (liées aux activités humaines).

A échelle globale, les aérosols d'origine naturelle sont émis en quantité plus importante que les aérosols d'origine anthropique (de 3 à 20 fois plus d'aérosols d'origine naturelle que d'aérosols anthropiques par an à échelle globale), dans des gammes de taille plus grandes. Les aérosols émis par les activités humaines, du fait de leur petite taille, auront des temps de résidence plus longs dans l'atmosphère. Ils sont donc plus difficilement évacués de l'atmosphère et leurs interactions microphysiques, chimiques et radiatives seront donc plus durables.

Les sources naturelles sont d'origine marine, terrigène et volcanique. Hormis pour les éruptions volcaniques, les aérosols sont mis en suspension dans l'atmosphère grâce à des processus mécaniques (érosion éolienne, déferlement des vagues, bubbling, etc ... voir fiche physique de l'atmosphère). Ces particules se retrouvent dans des gammes de taille dites grossières, signifiant que leur diamètre est supérieur à 2.5 micromètres. La mise en suspension dans l'atmosphère de ces particules composant la surface dépend de l'intensité du vent qui balaye la dite surface.

Par exemple, pour les particules terrigènes de type 'grain de sable' il faut savoir qu'un vent de 18 km/h suffit à déplacer et soulever un grain de sable sur un mètre de longueur environ. Le grain de sable en retombant au sol projette d'autres grains de sable. C'est le phénomène de saltation, présent sur une couche de quelques centimètres au dessus du sol et qui permet l'avancée des dunes. La mise en suspension dans l'atmosphère se fait avec des vents un peu plus fort. Un vent de 50 km/h environ permet de soulever les grains de sables sur une hauteur de deux mètres en très grosse quantité. Ainsi au dessus du désert lorsqu'une masse d'air se déplace à environ 100 km/h elle est susceptible de mettre en suspension des grains de sable sur une hauteur de 1000 mètres. Le phénomène peut être encore amplifié, si cette masse d'air chaud rencontre un front froid. L'air froid étant plus dense reste en surface et l'air chaud chargé de sable s'élève au dessus de la masse d'air froid. Ainsi les grains de sable peuvent atteindre des altitudes autour de 5 kilomètres. Si des phénomènes convectifs intenses (type convection de mousson) viennent se rajouter, les particules terrigènes peuvent atteindre 10 kilomètres d'altitude. Les photos ci-dessous illustrent ces propos (figure 1).



Figure 1 : Tempêtes de sable saharien – phénomènes de différentes intensités, soulevant des quantités variables de sable à des hauteurs différentes.

Ces particules mises en suspension ont des compositions chimiques variables dépendantes de la composition du sol dont elles sont originaires. Elles portent la signature chimique de leur origine. Il en est de même pour les particules marines et pour les particules volcaniques.

Par exemple, deux types d'aérosols sont directement émis par les volcans lors d'éruptions : les aérosols silicatés (appelés aussi cendres volcaniques) et les aérosols sulfatés. Les aérosols silicatés sont issus de la roche en fusion pulvérisée et contiennent en grande proportion des éléments métalliques en trace (ETM – cf fiche métaux lourds aérosols). Les aérosols sulfatés quant à eux sont le résultat de la transformation des gaz volcaniques soufrés au contact de la vapeur d'eau qui refroidit et condense, formant ainsi des gouttelettes acides.



Figure 2 : Eruptions volcaniques – mise en évidence des aérosols de type 'cendres volcaniques' pouvant atteindre des hauteurs d'environ 8 à 10 kilomètres, en fonction de la puissance de l'éruption volcanique

Pour les particules d'origine marine, les concentrations en sodium (Na) et Chlore (Cl) varient en fonction de la salinité de la surface océanique d'origine. L'aérosol contient aussi des composés soufrés et des acides formiques ou acétiques retraduisant la plus ou moins grande activité planctonique de la zone océanique source de ces aérosols. En effet les phytoplanctons sont en fonction de leur activité fortement émetteurs de Di Méthyl Sulfite (DMS) qui est un composé réactif dans l'atmosphère, et d'hydrocarbures non méthaniques produits par photolyse du carbone dissous dans l'océan. Ces différents composés s'oxydent dès leur émission au contact de l'atmosphère et se retrouvent au sein de l'aérosol marin sous forme de composés soufrés ou d'acides sus-cités.



Figure 3 : Prolifération de phytoplancton au large du Finistère breton, mettant en évidence une hyper activité phytoplanctonique susceptible d'émettre de nombreux composés soufrés au sein de l'aérosol marin – Imagerie MODIS

Parmi les sources naturelles d'aérosols, il existe aussi une source plus saisonnière : les pollens. Ils sont une source biogénique d'aérosols dépendant de l'activité de floraison des plantes. Ces aérosols naturels ont un impact en terme de santé humaine essentiellement.

Les sources anthropiques regroupent majoritairement les émissions d'aérosols au travers des processus de combustion (combustion de combustibles fossiles de type pétrole, gaz naturel, charbon ainsi que combustion de biomasse). Il existe aussi des sources d'aérosols anthropiques mis en suspension dans l'atmosphère sous l'action du vent (stériles d'extractions minières, carrières, cimenteries, usure des pneus et plaquettes de frein, etc ...).

Les aérosols issus des combustions, quelque soit le combustible, sont des aérosols dits fins, dont le diamètre est inférieur au micron. Ces particules sont facilement mises en suspension du fait des turbulences dynamiques efficaces des processus les générant ; en effet les aérosols de combustion sont émis au sein d'un volume de gaz chauds, moins dense que l'air environnant permettant une élévation dans l'atmosphère. Les combustions de combustibles fossiles sont localisées en zone urbanisées et industrielles. Ainsi l'hémisphère Nord est plus émetteur que l'hémisphère sud d'aérosols de combustion. A l'échelle d'une ville, il est possible de percevoir visuellement que l'atmosphère se charge en aérosols issus des processus de combustion. La figure 4 illustre ces propos.



Figure 4 : Photo montrant une atmosphère chargée en aérosols de combustion de combustibles fossiles, émis par le transport – La visibilité diminue.

Les combustions de biomasse peuvent être de nature accidentelle (foudre) mais sont surtout coutumières sur certains continents. Ainsi en Amérique du Sud et sur le continent africain, les feux de végétation permettent de nettoyer des parcelles agricoles et apportent de l'engrais à ces dernières. Certains feux non maîtrisés dévastent parfois des milliers d'hectares. L'usage de la végétation se fait aussi pour les feux domestiques. La carte ci-dessous (figure 5) présente l'occurrence des feux de végétation sur le continent africain tout au long de l'année. On réalise alors combien toute l'année sur ce continent les feux de végétation sont une source active d'aérosols.

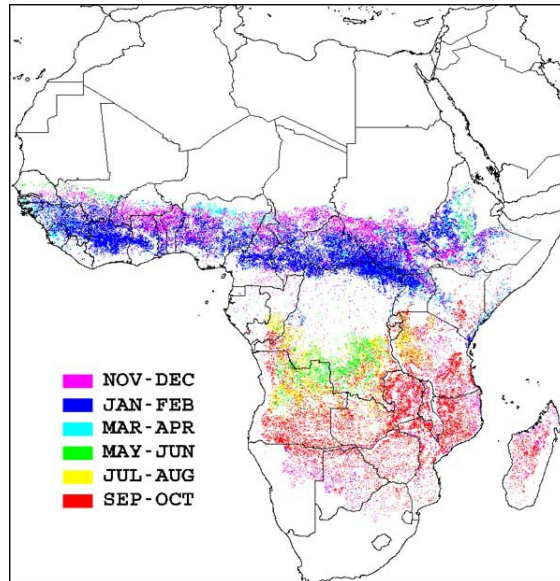


Figure 5 : carte d'occurrence des feux de végétation sur le continent africain

Les aérosols de combustion de biomasse ont des compositions chimiques variables en fonction du type de feu. Le feu peut être un feu vif avec flammes (flaming) retraduisant des processus de combustion complète ; les aérosols sont alors porteurs d'une grande proportion de carbone suie (BC) et d'une moindre proportion de carbone organique primaire (cf fiche chimie des aérosols). Il peut être aussi de type feu couvé, sans flammes (smoldering), retraduisant des processus de combustion incomplète ; les aérosols sont alors porteurs d'une quantité de carbone suie et d'une grande proportion de carbone organique primaire.

De façon générale, les aérosols issus des processus de combustion sont couramment appelés aérosols carbonés. Ce nom révèle la forte proportion de carbone suie et de carbones organiques primaire et secondaire que l'on retrouve dans leur composition chimique. Ils contiennent aussi des sulfates, des nitrates, du potassium et toute sorte d'éléments métalliques en trace, signatures du combustible utilisé.

Les aérosols émis directement par la source sont qualifiés de primaire, et les aérosols issus des processus de conversion gaz-particule sont qualifiés de secondaires. Les aérosols carbonés primaires deviennent de type secondaires au fur et à mesure du temps passé en suspension dans l'atmosphère. En effet, les composés organiques volatils gazeux émis au cours des combustions ou par la végétation condensent dans l'atmosphère en refroidissant et viennent former un film de composés organiques secondaires sur l'aérosol carboné primaire existant (cf fiche physique des aérosols).

Ainsi tout aérosol mis en suspension dans l'atmosphère voit ses propriétés physiques et chimiques évoluer au cours de son transport.

II. Transport

Au cours du transport, les aérosols voient leur composition chimique évoluer au travers de réactions chimiques homogènes et hétérogènes; on parle alors de vieillissement chimique de

l'aérosol. De même les propriétés microphysiques de l'aérosol évoluent au travers de processus thermodynamiques. La texture et la morphologie de l'aérosol évoluent donc aussi.

Comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, les hauteurs d'injections des aérosols dans l'atmosphère sont variables et dépendantes de l'intensité du phénomène qui les génère. Plus les hauteurs d'injection sont importantes plus l'aérosol est susceptible d'être transporté sur de très longues distances. Les aérosols de petite taille auront plus de mal à être évacués de l'atmosphère sous l'effet des forces de gravité. Ils vont donc voyager au gré des vents sur de longues distances.

Par exemple, les aérosols terrigènes de type poussières sahariennes traversent l'océan atlantique et ont une influence sur les écosystèmes du golfe du Mexique.

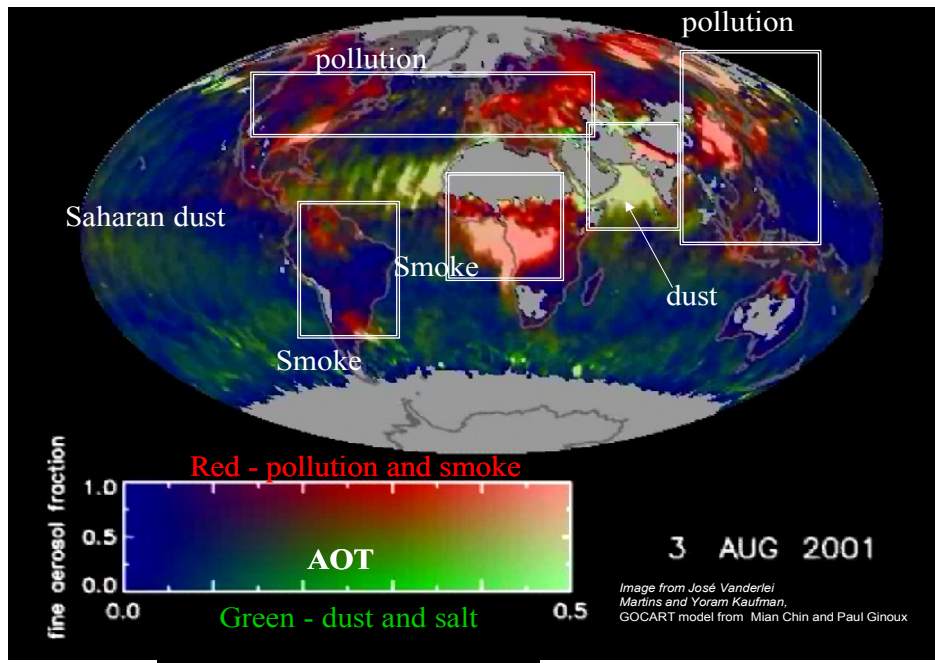


Figure 6 : carte d'épaisseur optique extraite des données satellites MODIS, fournissant une information sur la teneur plus ou moins importante en aérosols dans la colonne atmosphérique (couleurs plus ou moins vives), une information sur le type d'aérosol (aérosol de grande taille d'origine naturelle en vert ; aérosol de petite taille issu des combustions en rouge) ainsi qu'une indication sur le transport de ces différents aérosols à échelle de la planète.

La figure 6 ci-dessus illustre ces notions de transport à grande échelle. En effet, il est possible de prendre conscience du transport des aérosols de pollution issus des processus de combustion dans l'hémisphère Nord en sortie orientale du continent asiatique. De même, on peut apprécier le transport des aérosols de combustion de biomasse sur les continents africains et sud américains dans leur zone sud (le mois d'août étant une période de saison des pluies pour le nord de ces continents). Le transport de poussières désertiques peut aussi être apprécié au dessus de l'océan Atlantique jusque dans le golfe du Mexique (source désert du Sahara) ainsi qu'au dessus de l'océan indien (source désert de Gobi). Au cours de ces longs transports, les interactions chimiques, microphysiques et radiatives sont alors multiples, générant des effets durables dans le temps (cf fiche propriétés optiques des aérosols).

III. Puits

Les aérosols sont évacués de l'atmosphère par dépôts secs et dépôts humides.

En fonction de la taille de l'aérosol, le phénomène de dépôt sec se traduit par différents processus. Pour les aérosols de petite taille (diamètre de quelques dizaines de nanomètres) le dépôt sec se fait par diffusion (cf fiche physique des aérosols). Pour les aérosols de diamètre supérieur à 1 micromètre le dépôt sec se fait par sédimentation, c'est-à-dire que les aérosols subissent les forces de gravité.

Le dépôt humide des aérosols traduit l'évacuation des aérosols de l'atmosphère sous forme de précipitations. Ces précipitations intègrent les aérosols présents dans l'atmosphère de différentes manières. Au travers des processus de lessivage sous nuage, par exemple, c'est-à-dire lorsque une masse d'air chargée en aérosols se trouve sous un nuage qui précipite. Par impaction avec les gouttelettes les aérosols sont entraînés dans la chute.

Les aérosols évoluant chimiquement au cours de leur transport, ils sont susceptibles d'acquérir un caractère hydrophile leur permettant de s'entourer de films de vapeur d'eau condensant à sa surface et de devenir ainsi des noyaux de condensation nuageuse. Les aérosols sont donc intégrés au sein du nuage. On dit qu'ils se sont activés. Certains d'entre eux restent au sein du nuage dans un état non activé ; on les appelle les aérosols interstitiels. Les aérosols activés sont susceptibles de précipiter lorsque leur taille grandissant au fur et à mesure des phénomènes de condensation dépasse une taille critique qui ne permet plus son maintien au sein du nuage. Les aérosols interstitiels peuvent quant à eux être entraînés dans la chute de gouttelettes de nuage, au sein du nuage.

Les aérosols sulfatés ou contenant des nitrates ou de l'ammonium ou des composés organiques secondaires ont un caractère très hydrophile. Ces espèces chimiques hydrosolubles participent donc à la chimie des précipitations. On comprend alors que certaines pluies revêtent un caractère acide du fait de la très forte concentration de sulfates, de nitrates ou de chlore au sein de certains aérosols. Il n'est pas rare non plus de retrouver un dépôt de poussière ocre sur les surfaces (voitures, vitres, etc.) après certains événements de pluie transportant des poussières désertiques.

En terme d'efficacité, les dépôts secs et dépôts humides permettent d'évacuer les aérosols de l'atmosphère dans des proportions identiques à échelle de la planète. Les dépôts seront plus ou moins concentrés en tel ou tel type d'aérosols en fonction souvent de l'éloignement à la source qui les a générés.

IV. Rôle multiple des aérosols dans l'environnement

Au cours de leur transport, depuis la zone source jusqu'à la zone de dépôt, les aérosols ont des interactions multiples avec leur environnement sur des échelles de temps plus ou moins durable :

- comme les constituants mineurs gazeux, les aérosols sont des vecteurs d'éléments chimiques entre les sphères de l'environnement. Ils constituent notamment un terme important de la composition chimique des précipitations (voir fiche chimie de aérosols)

- Ils participent directement au bilan radiatif de la Terre par leur capacité d'absorption et de diffusion de toutes les composantes (IR, visible ou UV) des rayonnements telluriques et solaires

- Ils constituent des noyaux de condensation nuageuse et des noyaux glacogènes qui initient la formation des gouttelettes d'eau nuageuses et des cristaux de glace. Ils participent donc aussi au bilan radiatif à travers leur action sur les nuages (effet indirect). Il faut noter que l'interaction aérosols-nuages est importante car une grande partie des nuages ne précipitent pas. Ils se ré évaporent, restituant à l'atmosphère des aérosols dont la composition chimique est modifiée après passage par la phase liquide. (voir fiches propriétés optiques des aérosols)

- A forte concentration, les aérosols (notamment secondaires, nano particules) peuvent être des polluants toxiques dommageables pour la santé humaine (voir fiche pollution et santé)