

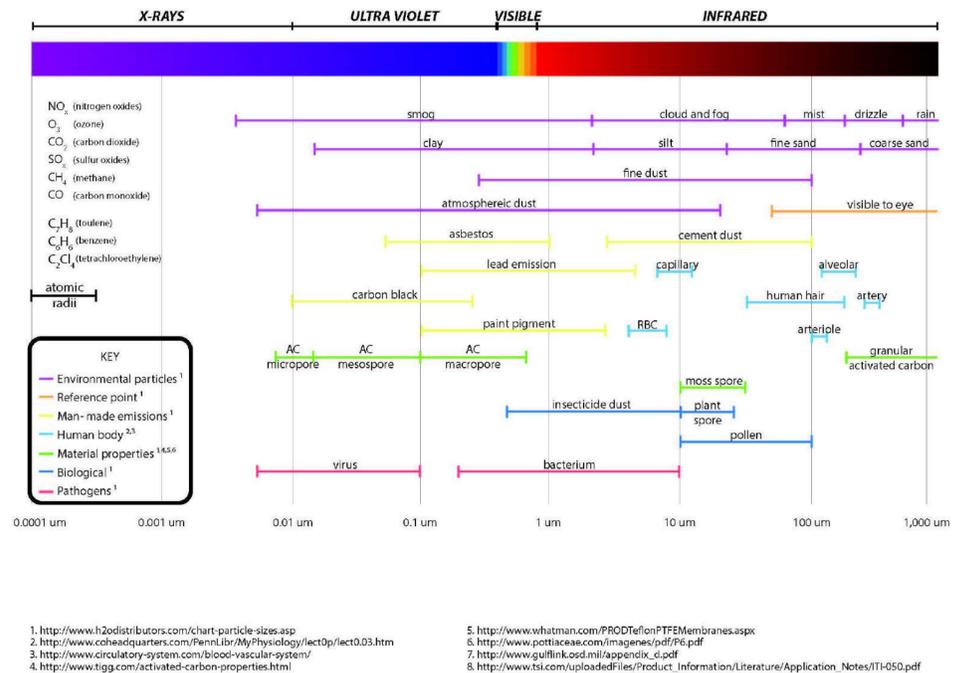
Les Particules fines

Pour étudier la pollution atmosphérique, on classe les particules solides et liquides en suspension dans l'air en quatre catégories (PM = *particulate matter*) :

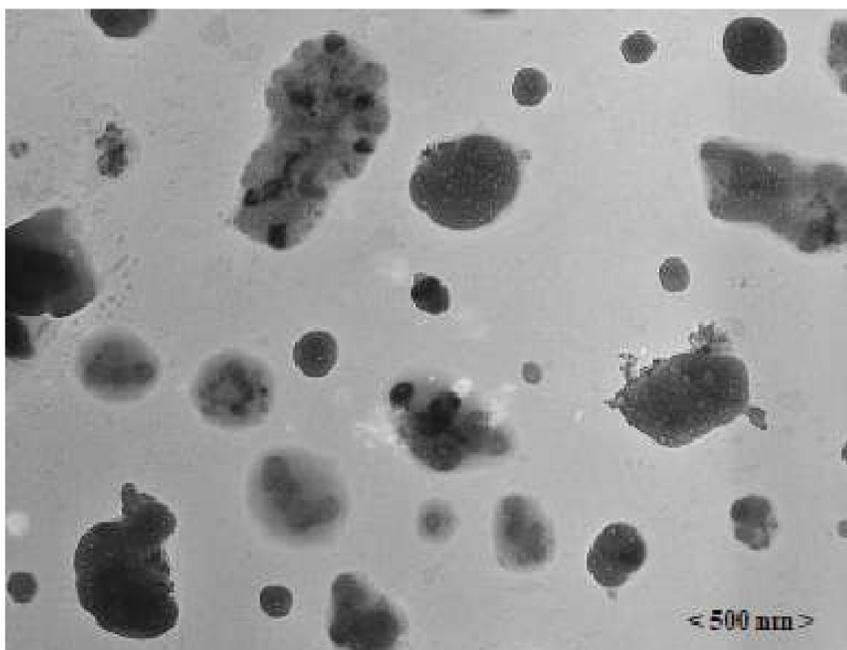
- **PM 10**, particules de taille inférieure à 10 microns, comme celles que l'on trouve près des routes et des sites industriels engendrant des poussières.
- **PM 2.5**, particules de taille inférieure à 2,5 microns (fumée, échappement des moteurs diesel, aérosols secondaires).
- **PM 1**, particules très fines, de taille inférieure à 1 micron. Ce sont les plus dangereuses pour la santé.
- **PM 0.1**, particules ultrafines de diamètre inférieur à 0,1 micron. Elles appartiennent au monde encore mal connu des nanoparticules.

Dans un litre d'air, il y a quelques dizaines de milliers à quelques millions de particules entre 0,1 et 1 micron.

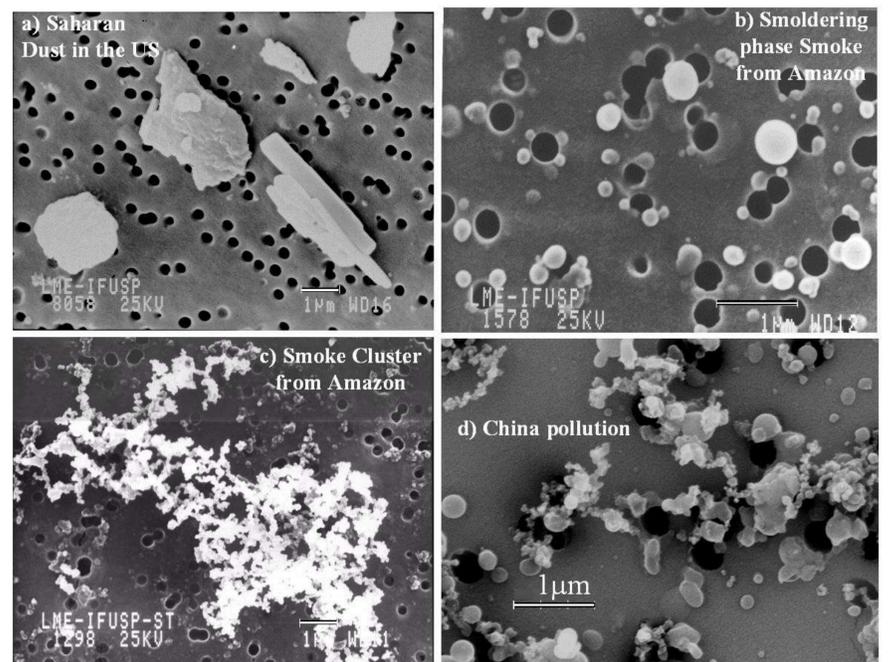
La figure ci-dessous compare les tailles de différents types de particules fines et le spectre électromagnétique.



La forme, la taille et la composition chimique des particules fines est très variable, selon qu'il s'agit de matière minérale ou organique, aqueuse ou saline. Le LOAC permet de distinguer ces quatre grandes classes de particules.

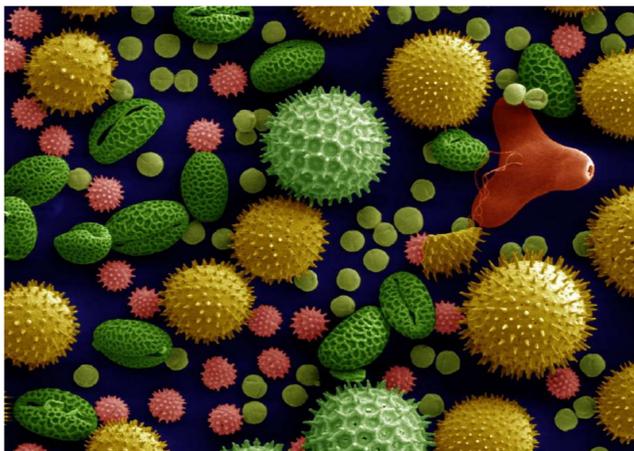


Aérosol urbain



Sable saharien, fumées et pollution urbaine

Quelques sources de particules fines



Pollens



Agriculture



Tempête de sable



Fumée de chauffage domestique



Chantier de démolition



Incendie de forêt



Locomotive diesel



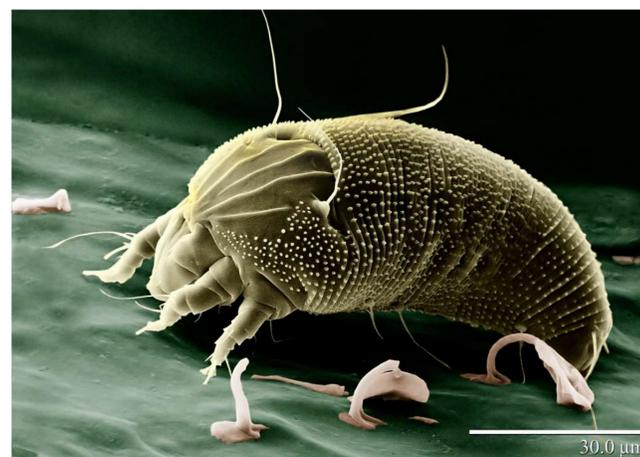
Fumée de cigarette



Éruption volcanique



Gaz d'échappement d'une voiture



Acariens



Embruns



Désintégration d'une météorite



Cheminées d'usine



Spoires de champignons

Fonctionnement du LOAC

La lumière se propage partout à la même vitesse dans le vide :

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

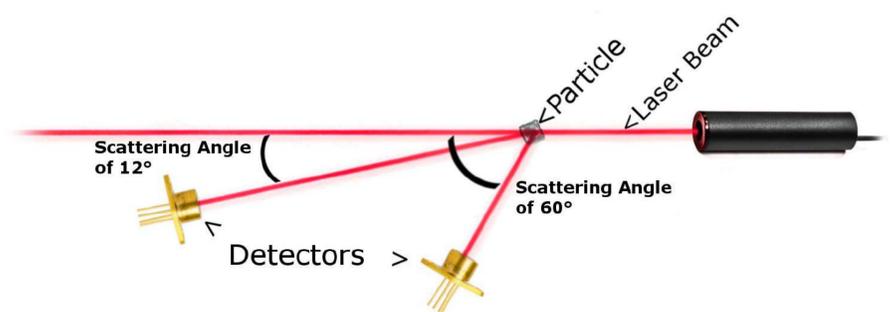
Dans la matière, la lumière est ralentie d'un facteur n , appelé **indice de réfraction** :

$$v = \frac{c}{n}$$

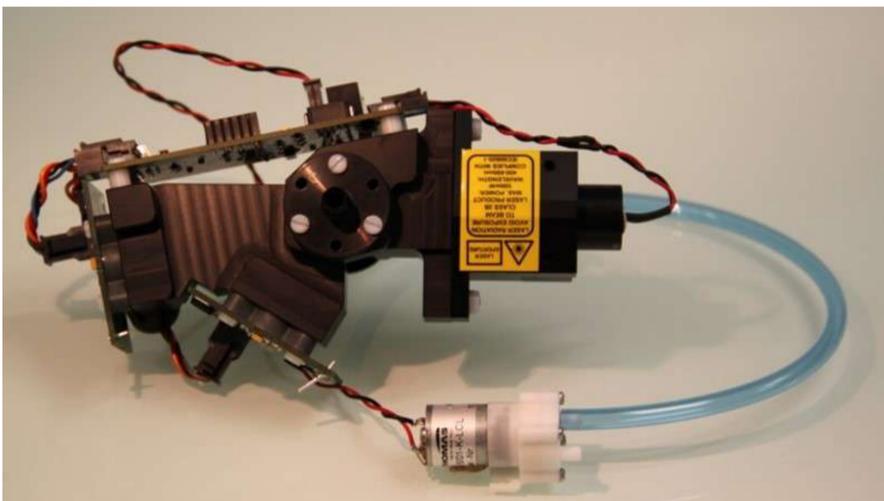
Cet indice intervient dans le calcul de l'intensité de la lumière diffusée par des particules et dans la détermination de la nature de ces particules.

Le LOAC est un appareil qui mesure la quantité de particules fines (de 0,2 à 100 microns de diamètre moyen) en suspension dans l'air, en observant la lumière qu'elles renvoient. On émet un rayon laser (rouge, longueur d'onde = 650 nm) et on analyse la lumière diffusée par les particules dans deux directions différentes, à 12° et à 60° du rayon incident.

L'intensité de la lumière diffusée à petit angle (12°) ne dépend presque pas de l'indice de réfraction des particules car on observe ici principalement de la **diffraction**. Ceci permet de déterminer précisément la quantité des particules pour 19 gammes de tailles comprises entre 0,2 et 100 microns.



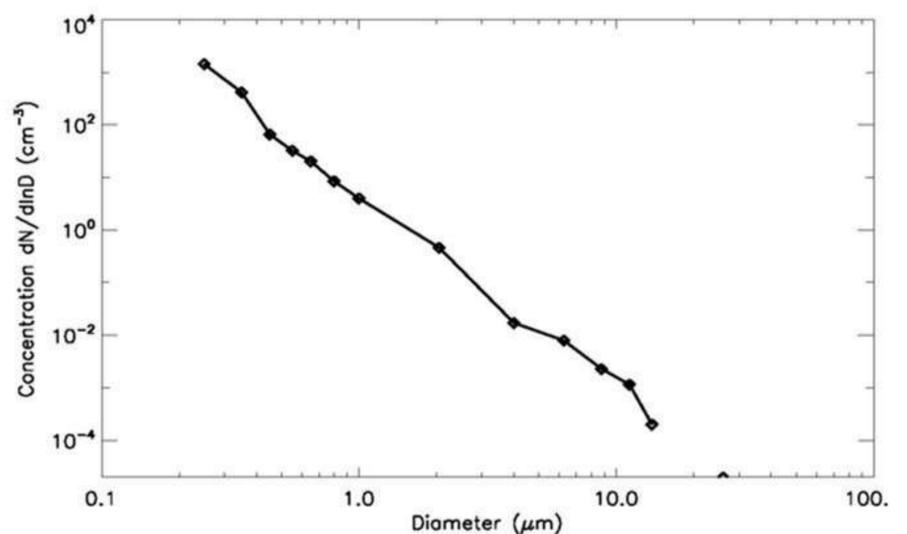
En revanche, l'intensité de la lumière perçue à 60° dépend fortement de l'indice de réfraction des particules. Ceci permet de connaître la nature des particules.



Les résultats affichés par l'ordinateur couplé au LOAC représentent la concentration dN de particules de diamètre compris entre D et $D + dD$, rapportés sur une échelle logarithmique. On note cette fonction :

$$f(D) = \frac{dN}{d \ln D}$$

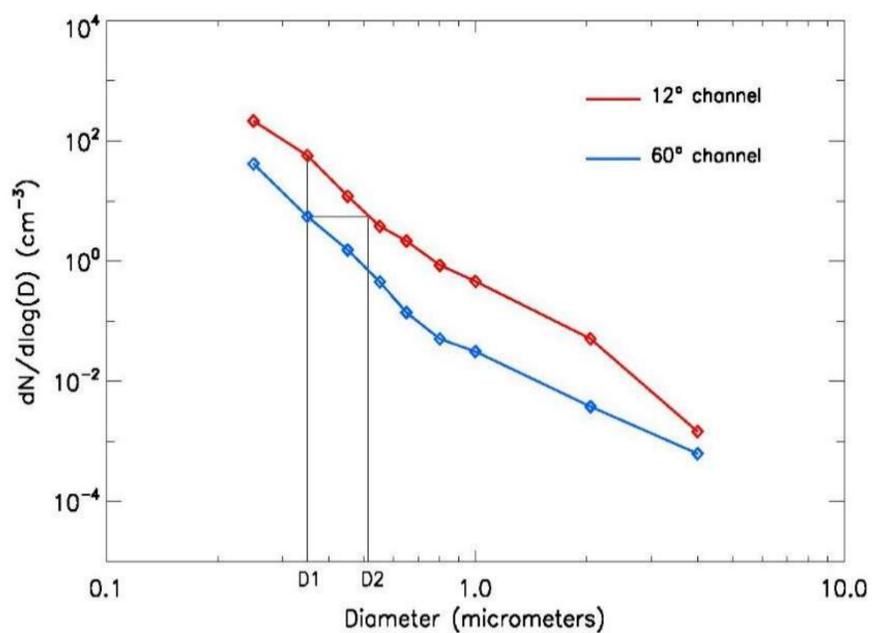
et on la mesure en cm^{-3} .



Dans l'exemple ci-dessus, obtenu lors d'un épisode de pollution urbaine, la concentration des particules diminue lorsque la taille augmente. Plus les particules sont grosses, plus elles sont rares.

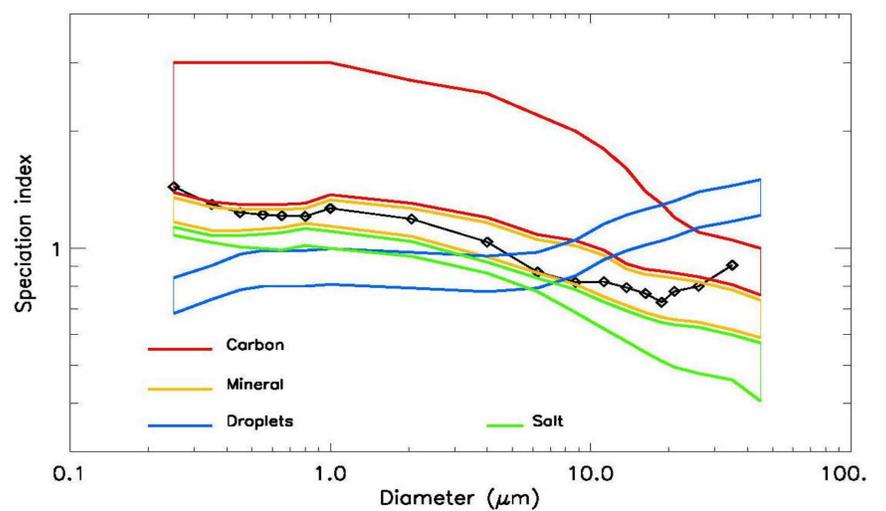
Comment déterminer la nature des particules ?

L'intensité de la lumière renvoyée vers 60° dépend de l'indice de réfraction des particules. Plus ces particules absorbent de lumière et plus l'intensité lumineuse diminue dans cette direction. Il en résulte une courbe de répartition des tailles qui est plus basse que celle enregistrée à 12° :

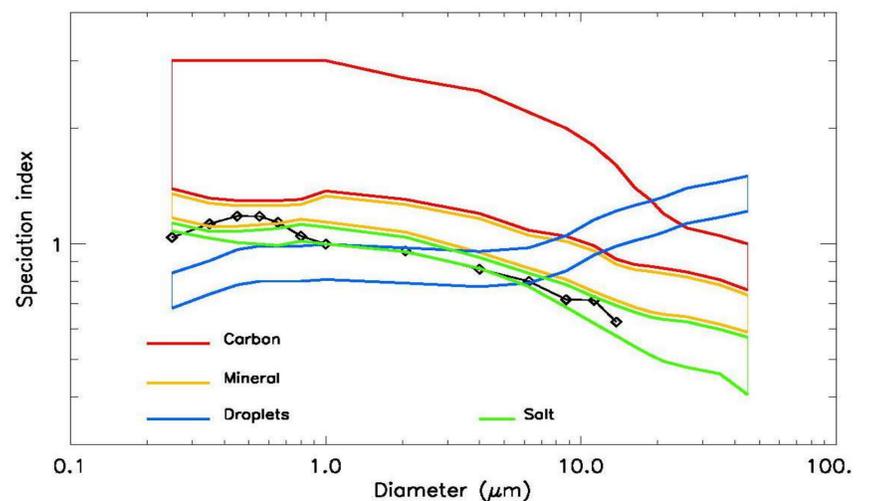


Le rapport entre ces deux courbes dépend de la nature des particules. On établit en laboratoire des cartes standard de ce rapport avec des échantillons bien connus. Les mesures menées dans l'atmosphère sont comparées à ces cartes pour déterminer la nature des particules qui composent l'aérosol (gouttelettes liquides, minéraux, particules carbonées, sels).

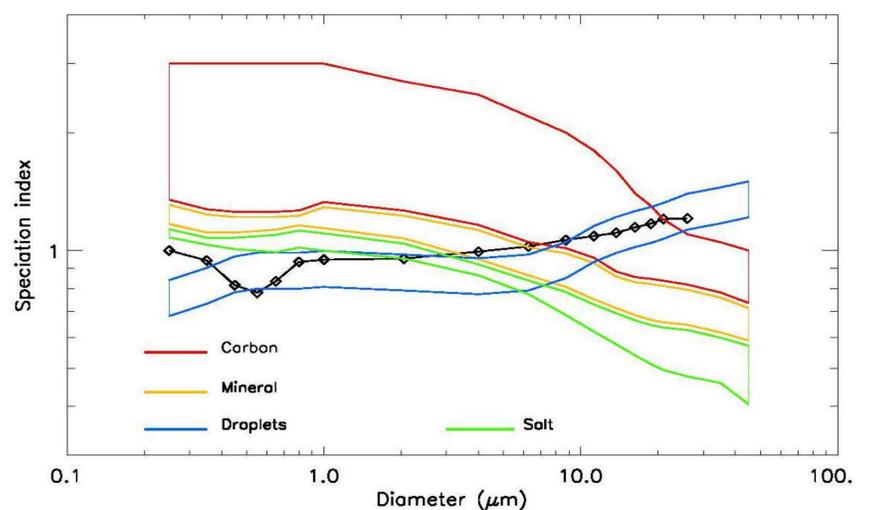
Épisode de sable saharien



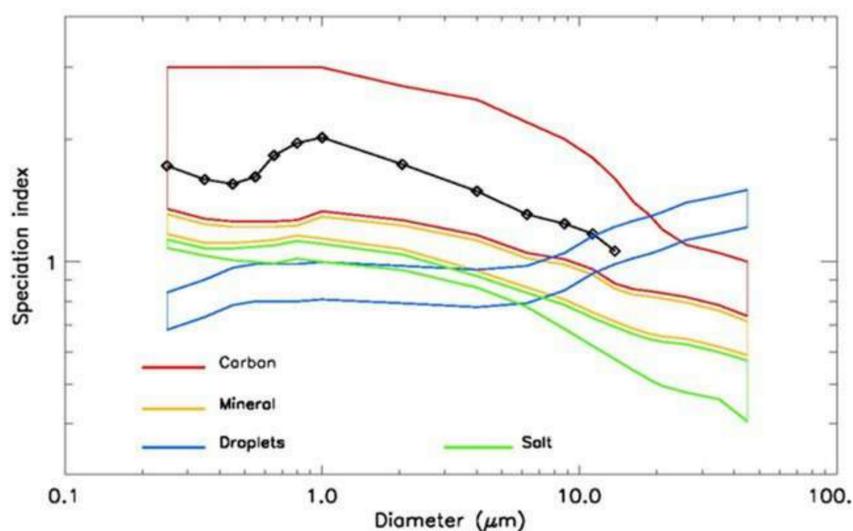
Sel de mer



Nuage et brouillard



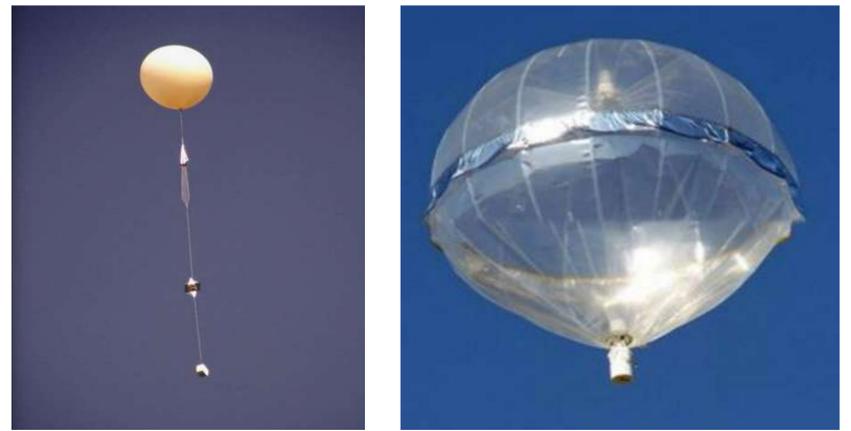
Pollution aux particules carbonées



Utilisations du LOAC

Le LOAC peut être utilisé au sol et sous tous types de ballons (stationnaires, météorologiques, troposphériques ou stratosphériques). On le retrouve à Palaiseau (Observatoire SIRTA), à Orléans (Site Voltaire, CNRS) et à Paris (Ballon touristique de Paris « Observatoire Atmosphérique Generali », Parc André Citroën). Il est aussi lancé sous ballon météorologique toutes les deux semaines depuis la base du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) à Aire-sur-l'Adour (Landes).

Les mesures au ballon de Paris du Parc André Citroën sont présentées en temps réel sur le site Internet www.ballondeparis.com

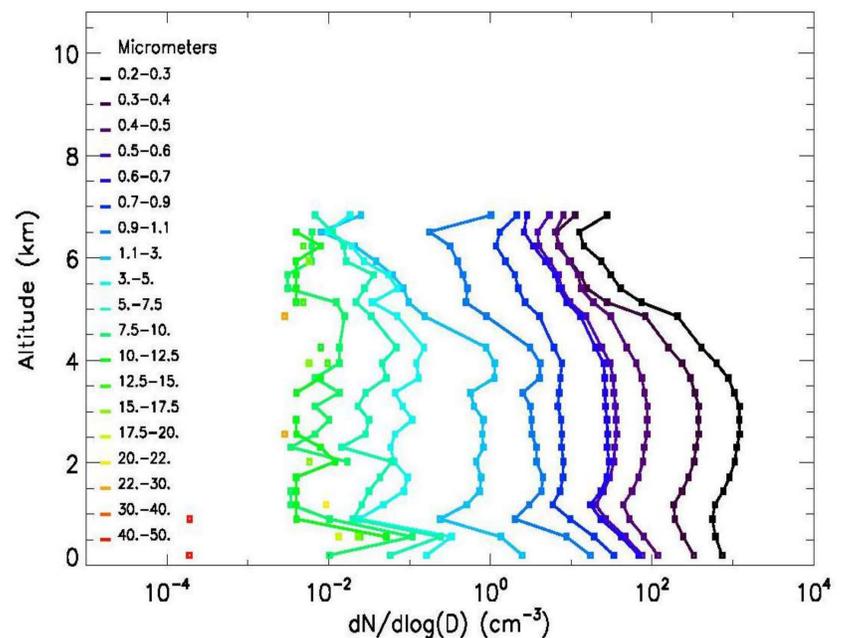


Ballon météorologique Ballon troposphérique

Le 17 juin 2013, le LOAC a voyagé à l'intérieur d'un nuage de sable saharien au-dessus de Minorque (Espagne), dans le cadre du projet ChArMEx. On observe notamment la présence de grosses particules de sable transportées depuis plusieurs jours :

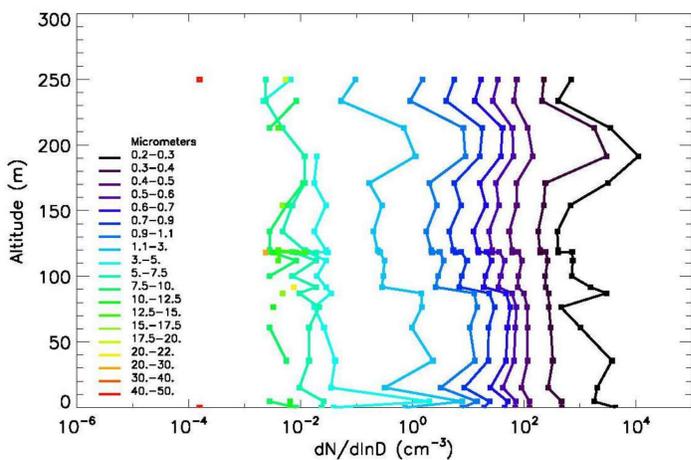


Ballon de Paris (Parc André Citroën)

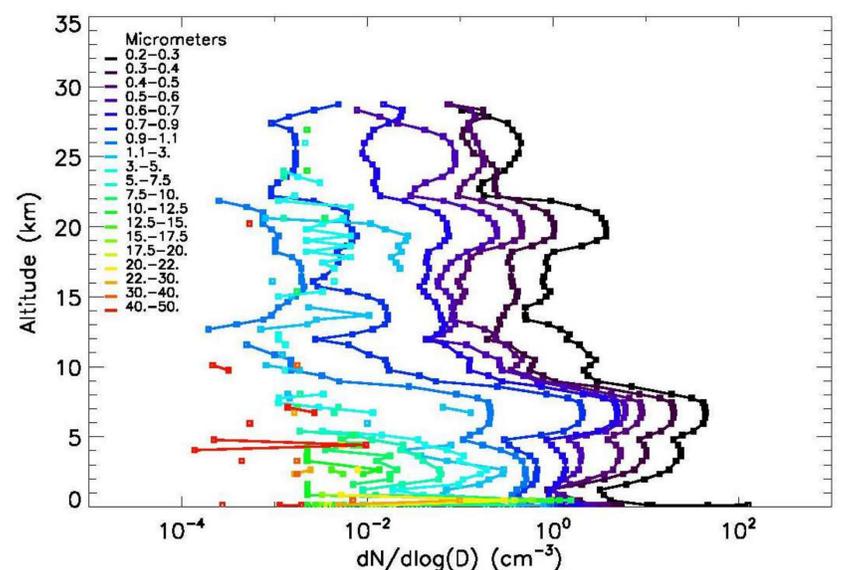


Sable saharien (Minorque, 17/06/2013)

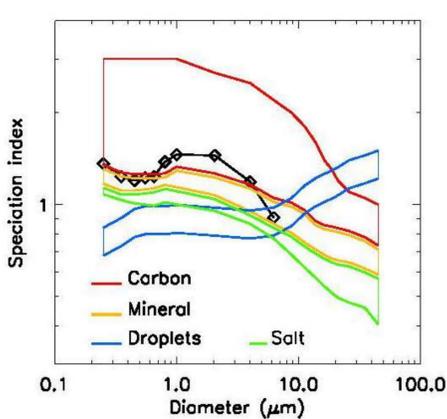
Le LOAC sous ballon météorologique peut atteindre une altitude de 30 km, afin d'étudier la composition et l'évolution du contenu en particules liquides et solides dans la stratosphère, notamment dans le cadre du projet LOAC-VOLTAIRE :



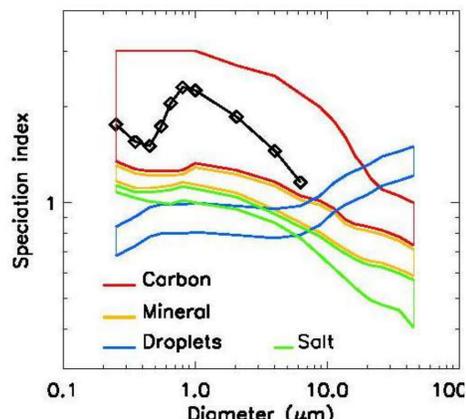
Épisode de pollution (Paris, 11/12/2013)



Mesures stratosphériques (Aire-sur-l'Adour, 12/08/2015)



Au sol : particules diverses



À 200m d'altitude : particules carbonées

Partenaires du LOAC

Le projet LOAC a été financé par l'Agence Nationale de la Recherche et a été primé en 2014 :



Le projet est mené au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPC2E) du CNRS / Université d'Orléans, avec la collaboration du Laboratoire d'Aérodynamique (LA) et du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - Commissariat à l'Energie Atomique (LSCE-CEA).



Les vols sous ballons libres sont effectués par le Centre National d'Études Spatiales (CNES)



Le LOAC est construit par la société française Environnement-SA, l'une des toutes premières entreprises internationales d'instrumentation d'analyse et de mesure de l'environnement. Depuis sa création en 1978, Environnement S.A conçoit, fabrique et commercialise des appareils de mesure en continu de polluants pour la surveillance de la qualité de l'air, le contrôle des émissions industrielles, la mesure des gaz moteurs, la surveillance des radionucléides gazeux et la mesure de la qualité de l'eau.



<http://www.environnement-sa.fr/>

Le LOAC est distribué par la société **MeteoModem**, qui a aussi développé la nacelle pour le lancement sous ballon météorologique et une version pour utilisation au sol en air extérieur. Fondée en 1992, MeteoModem est spécialisée dans le domaine des mesures atmosphériques et plus particulièrement le radiosondage. Elle est un des principaux leaders mondial de ce marché.



<http://www.meteomodem.com/>

Le ballon de Paris « Observatoire Atmosphérique Generali », qui embarque un LOAC, appartient au groupe **AEROPHILE SAS**. Créée en 1993, AEROPHILE SAS est le leader mondial du ballon captif avec plus de 75 ballons vendus dans 30 pays. Il est le plus grand transporteur du « plus léger que l'air » avec 8 ballons opérant à travers le monde.



<http://www.aerophile.com/>
<http://www.ballondeparis.com/>

L'Observatoire Atmosphérique Generali est un laboratoire volant qui embarque le LOAC, avec une vocation scientifique et pédagogique. Ce ballon est le premier indicateur de qualité de l'air vu simultanément par 400 000 personnes, à partir des mesures du réseau de surveillance Airparif. Il est soutenu par **Generali France** dans le cadre d'une politique active de développement durable.



<http://www.generation-responsable.com/sensibiliser-au-developpement-durable>