

Mesures in situ : particules

+ Complément

Fiche détaillée

Niveau ★☆☆

(A partir de la 4ème)

I. Introduction

Les particules ont un impact important sur la qualité de l'air à travers des effets sur la santé, sur les écosystèmes, sur l'environnement et à une échelle plus large sur le climat. Pour appréhender ces impacts, il est important d'avoir des informations sur l'évolution spatio-temporelle des divers polluants dont les aérosols et de développer des indicateurs pertinents à partir de mesures pour la surveillance et la prévision. Les campagnes de mesures ou les réseaux de mesures doivent couvrir plusieurs échelles spatio-temporelles et couplent des étapes de calibrage, mesures, inter comparaison instrumentale et validation de données. Comme pour les gaz, les mesures doivent être spécifiques, sensibles, précises et sont basées sur les propriétés des aérosols. Les particules sont caractérisées (cf. fiche P12 à P16) par (i) une distribution en taille trimodale pour leur taille, leur masse et leur volume, (ii) leur composition chimique, (iii) leur morphologie. Les techniques de mesures sont nombreuses et associées aux différentes caractéristiques des aérosols.

II. Les techniques de mesures en masse

Les prélèvements de particules nécessitent d'utiliser une ligne d'échantillonnage qui conserve l'intégrité de l'échantillon avant le prélèvement et/ou l'analyse. Cette ligne d'échantillonnage est souvent équipée d'une tête d'échantillonnage qui permet de limiter éventuellement la mesure à des particules en dessous d'une taille donnée. La tête d'échantillonnage (figure 1) est constituée d'un cyclone ou buse d'entrée et d'une plaque d'impaction. La séparation par taille est basée sur la capacité des petites particules de suivre les lignes de courant divergentes et d'éviter la plaque d'impaction retenant les particules de taille supérieure à un rayon donné (par exemple 2,5 ou 10 μm). Les particules les plus fines sont entraînées vers le système de prélèvement proprement dit par un tuyau d'adduction de l'air. Celui-ci sera le plus court possible, en évitant les coudes afin d'éviter la perte de particules sur les parois et la discrimination en taille: on parle de prélèvement isocinétique.

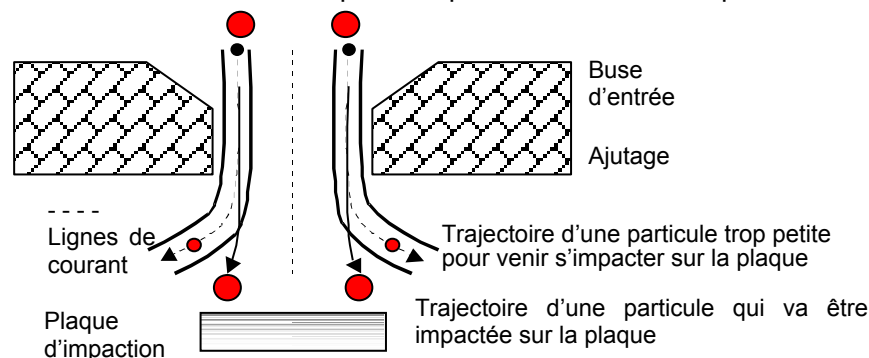


Figure 1 : schéma de la séparation des particules par impaction (Renoux et Boulaud, 1998).

II.I. Prélèvements sur filtre

Ce type de prélèvement permet d'obtenir la masse d'aérosols localement (un point de mesure) et sur une certaine période (intégration dans le temps). Les mesures sur la quantité prélevée sont réalisées ultérieurement en laboratoire (pesée et analyses). Ceci implique de veiller à la conservation de l'échantillon en le protégeant en particulier d'un éventuel vieillissement chimique ou photochimique (mise à l'abri de la lumière, conservation au froid par réfrigération ou congélation). Le système (figure 2) est constitué d'une tête d'échantillonnage, d'un porte-filtre, d'un contrôle du débit (régulation et mesure) et d'une pompe. Le porte-filtre comprend une grille

et un filtre sur lequel sont déposées les particules. La qualité du filtre est adaptée à la nature de l'aérosol à prélever et au type d'analyse à réaliser.

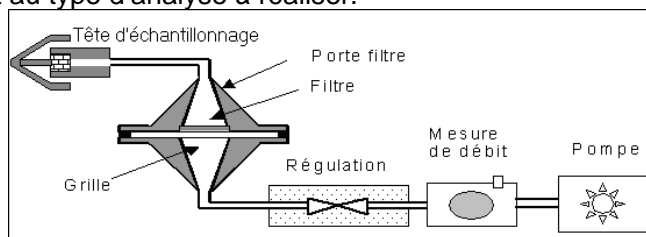


Figure 2 : Schéma de principe du prélèvement sur filtre.

Les mesures permettent d'obtenir (i) la concentration en masse d'aérosols de l'échantillon par pesée sur une balance micrométrique, (ii) la composition chimique (composition organique et composition minérale) par des analyses spécifiques en chromatographie ionique (cf. fiche C1), et par des techniques thermo-optiques.

II.II. Prélèvements gravimétriques

Ils permettent de réaliser un prélèvement et la mesure de la masse prélevée simultanément. Deux techniques sont utilisées basées sur des principes différents : la jauge bêta et la microbalance oscillante. Dans les deux cas, l'échantillon est déposé par aspiration sur un filtre au travers d'une tête d'échantillonnage.

La méthode de la jauge bêta repose sur la mesure de l'absorption de rayonnements de faible énergie par la matière. Ainsi une mesure de l'intensité du rayonnement bêta est réalisée avant et après le dépôt des particules sur un filtre ruban. L'atténuation du rayonnement est proportionnelle à la masse déposée à travers un coefficient d'absorption massique (K) obtenu par étalonnage. Cette méthode n'est cependant pas valable pour la mesure d'éléments chimiques très lourds.

$$M = K \cdot \ln(N_1/N_2) \quad \text{avec} \quad M : \text{masse prélevée}$$

$$K : \text{coefficient d'étalonnage de la jauge}$$

N_1 et N_2 : signal enregistré avant et après prélèvement de particules.

La microbalance oscillante (TEOM ou FDMS) est constituée d'un élément conique oscillant à sa fréquence naturelle (f_0). La méthode de mesure est basée sur la modification de cette fréquence par accumulation de matière sur un filtre posé en haut du cône. La variation de fréquence au cours du temps est enregistrée et permet d'atteindre la variation de masse du dépôt (Δm) pendant ce même intervalle.

$$f = (k_0/M)^{1/2} \quad \text{avec} \quad f : \text{fréquence d'oscillation}$$

$$k_0 : \text{coefficient propre à l'élément oscillant}$$

$$M : \text{masse de l'élément}$$

$$\text{et} \quad \Delta m = k_0 \cdot (1/f^2 - 1/f_0^2) \quad \text{avec} \quad \Delta m : \text{variation de masse liée au prélèvement}$$

$$f_0 \text{ et } f : \text{fréquences mesurées sur l'intervalle de prélèvement}$$

II.III. Méthodes aérodynamiques

Comme pour les têtes de prélèvement, ces méthodes sont basées sur l'inertie des particules et permettent de réaliser une classification en dimension des particules. Le système (figure 3) fonctionne avec des impacteurs à N étages ($N = 8$ ou 12) : chaque étage est représentatif d'une taille de coupure et équipé d'un filtre de piégeage. Ce type de préleveur permet a posteriori de déterminer la composition chimique des aérosols sur chaque étage donc avec une spéciation en taille (de 30 nm à quelques μm).

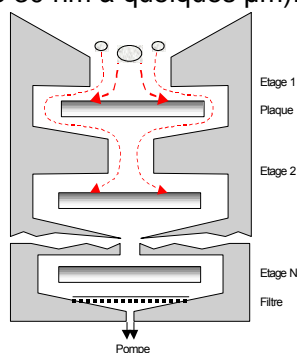


Figure 3 : Schéma de principe d'un impacteur en cascade (Renoux et Boulaud, 1998).

III. Les analyses dimensionnelles

Ces analyses sont développées autour des propriétés optiques, électriques et aérodynamiques des aérosols.

III.I. Méthodes optiques

Ces méthodes sont basées sur les lois de diffusion et d'absorption de la lumière par les particules. En effet, l'intensité de lumière absorbée ou diffusée est proportionnelle à la concentration des particules en suspension. Différents types d'instruments ont été développés qui permettent des mesures locales ou intégrées dans l'espace (exemple des mesures DOAS, cf. fiche C3, photomètre) ou résolues dans l'espace (exemple mesures LIDAR, cf. fiche C3).

Les mesures locales sont principalement réalisées par des compteurs optiques de type APS ou GRIMM. Le principe de mesure est basé sur la mesure de la lumière diffusée par une particule selon certaines hypothèses : particules sphériques, indice de réfraction homogène pour l'échantillon, échantillon peu absorbant en terme de rayonnement.

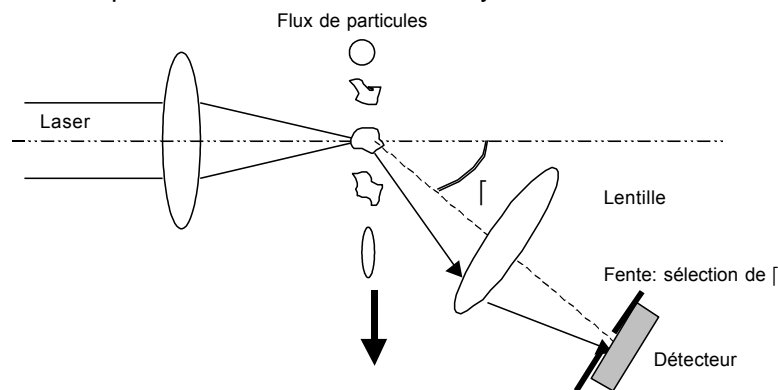


Figure 4 : Schéma de principe d'un compteur optique.

Le flux de particules (figure 4) est soumis à un rayonnement laser focalisé. La lumière diffusée par chaque particule sous un certain angle θ est mesurée par un détecteur. La taille de la particule est déduite d'un traitement mathématique du spectre de diffusion. Cette technique est limitée par ces hypothèses de base qui sont difficilement respectées en particulier pour des particules vieillissantes et peu humides.

D'autres instrumentations (PCASP, néphélomètre), basées sur le même principe, permettent d'obtenir le coefficient de diffusion des particules. La mesure associée est celle de la lumière diffusée par chaque particule dans un grand angle de détection.

III.II. Méthodes électriques

Elles sont basées sur les propriétés électrostatiques (naturelles ou artificielles) des particules.

Pour l'instrumentation ELPI (Electrical Low Pressure Impactor), les particules sont chargées électriquement à l'entrée d'un impacteur multi étages. L'enregistrement du signal électrique sur chacun des étages (piégeage entre 15 nm et 10 μm) permet, après inversion, de remonter sous certaines hypothèses à la taille des particules, donc à la granulométrie de l'échantillon.

Dans l'ADME (Analyseur Différentiel de Mobilité Electrique), les particules sont chargées par une source radioactive en amont de la cellule. Elles passent ensuite dans un champ électrique variable. Le mouvement des particules provient de l'entraînement par le fluide porteur et d'une dérive liée au champ électrique et à la mobilité dynamique (inversement proportionnelle au rayon de la particule). Les particules répondant aux paramètres prédéfinis de l'instrument sont entraînées par des orifices dans le système de comptage. La gamme de mesure est entre 0,003 et 1 μm pour les particules ; l'agitation brownienne et la gravité étant limitantes en dehors de cette plage.

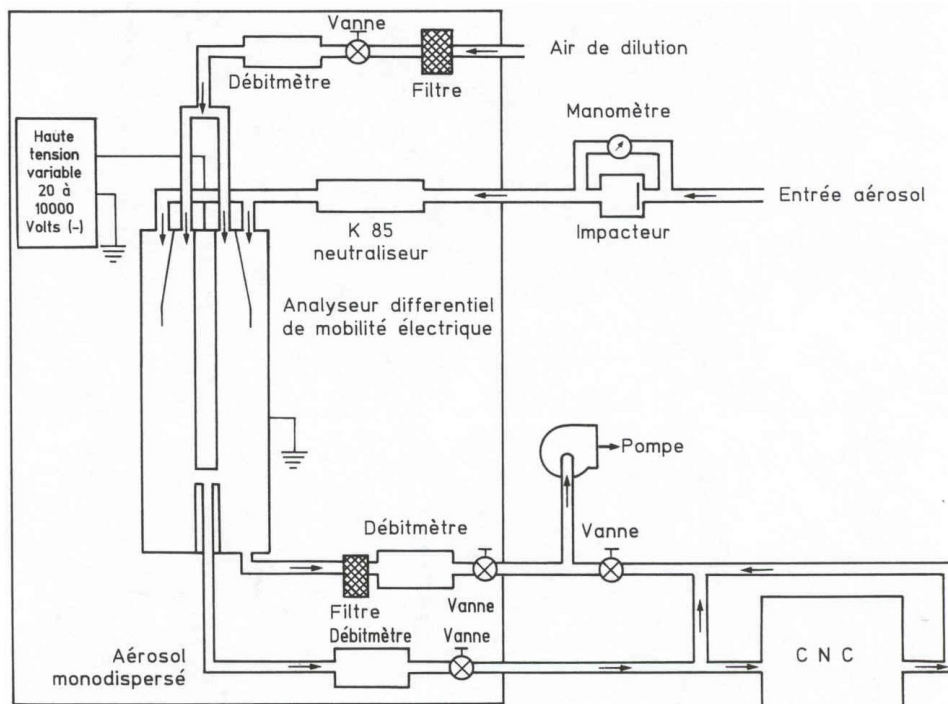


Figure 5 : Schéma de principe d'un ADME, couplé à un CNC.

Le système de comptage est soit un électromètre, soit un compteur de noyaux de condensation (CNC). Le principe de ce dernier est de faire grossir les particules par condensation de vapeur d'eau sursaturée pour permettre leur détection avec un compteur optique. Il est donc adapté pour dénombrer les plus petites particules (0,003 nm à 1 µm) vues comme des gouttes individuelles ; l'efficacité de mesure est de 50 % pour les particules de 0,003 nm et supérieure à 90 % à partir de 0,005 nm.

IV. Les techniques analytiques pour les aérosols

Les prélèvements sur filtre peuvent, si le support est convenable, être couplés à différentes techniques analytiques. On peut citer (i) les analyses directes sur filtre avec l'utilisation de la microscopie électronique analytique à balayage (MEAB) pour l'analyse morphologique ou le dénombrement des particules par imagerie, avec l'instrument DRI ou le coulomètre pour la mesure de la fraction carbonée des l'aérosol, avec la fluorescence X ou l'ICPMS pour l'analyse élémentaire et (ii) les techniques nécessitant le transfert du prélèvement en phase liquide telles que la chromatographie ionique (CI), ou la chromatographie en phase liquide (HPLC) (cf. fiche C1).

V. Complément sur les mesures de gaz et de particules

Principaux polluants	Principales méthodes de mesure	Valeurs limites de qualité de l'air ³ OQ = Objectif qualité SA = Seuil d'alerte VLPS = Valeur Limite pour la protection de la santé
SO ₂	Indice de pollution gazeuse acide. Titrimétrie. Acidité forte (automatisé / séquentiel) Photométrie de flamme Fluorescence UV DOAS LIDAR	OQ = 50 µg/m ³ (1 an) SA = 500 µg/m ³ (1 h) VLPS = 350 µg/m ³ (centile 99,7) (moyenne horaire)
NO ₂	Colorimétrie (Griess-Saltzman) Piégeage sur filtre imprégné à triéthanolamine Tubes à diffusion Chimiluminescence ozone Chimiluminescence Luminol DOAS LIDAR	OQ = 40 µg/m ³ (1 an) SA = 400 µg/m ³ (1 h) VLPS = 200 µg/m ³ (centile 98) (moyenne horaire)
NO	Chimiluminescence ozone DOAS LIDAR	
N ₂ O	CPG/ECD (détecteur à Captures d'électrons) TDL (Diodes Laser)	
O ₃	Méthode à l'iodure de potassium Chimiluminescence (éthylène) Photométrie dans l'UV DOAS LIDAR Tubes passifs Microcapteurs	OQ = 120 µg/m ³ (8 h) Seuil information : 180 µg/m ³ (1 h) SA = 240 µg/m ³ (1 h) (+ niveaux protection végétation, forêts et matériaux)
CH ₄	CPG/FID (détecteur à ionisation de flamme) TDL (Diodes laser)	
CO	Absorption IR Absorption IR - Corrélation par filtres gazeux	VLPS = 10 mg/m ³ (8 h)
COVT / COVTNM	Ionisation de flamme	
<u>COV spécifiques</u> : - BTX (benzène, toluène, xylènes) - COV spécifiques : alcanes, alcènes - aldéhydes	CPG/FID, PID (automatique) DOAS LIDAR Canisters Tubes actifs + analyse CPG Pièges passifs Tubes imprégnées + analyse HPLC	OQ = 2 µg/m ³ (1 an) Benzène VLPS = 5 µg/m ³ (1 an) Benzène
<u>Particules</u> : - méthodes gravimétriques : . filtres . continu - méthodes aérodynamiques - méthodes dimensionnelles : . optiques . électriques - fraction carbonée (particules)	Microbalance oscillante TEOM Absorption rayons [(jauge [) Impacteurs en cascade Fumées noires FN Compteur LIDAR ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) ADME (Analyseur Différentiel de Mobilité Electrique) CNC (Compteurs Noyaux de Condensation) Carbone organique et C élémentaire	OQ = 30 µg/m ³ (1 an) VLPS = 50 µg/m ³ (centile 90,4)

HAP gaz + particules	- Prélèvements HVS (grands volumes) sur filtres et possibilité cartouches (polymère XAD2 ou PUF) puis analyses par HPLC et détection par fluorimétrie ou analyses par GC/MS - Prélèvements LVS (bas volumes) sur filtres et possibilité cartouches ; analyses idem	Valeur cible BaP (projet) : 1ng/m ³ (moyenne annuelle)
Pesticides Gaz + particules	Prélèvements HVS ou LVS (grands ou bas volumes) sur filtres quartz et cartouches (mousse PUF ou polymère XAD2) puis analyses par CG/HPLC et détection par ECD/TSD/UV-DAD/Masse	
Dioxines/Furanes gaz + particules	Prélèvements HVS filtres + cartouches puis analyses par GC/MS haute résolution.	
Métaux lourds : - Pb, Cd, Ni, As (particules) - Hg (gaz+particules)	Filtres - Analyses : AA-Fluo X- ICP - Prélèvements sur adsorbants solides + or et analyses par fluorescence atomique - Mesures instrumentales séquentielles continues (même principe).	