

# Protection de l'environnement: techniques analytiques nucléaires pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique

*Grâce aux projets assistés par l'AIEA dans une trentaine de pays, les chercheurs peuvent dépister et définir les sources de pollution*

par  
**Robert M. Parr,**  
**Susan F. Stone**  
et **R. Zeisler**

La pollution atmosphérique préoccupe le monde entier, en particulier les habitants de certaines grandes agglomérations urbaines. Ses divers et nombreux composants agressent l'environnement et la santé, directement ou indirectement. Les principaux polluants sont l'anhydride sulfureux, la matière particulaire, l'oxyde de carbone, les hydrocarbures réactifs, les oxydes d'azote, l'ozone et le plomb.

Les techniques nucléaires facilitent grandement l'étude de presque tous ces polluants, mais c'est surtout pour l'analyse des *aérosols* qu'elles sont le plus utiles. Nous allons parler de ces applications et des travaux de l'AIEA dans cet important domaine.

## Qu'est-ce qu'un aérosol?

C'est un mélange de particules solides et liquides en suspension dans l'air. La distribution granulométrique de ces dernières présente deux crêtes principales, l'une vers 0,2 micron, l'autre vers 10 microns (*voir la figure*). On peut aussi classer les particules selon leur origine. Celles qui sont inférieures à 2 microns sont essentiellement imputables aux processus de combustion (activité humaine) ou à la conversion gaz-particule, celles qui sont supérieures à 2 microns résultent pour la plupart de processus mécaniques (érosion des sols) ou d'une combustion incomplète.

Pourquoi vouloir étudier ces aérosols? D'abord parce qu'ils menacent la santé (*voir l'encadré, page suivante*). Dans certaines agglomérations urbaines

très peuplées, de pays *en développement* notamment, les concentrations totales sont souvent bien supérieures aux valeurs indicatives fixées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Celle-ci considère que la concentration moyenne annuelle ne devrait pas excéder 60 à 90 microgrammes/m<sup>3</sup>. Or, nombreuses sont les villes où ces valeurs sont régulièrement dépassées. Pas moins de 17 grandes villes, toutes situées dans des pays en développement, sont exposées à des concentrations plus ou moins élevées d'aérosols polluants provenant de la combustion du charbon, de sources industrielles ou encore, dans le cas de pratiquement tous les pays du monde, des gaz d'échappement des véhicules automobiles, et cela dans une mesure croissante. Dans les villes polluées, les effets directs sont immédiatement perceptibles: visibilité réduite dans l'atmosphère et irritation des yeux et de la gorge. Les effets à long terme sont encore bien plus graves et insidieux.

Comme les effets sur la santé sont surtout imputables aux particules de l'ordre de 10 microns et moins, ce sont celles-ci dont on s'occupe le plus. Malheureusement, il n'existe pas encore de normes de qualité de l'air internationalement agréées applicables à ces particules et la plupart des pays ne les surveillent même pas de façon régulière (ou commencent tout juste à s'en soucier depuis quelques années). Dans la pratique, ce sont les normes de qualité de l'air proposées aux Etats-Unis qui servent le plus souvent de référence: la concentration annuelle moyenne ne doit pas dépasser 50 microgrammes/m<sup>3</sup> et la moyenne sur 24 heures ne doit pas excéder 150 microgrammes/m<sup>3</sup> plus d'une fois par an (*voir le graphique page suivante pour une comparaison de ces moyennes avec les résultats pour São Paulo communiqués par un participant brésilien à un programme de recherche de l'AIEA*).

M. Parr est membre de la Division de la santé humaine de l'AIEA et Mme Stone en a fait également partie. M. Zeisler est un ancien membre du personnel des Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf.

### Eléments couramment détectés dans les aérosols à l'aide de techniques nucléaires et associées

**Analyse par activation neutronique:** aluminium (Al), arsenic (As), or (Au), baryum (Ba), brome (Br), calcium (Ca), cadmium (Cd), chlore (Cl), cobalt (Co), chrome (Cr), césium (Cs), europium (Eu), fer (Fe), gallium (Ga), iode (I), indium (In), potassium (K), lanthane (La), lutétium (Lu), magnésium (Mg), manganèse (Mn), sodium (Na), nickel (Ni), rubidium (Rb), antimoine (Sb), scandium (Sc), samarium (Sm), thorium (Th), titane (Ti), vanadium (V), tungstène (W), zinc (Zn).

**Emission X induite par des particules:** Al, Br, Ca, Cl, cuivre (Cu), Fe, Ga, K, Mg, Mn, molybdène (Mo), Na, niobium (Nb), Ni, phosphore (P), plomb (Pb), Rb, soufre (S), sélénium (Se), silicium (Si), Ti, Zn, zirconium (Zr)

**Analyse par fluorescence X:** Br, Ca, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Rb, S, Se, Ti, Zn.

### Etudes de la pollution de l'air assistées par l'AIEA

Devant cette évidence et vu la nécessité apparente pour les Etats Membres d'évaluer et de limiter la pollution atmosphérique, l'AIEA a lancé en 1992 un programme de recherche coordonnée (PRC) sur la pollution de l'air, à l'aide de techniques analytiques nucléaires et apparentées; en outre, quatre projets de coopération technique ont été mis en œuvre. Un PRC régional pour l'Asie et le Pacifique, entrepris en 1995, comporte les mêmes objectifs et les mêmes procédures que le premier PRC. Il est exécuté dans le cadre d'un projet commun de l'AIEA, de l'Accord régional de coopération pour l'Asie et le Pacifique (RCA) et du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) sur l'emploi des isotopes et des rayonnements pour perfectionner la technologie et faciliter un développement écologiquement durable.

Ces PRC ont un triple objectif: encourager l'emploi de techniques nucléaires et apparentées pour les travaux de recherche appliquée et de surveillance de la pollution atmosphérique; détecter les principales sources de pollution touchant les pays participants (notamment, la pollution par les métaux lourds toxiques); et obtenir des données comparatives sur les niveaux de pollution dans les secteurs fortement contaminés (agglomérations urbaines ou zones peuplées sous le vent d'une importante source de pollution) et dans ceux qui le sont peu (espace rural).

En principe, plusieurs types d'échantillonneurs servent à recueillir des aérosols (voir l'encadré,

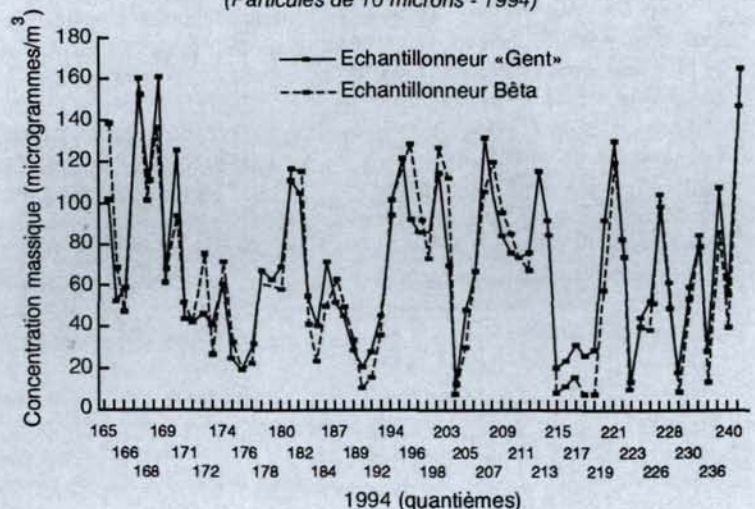
### Effets de la pollution de l'air sur la santé

Les conséquences mortelles de la pollution de l'air sont connues au moins depuis l'époque tragique du plus grand smog londonien de 1952 qui, en l'espace d'une semaine, a causé, selon les estimations, la mort prématurée de quelque 4 000 personnes. De tels brouillards n'existent plus, mais des études récentes montrent que les décès actuellement imputables à la pollution de l'air sont probablement plus nombreux qu'on ne le pensait.

Afin de comprendre pourquoi, et par quoi, la mort survient, il faut d'abord savoir comment la pollution de l'air pénètre dans l'organisme; c'est surtout un problème de granulométrie. En général, les particules d'une taille supérieure à 10 microns sont trop grosses et trop lourdes pour voyager très loin et celles qui atteignent l'être humain sont pour la plupart filtrées par le nez. Ce sont les particules plus fines d'environ 10 microns ou moins qui sont les plus dangereuses. Plus elles sont fines et plus elles pénètrent profondément dans les poumons. Ce qu'elles y font exactement n'est pas encore entièrement élucidé, mais certains scientifiques pensent que le système immunitaire réagit comme s'il s'agissait d'organismes intrus. Cette réaction provoque une inflammation des tissus qui ressemble à la réaction allergique causée par le rhume des foies et, si les particules sont ultrafines, l'inflammation peut gagner le fond du poumon. Les plus touchés sont les sujets souffrant déjà d'une grave affection respiratoire et bon nombre de ceux qui meurent pendant les périodes de forte concentration de particules de 10 microns seraient probablement morts quelques semaines ou quelques mois plus tard de toute manière. Ils constituent le *rebut*, comme on dit en épidémiologie. Toutefois, des comparaisons faites entre diverses villes des Etats-Unis montrent que l'espérance de vie générale diminue lorsqu'augmente la concentration de particules de cette taille, surtout à cause de la mortalité accrue due aux affections cardio-pulmonaires et au cancer du poumon. Il ne s'agit plus du *rebut* d'incurables, mais d'un danger réel pour la santé de tout le monde.

Il est impossible d'évaluer avec précision le nombre de personnes touchées et les scientifiques ne sont même pas d'accord entre eux sur la façon de le calculer. Quoiqu'il en soit, certains scientifiques officiels de bonne renommée estiment que la pollution atmosphérique tue environ 60 000 personnes par an aux Etats-Unis et environ 10 000 au Royaume-Uni. S'ils sont exacts, ces chiffres prouvent bien que cette contamination est non seulement un sérieux problème écologique, mais aussi un problème extrêmement grave de santé publique.

### Mesure des aérosols à São Paulo (Particules de 10 microns - 1994)



## Echantillonnage des aérosols

L'échantillonnage d'un aérosol implique le tri de particules de tailles différentes. Divers dispositifs sont utilisés pour faire les prélèvements. La méthode la plus simple consiste à collecter la totalité des particules en suspension, sans considération de taille, à l'aide d'un filtre muni d'une pompe et d'un régulateur du débit d'air à travers le filtre. L'aérosol est recueilli sur l'élément filtrant. Des échantillonneurs plus complexes permettent une sélection granulométrique.

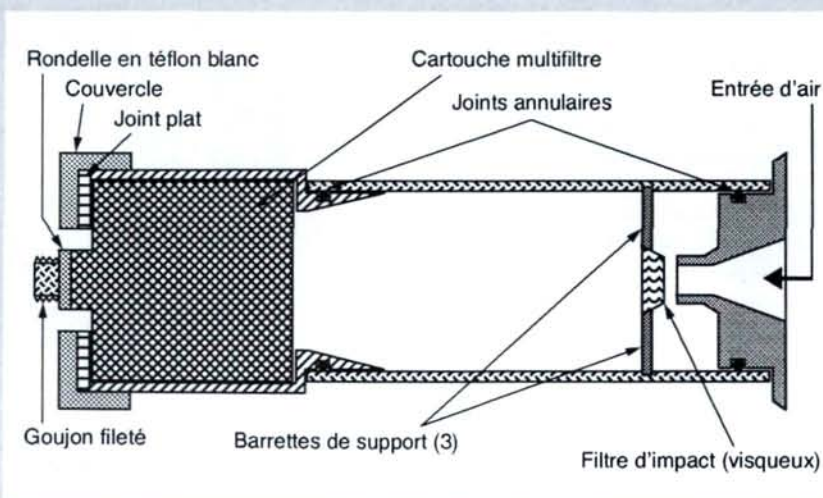
**Prélèvement sans sélection granulométrique. Echantillonnage par dépôt à sec:** dans l'appareil utilisé, les particules se déposent uniquement par gravité. Elles sont recueillies sur un collecteur en l'absence de précipitations, contrairement au dépôt par voie humide (entraînement des particules par les précipitations telles que la pluie et la neige) et au dépôt en vrac (combinaison des deux processus). **Prélèvement de la matière totale en suspension:** l'échantillonneur normalement utilisé comporte un filtre à faible résistance (verre ou cellulose) traversé par un grand volume d'air, les débits se situant entre 1,1 et 1,7 m<sup>3</sup>/min, soit environ 2 000 m<sup>3</sup> par jour. La buse d'admission et le filtre ont un diamètre de 25 à 30 cm. Ce genre d'appareil est particulièrement utile pour la surveillance, en des lieux éloignés, de concentrations de particules relativement faibles ou celle des produits de faible activité provenant de l'industrie nucléaire.

**Prélèvement avec sélection granulométrique. Echantillonneur à plusieurs étages:** le principe de cet appareil est de séparer les particules en fonction de leur granulométrie en leur opposant des «obstacles solides» auxquels elles se heurtent par inertie; le courant d'air contourne l'obstacle et, selon leur masse, les particules suivent le courant d'air ou sont projetées sur l'obstacle. Ce genre d'appareil comporte plusieurs collecteurs en série, chacun recueillant des particules de granulométrie différente, les plus lourdes étant arrêtées par les premiers collecteurs. **Echantillonneur à collecteur virtuel:** dans cet appareil, la séparation se fait au niveau d'une surface «virtuelle» formée par des courants d'air divergents, les particules grossières et fines étant dirigées vers des filtres distincts. La sélection granulométrique n'est pas aussi précise qu'avec les collecteurs physiques et la séparation semble difficile en-dessous d'un micron environ; en revanche, on évite la plupart des problèmes que posent les surfaces collectrices. L'échantillonneur dichotomique, par exemple, est muni d'une buse d'entrée sélective pour échantillonner les particules supérieures à 10-15 microns et d'un collecteur virtuel qui sépare les particules grossières des particules fines. Le débit d'air est moyen. **Echantillonneur centrifuge:** cet appareil du type cyclone peut aussi séparer les particules selon leur granulométrie dans une chambre cylindrique ou conique. Les particules lourdes sont projetées par un courant d'air constant sur la partie inférieure des parois du cyclone; elles y demeurent ou tombent au fond de l'appareil et ne sont généralement pas analysées. Les cyclones sont souvent utilisés pour séparer la fraction grossière de la fraction fine des aérosols. **Appareil à filtre multiple:** il assure un filtrage en série, la séparation des particules étant obtenue par des filtres en polycarbonate d'efficacité croissante, utilisés à cause de leur spécificité leur permettant de retenir des particules de granulométrie déterminée. Il comporte deux filtres en série situés en amont de la pompe. Le premier filtre (grossier) retient les particules comprises entre 3 et 15 microns et le second (fin) recueille les particules qui ont franchi le premier, c'est-à-dire inférieures à 3 microns. Le débit d'air est également moyen (environ 18 litres/min, soit 360 m<sup>3</sup>/jour).

**Echantillonneur individuel.** Ce petit appareil compact comporte une pompe et un élément filtrant pouvant recueillir soit la totalité des particules, soit les fractions d'une granulométrie déterminée, grâce à un dispositif approprié; il est généralement à faible débit (1-5 m<sup>3</sup>/h). Il est portable et sert à déterminer l'exposition individuelle à un aérosol.

**Echantillonneur «Gent» à cartouche filtrante.** Cet appareil spécialement conçu pour l'échantillonnage de la fraction respirable (10 microns) d'un aérosol suit le principe du filtrage en série (voir le schéma). Conçu à l'Université de Gand — «Gent» en flamand — il est actuellement fourni par l'Université Clarkson (Etats-Unis) et utilisé par tous les participants aux PRC de l'AIEA pour l'étude de la pollution atmosphérique et aux projets associés. La cartouche filtrante

comporte deux filtres Nuclepore de 47 mm (pores de 8 microns et de 0,4 micron, respectivement); elle est logée dans un cylindre muni d'un préfiltre d'impact qui retient les particules de plus de 10 microns et laisse passer celles de 10 microns dans les conditions normales de température et de pression, avec un débit de travail de 18 litres/min. A ce débit, le filtre grossier (8 microns) conserve une efficacité de 50 % pour les particules de 2 microns, de sorte qu'il retient en fait des particules entre 2 et 10 microns, tandis que le filtre fin arrête les particules de granulométrie inférieure.



**Pays participant au programme de surveillance et d'étude de la pollution atmosphérique assisté par l'AIEA**

**Participants au PRC mondial:** Argentine, Australie, Autriche, Bangladesh, Belgique, Brésil, Chili, Chine, Etats-Unis, Hongrie, Inde, Iran, Jamaïque, Kenya, Portugal, République tchèque, Slovaquie, Thaïlande et Turquie

**Participants au PRC régional:** Bangladesh, Chine, Corée (République de), Indonésie, Malaisie, Mongolie, Myanmar, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Philippines, Singapour, Sri Lanka, Thaïlande et Viet Nam

**Projets de coopération technique:** Chili, Costa Rica, Philippines, Portugal et Sri Lanka

page 18). Toutefois, pour des raisons pratiques, tous les participants aux PRC emploient un seul type d'appareil, relativement simple et peu coûteux, afin d'assurer la comparabilité des résultats. Un petit modèle à cartouche multifiltre, réalisé à l'Université de Gand (Belgique), permet de recueillir des aérosols de deux granulométries. Des échantillonneurs de ce type ont déjà été fournis par l'Agence à une trentaine de pays (voir l'encadré ci-dessus).

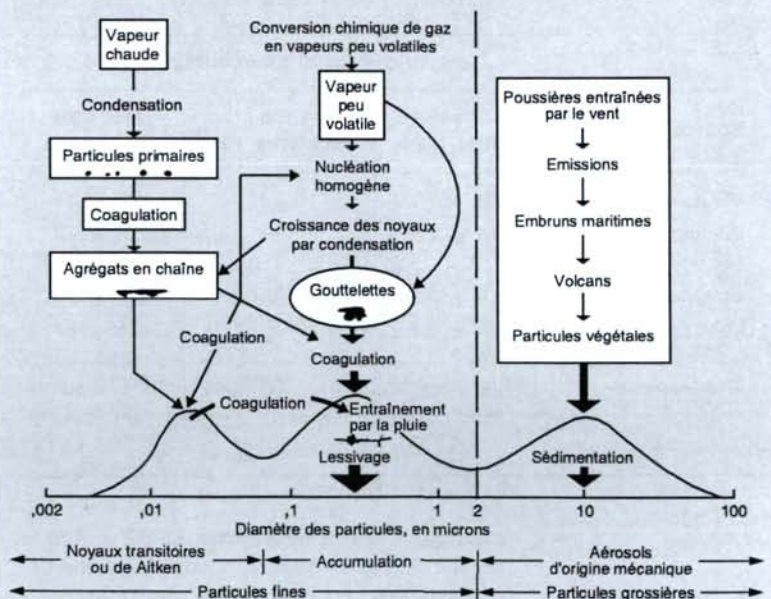
Les Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf, qui assistent les PRC, ont mis en service un de ces appareils pour échantillonner les aérosols à Vienne et en un point de la campagne autrichienne (voir l'encadré ci-contre). Ils s'occupent activement de mettre au point des matières de référence pour l'étude de la pollution atmosphérique, notamment des filtres à air, destinés à tous les participants aux PRC, en vue d'obtenir des données de bonne qualité et de faire des comparaisons valables entre les résultats. A cette même fin, le soin d'évaluer toutes les données est confié à un seul coordonnateur.

**Recours aux méthodes analytiques nucléaires et apparentées.** Diverses méthodes analytiques sont utilisées pour ces PRC. Les techniques nucléaires et apparentées, notamment l'analyse par activation neutronique (AAN), l'analyse par fluorescence X à dispersion d'énergie (FXDE) et l'émission X induite par des particules (EXIP) sont, de par leurs caractéristiques, extrêmement utiles (en fait *irremplaçables*) pour les analyses multi-éléments non destructives des échantillons d'aérosols (voir l'encadré, page 17). Toutes les autres méthodes rivales impliquent un long processus de dissolution des filtres et ne s'appliquent généralement qu'à quelques éléments, sinon à un seul, à l'exception de la spectrométrie de masse à couplage inductif qui est aussi une méthode liée au nucléaire. Certains de ces éléments, tel le plomb (Pb), sont d'un intérêt immédiat en raison de leurs effets sur la santé. Toutefois, la plupart

**Contribution des Laboratoires de l'AIEA de Seibersdorf**

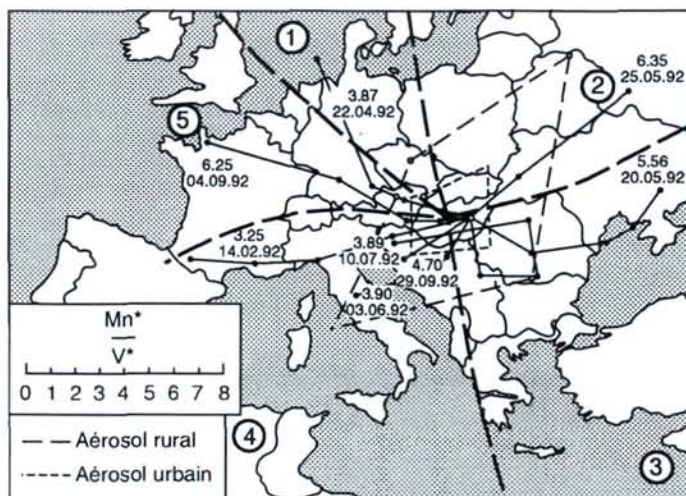
Les Laboratoires de Seibersdorf participent aux programmes sur la pollution atmosphérique en évaluant les procédures, en particulier le prélèvement des échantillons, ainsi que la préparation, l'analyse et le traitement des données. Le prélèvement d'aérosols à l'aide de l'échantillonneur «Gent» se fait en un point d'un quartier résidentiel de Vienne ainsi que sur le site de Seibersdorf, zone rurale jugée représentative. Les problèmes éventuels du prélèvement et de la préparation des échantillons, ainsi que l'applicabilité des diverses méthodes d'analyse et l'utilité de l'échantillonneur à volume relativement restreint dans les pays en développement ont été étudiés. Vu la faible masse des échantillons d'aérosols prélevés avec les appareils utilisés pour les PRC, il faut appliquer des méthodes d'analyse extrêmement sensibles. La tactique à plusieurs méthodes adoptée à Seibersdorf a fourni non seulement des résultats pour de nombreux éléments, mais aussi, pour plusieurs d'entre eux, des résultats doubles de deux méthodes différentes confirmant la fiabilité des données. Malgré le nombre restreint des échantillons prélevés, un «instantané» limité a été obtenu pour la teneur en éléments traces des aérosols prélevés à Vienne et à Seibersdorf. La détermination de la teneur «à blanc» du «substrat» ou du filtre en éléments traces a été jugée indispensable dans le cas d'échantillons prélevés dans des secteurs éloignés (par exemple, en espace rural), car les concentrations de ces éléments sont souvent égales, sinon inférieures, à ce seuil. En dépit des difficultés inhérentes au prélèvement et à l'étude des échantillons, des analyses faites avec beaucoup de soin donnent de nombreuses indications sur la teneur en éléments traces des fractions inhalables des aérosols et sur les sources de ces derniers, tant naturelles qu'anthropiques.

**Particules en suspension dans l'air**



Ce diagramme montre la répartition granulométrique, les modes de formation et leurs sources massiques, ainsi que les mécanismes d'extraction des particules en suspension dans l'air.

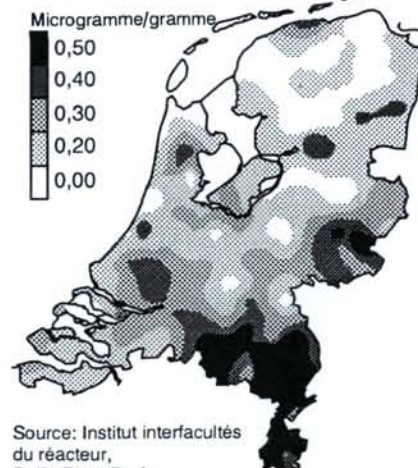
### Aires des vents porteurs d'aérosols urbains et ruraux, dans la région de Debrecen (Hongrie)



Cette figure assez compliquée montre essentiellement que les composants de la pollution atmosphérique à l'étude ont deux origines principales: Donets'k, Moscou, et région de l'Oural de la Communauté d'Etats indépendants; et nord de l'Italie et nord-ouest des Balkans. Certains phénomènes particuliers de pollution ont été précisés quant à leurs sources et à leurs dates.

### Contribution des fonderies de zinc à la pollution atmosphérique par le cadmium, aux Pays-Bas

(calculée d'après l'analyse d'échantillons de mousse)



Source: Institut interfacultés du réacteur, Delft (Pays-Bas).

### Distribution de la pollution atmosphérique (particules de 2,5 microns) d'une ville de la Nouvelle-Galles du Sud (Australie)

Sources	Apports en pourcentage		
	Hiver juillet 1994	Été décembre 1994	Moyenne pour 1994
Véhicules à moteur	68 ± 7	19 ± 5	54 ± 21
Fumées	18 ± 7	—	8 ± 12
Sol	—	2,7 ± 0,9	5 ± 4
Embruns maritimes	3,5 ± 0,9	5,4 ± 0,8	4 ± 2
Industrie	11 ± 2,6	73 ± 7	35 ± 21
Masse totale	30 ± 2 µg/m <sup>3</sup>	9,5 ± 0,6 µg/m <sup>3</sup>	14 ± 8 µg/m <sup>3</sup>

d'entre eux sont étudiés parce qu'ils peuvent être des indicateurs de diverses sources de pollution.

**Définition et composition des sources.** Les sources de pollution se caractérisent par différents mélanges d'éléments dans diverses proportions. Ci-après la composition de six sources de particules fines signalées par le participant australien au programme de recherche de l'AIEA:

- Véhicules à moteur: H, Na, Al, Si, S, Cl, Fe, Zn, Br, Pb, C élémentaire
- Combustion du charbon: H, Na, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe, C élémentaire
- Fumées: H, Cl, K, Ca, C élémentaire
- Sol: Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe
- Embruns maritimes: Na, S, Cl, K, Ca
- Industrie: H, P, S, V, Cr, Cu, Pb, C élémentaire.

Si plusieurs éléments caractéristiques de chacune de ces sources sont dosés dans une série d'échantillons, les méthodes statistiques aident à évaluer en pourcentage l'apport de la source qui leur est imputable (voir le tableau). Cette information est extrêmement utile aux services écologiques, car elle leur permet de déterminer d'où provient la pollution en précisant la contribution des diverses sources.

Une autre méthode sert à définir les sources de pollution: les teneurs en éléments traces des échantillons sont combinées avec les données météorologiques, notamment la direction des vents et les mouvements récents des masses d'air (voir la figure concernant la Hongrie, page précédente).

**Surveillance biologique.** Les méthodes analytiques et statistiques utilisées pour les échantillons d'aérosols s'appliquent à d'autres indicateurs de la pollution atmosphérique. Au cours des dernières années, on s'est beaucoup intéressé à divers types de bio-indicateurs de la pollution atmosphérique, tels que les mousses, les lichens et l'écorce des arbres. Il faut simplement veiller à choisir un indicateur qui se nourrit à partir de l'air et non du sol ou autre matrice sur laquelle il pousse.

Ces bio-indicateurs présentent deux grands avantages: 1) les échantillons sont obtenus pour ainsi dire gratuitement, puisqu'il n'y a pas lieu de mettre

en place des échantillonneurs onéreux qui exigent une alimentation électrique et de fréquentes interventions de contrôle et de maintenance; 2) la matière à échantillonner est déjà sur place, couvrant de vastes superficies et même tout un pays.

De cette façon, une information étonnamment détaillée est acquise sur la répartition géographique des polluants atmosphériques, en ce qui concerne non seulement les concentrations de polluants déterminés, mais aussi, par identification statistique, les sources de la pollution (*voir, page précédente, le cas des Pays-Bas*). Plusieurs participants aux PRC de l'Agence expérimentent cette technique. L'AIEA est bien préparée pour assister à la suite des travaux dans ce domaine, car elle a récemment certifié une matière de référence pour analyses — un lichen — avec l'aide de 42 chercheurs de 26 pays.

### Orientation future des travaux

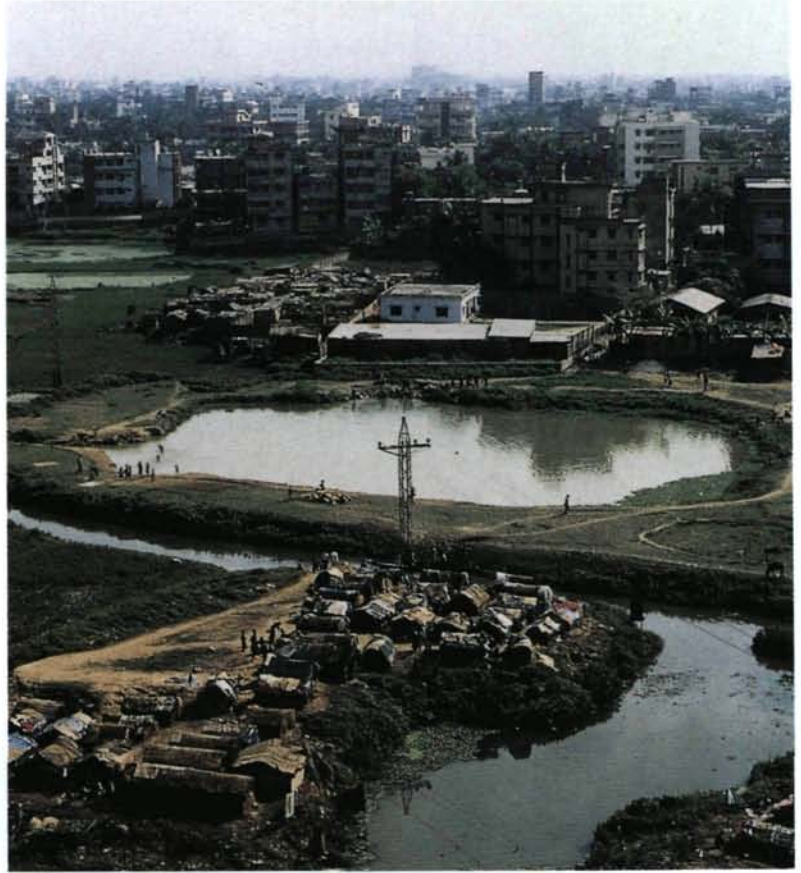
Le PRC mondial de l'Agence sur la pollution atmosphérique doit se terminer en 1997 et le programme régional pour l'Asie et le Pacifique en 1999. L'information obtenue constituera une base de données sans précédent sur les niveaux et les sources de types déterminés de pollution atmosphérique dans les grandes villes de pays en développement.

Les particules analysées sont considérées comme intéressant directement la santé humaine. La base de données de l'Agence servira donc à étudier les corrélations possibles entre la pollution atmosphérique et l'incidence des affections cardio-pulmonaires dans les villes et les régions en question. Cette information n'a encore jamais été communiquée en ce qui concerne la plupart des pays. Comme les chercheurs participants utilisent le même genre d'échantillonneurs et appliquent des procédures analogues de contrôle de la qualité des analyses, des résultats d'un haut niveau de confiance permettront de faire des comparaisons valables entre différentes villes et différents pays.

De nouvelles normes de qualité de l'air sont à l'étude aux Etats-Unis et devraient donner des indications sur les particules de 10 microns et de 2,5 microns. Le programme de l'AIEA offre déjà une information de ce genre.

Certains travaux de l'Agence sont secondés dans la région Asie et Pacifique au titre du projet AIEA/RCA/PNUD sur l'emploi des isotopes et des rayonnements pour perfectionner la technologie et faciliter un développement écologiquement durable. On étudie avec le PNUD la prorogation éventuelle de ces travaux pendant la période 1997-1999. Si elle est décidée, les études sur la pollution demeureront un élément principal de ce projet.

En Amérique latine également, on espère être en mesure, dans le cadre du programme régional ARCAL, d'encourager l'emploi de techniques nucléaires et apparentées pour surveiller et étudier



la pollution atmosphérique, de préférence à l'aide de bio-indicateurs.

Dans toutes ces activités, les techniques nucléaires et apparentées se sont avérées capables de donner de précieuses indications sur les niveaux et les sources de la pollution atmosphérique. Cette information est non seulement d'une utilité immédiate en elle-même, mais aussi pratiquement impossible à obtenir par toute autre méthode d'analyse non destructive instrumentale.

**Aspect d'une ville du Bangladesh, un des pays qui participent à la recherche sur la pollution atmosphérique assistée par l'AIEA.**