

# Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

E. Grandjean

Institut d'hygiène et de physiologie du travail de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich

## 1. Toxicologie des polluants atmosphériques

La combustion d'énergie technique constitue la source principale de la pollution atmosphérique. Elle donne naissance à un nombre considérable de substances qui sont en partie étrangères à notre environnement ou même toxiques pour la vie animale et végétale.

Les substances considérées aujourd'hui comme les plus nocives à la santé de l'homme sont rassemblées au *tableau 1*. On peut tirer les conclusions suivantes:

- Les *irritants* - substances qui portent atteinte aux muqueuses des yeux, des voies respiratoires et des alvéoles pulmonaires eux-mêmes - proviennent de chacune des trois sources de combustion.
- Le *monoxyde de carbone* et le *plomb*, qui pénètrent dans le sang et se répartissent dans l'organisme tout entier, proviennent essentiellement du trafic routier.
- Les *hydrocarbures polyaromatiques*, parmi lesquels se trouve le 3,4-benzopyrène, sont en partie considérés comme cancérogènes; ils proviennent de chacune des trois sources et constituent un produit accompagnant toute combustion d'énergie d'origine fossile.

Un autre produit accompagnant toute combustion est le dioxyde de carbone ou acide carbonique. Les concentrations atteintes aujourd'hui ne permettent certainement pas de le considérer comme un polluant toxique. Notons, cependant, que le taux d'acide carbonique atmosphérique autour du globe terrestre augmente de manière continue à raison de 0,7 ppm par an. Certains experts en physique atmosphérique craignent que cette augmentation entraînera un changement de la température terrestre, parce qu'elle modifie l'absorption de la radiation solaire et terrestre.

Le *tableau 1* ne mentionne pas certains polluants qui sont spécifiques à certaines industries ou installations particulières, telles que les usines d'incinération d'ordures ménagères. Notons parmi ces polluants:

- *l'acide chlorhydrique*, un irritant puissant prove-

**La pollution atmosphérique due à la combustion d'énergie technique comprend un certain nombre de substances nocives qui s'attaquent surtout aux organes respiratoires. L'épidémiologie nous apprend qu'elle influence aussi bien la morbidité que la mortalité de l'homme.**

nant de la combustion du chlorure de polyvinyle des ordures ménagères;

- *le fluor*, un irritant et agent nocif pour la structure osseuse; il provient des industries de l'aluminium et des usines d'incinérations d'ordures;
- *le mercure*, un agent toxique pour le système nerveux que l'on rencontre dans les émissions de l'agrochimie et dans l'agriculture. Ce polluant suit le circuit de l'eau et se dépose dans les lacs ou la mer. En présence de bactéries anaérobiques, il se forme un composé méthylique de mercure, un produit beaucoup plus toxique que le mercure lui-même. Par la consommation des poissons pêchés dans ces eaux, de graves intoxications peuvent se produire chez l'homme.

Ces polluants particuliers à certaines industries n'ont pas un caractère global concernant toutes les populations des pays industrialisés; ils peuvent, cependant, jouer un rôle important dans certaines régions limitées.

## 2. Nature physique des polluants

Les polluants nocifs cités au *tableau 1* font partie de la phase gazeuse ou de la phase particulaire de l'air ambiant, c'est-à-dire qu'ils peuvent être présents sous forme de gaz ou de vapeurs ou sous forme de poussières ou de brouillards.

Les gaz purs, tels que le monoxyde de carbone, diffusent directement dans le sang. Parmi les poussières, on distingue entre poussières en suspension (jusqu'à environ 20 µm) et celles qui sédimentent. Les poussières en suspension contiennent un nombre considérable de substances provenant de l'usure de la terre et de la végétation. La plus grande partie est en soi inoffensive ou sans importance toxicologique. Cependant, avec l'augmentation des émissions de polluants nocifs, les poussières acquièrent aussi des propriétés menaçant la santé de l'homme: nous savons qu'un grand nombre de polluants sont adsorbés aux particules (ou gouttelettes) et, de ce fait, transportés dans les voies respiratoires. Les particules fonctionnent dans ces conditions de véhicules des polluants toxiques. Ceci est par exemple le cas pour le plomb, les hydrocarbures polyaromatiques et pour la plupart des irritants. Ces derniers - anhydride sulfureux, oxydes d'azote et aldéhydes - sont par conséquent présents dans l'air ambiant sous forme de vapeurs et sous forme adsorbée aux particules ou gouttelettes.

Tableau 1  
Propriétés toxicologiques des polluants les plus répandus

Sources	Substances	Propriétés toxicologiques
Chauffage et industries	Anhydride sulfureux (SO <sub>2</sub> )	irritant
	Oxydes d'azote (NOx)	irritants
	Aldéhydes	irritants
	Hydrocarbures	irritants
	Hydrocarbures polyaromatiques	cancérogènes
Gaz d'échappement	Monoxyde de carbone (CO)	asphyxiant, dépressif
	Plomb (Pb)	atteinte à l'hématopoïèse et au système nerveux

**3. Etudes des effets de la pollution atmosphérique sur la santé**

Le premier événement qui a montré toute la gravité des effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme se produisit à Londres en hiver 1952. Pendant environ 7 jours, une inversion provoqua une forte augmentation de la pollution atmosphérique. Avec un retard de quelques jours, la mortalité de la population de Londres marqua une évolution semblable: elle s'éleva de 250 à plus de 800 décès par jour.

Une étude analogue a été réalisée entre 1960 et 1964 à New York par Glasser et Greenburg [5]. Le résultat le plus intéressant est la relation entre la mortalité journalière et le taux d'anhydride sulfureux dans l'air ambiant (voir Figure 1).

Les auteurs calculèrent la moyenne de la mortalité journalière pendant 5 ans ainsi que les déviations du nombre de décès par jour par rapport à cette moyenne. Lorsque le taux d'anhydride sulfureux dépassait 0,2 ppm<sup>1</sup>, la mortalité s'accroissait rapidement. En comparant la mortalité de tous les jours avec les taux d'anhydride sulfureux au-dessous de 0,2 ppm avec ceux de 0,4 ppm et plus, ils constatèrent une différence significative de 15 décès par jour.

Notons ici que la Commission fédérale pour l'hygiène de l'air a proposé, il y a quelques années, une

limite tolérable pour l'anhydride sulfureux de 0,2 ppm. Nous estimons aujourd'hui que cette limite est inacceptable, puisque c'est à ces concentrations-là que la mortalité est influencée par l'anhydride sulfureux de l'air. Nous sommes d'avis que la limite de 0,03 ppm proposée par les autorités américaines est raisonnable et bien fondée par les recherches épidémiologiques; elle tient compte d'une certaine marge entre les effets sur la santé et une qualité d'air que l'on peut considérer inoffensive.

Citons deux autres importantes études épidémiologiques sur les effets de la pollution sur la santé:

La première fut entreprise par Winkelstein et ses collaborateurs [9] de 1961 à 1963 dans l'agglomération de Buffalo (USA).

La pollution atmosphérique fut mesurée par 21 stations d'analyse réparties dans toute l'agglomération. Les auteurs purent établir 4 secteurs de 4 degrés différents de pollution par les poussières en suspension. Dans chaque secteur, la population étudiée fut groupée en 5 classes socio-économiques. Les résultats les plus importants peuvent se résumer de la manière suivante:

- La mortalité due à toutes les maladies augmenta en fonction du degré de pollution atmosphérique; cet accroissement était indépendant des facteurs socio-économiques.
- La mortalité due aux maladies respiratoires augmenta de manière encore plus accusée en fonction de la pollution atmosphérique (voir tableau 2).
- La mortalité due aux cancers de l'estomac augmenta aussi bien chez l'homme que chez la femme en fonction de la pollution atmosphérique. Ce phénomène restait également évident en tenant compte des facteurs socio-économiques.

Par contre, les auteurs n'observèrent pas d'influence de la pollution atmosphérique sur l'incidence du cancer du poumon.

Notons à ce sujet que les résultats et les avis des divers auteurs sont contradictoires: les uns obser-

Tableau 2  
Mortalité due aux maladies chroniques de la respiration (bronchite, asthme, emphysème), par an et par rapport à 100 000 personnes vivantes

Moyennes des hommes de 50 à 69 ans  
Selon Winkelstein et collaborateurs [9]

Status socio-économique	Taux de poussières en suspension				Moyenne
	< 80 µg/m <sup>3</sup>	80-100 µg/m <sup>3</sup>	100-135 µg/m <sup>3</sup>	> 135 µg/m <sup>3</sup>	
1 (bas)	-	-	126	188	133
2	64	75	96	105	84
3	-	65	51	103	64
4	35	47	114	-	52
5 (haut)	42	63	-	-	50
Total	44	62	94	129	

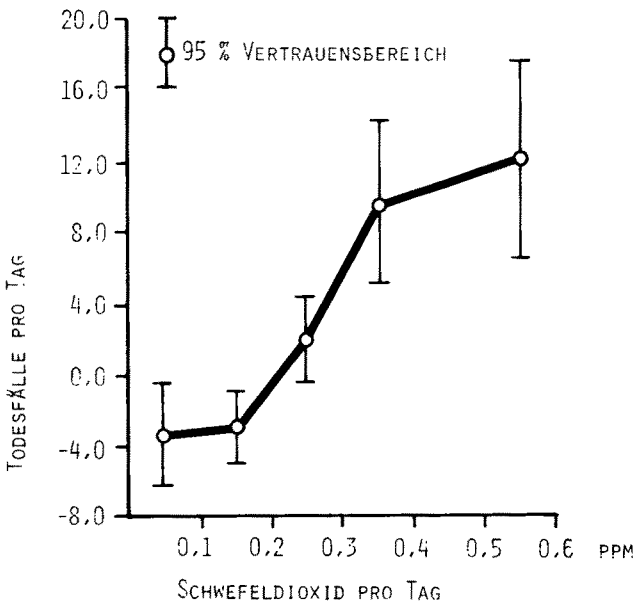


Figure 1  
Mortalité journalière (ordonnée) par rapport au taux d'anhydride sulfureux (abscisse)

Moyenne de la mortalité = 0,0.  
Selon Glasser et Grenburg [5].

<sup>1</sup> ppm = volume de gaz par rapport à 1 million de volumes d'air, ce qui correspond à 1 cm<sup>3</sup> de gaz par m<sup>3</sup> d'air.

vèrent une fréquence accrue du cancer pulmonaire chez les citadins (en tenant compte du facteur «cigarette»), ce qu'ils attribuèrent à la pollution atmosphérique. D'autres études — telles que celles de Buffalo [9] et de Nashville [10] — ne révélèrent pas d'influence à cet égard.

La deuxième grande étude fut réalisée par *Zeidberg* et ses collaborateurs [10] à Nashville, une ville de 375 000 habitants. La pollution atmosphérique fut mesurée par 123 stations d'analyse, tandis que 25 000 décès survenus de 1949 à 1960 furent mis en relation avec le degré de pollution de leur domicile, en tenant compte du status socio-économique, de l'âge, du sexe et de la race. En général, les auteurs obtinrent les mêmes résultats que ceux de Buffalo, c'est-à-dire qu'ils observèrent dans les secteurs de pollution atmosphérique intense:

- une mortalité accrue due aux maladies respiratoires (en particulier grippe, pneumonie et tuberculose)
- une fréquence accrue d'accès d'asthme
- une mortalité plus fréquente chez les nouveaux-nés et les enfants. (Les coefficients de corrélation étaient plus élevés pour l'anhydride sulfureux et les sulfates que pour le status socio-économique.)
- une mortalité accrue due au cancer, en particulier de l'estomac
- une mortalité accrue due aux maladies du cœur et de la circulation chez les femmes

Les auteurs procédèrent également à une enquête sur la morbidité (fréquence de maladies) parmi 9300 personnes. Ils constatèrent que le taux des maladies cardiaques et circulatoires était plus élevé dans les secteurs avec des concentrations d'anhydride sulfureux de plus de 0,01 ppm.

Les recherches épidémiologiques mentionnées jusqu'ici ont toujours porté sur des populations exposées à la pollution atmosphérique entière, c'est-à-dire à la somme de tous les polluants.

Cette situation rend difficile l'évaluation de la nocivité d'un polluant isolé. D'une manière générale, la meilleure coïncidence entre polluant et mortalité a été constatée pour les paramètres «anhydride sulfureux» et «poussières en suspension». Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agissait chaque fois d'une somme de polluants irritants ou autres et que l'anhydride sulfureux ou les poussières en suspension ne suffisent pas pour évaluer l'ensemble de la pollution atmosphérique.

Plusieurs autres recherches se sont portées sur les effets du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote et du plomb sur la santé. Les résultats peuvent se résumer de la manière suivante:

- Il semble qu'il existe un certain rapport entre le taux de monoxyde de carbone dans l'air ambiant et la fréquence de maladies du cœur, en particulier de l'infarctus: *Cohen* et ses collaborateurs [3] ont observé une telle coïncidence chez des

malades lors de leur hospitalisation. *Anderson* et collaborateurs [1] constatèrent chez des sujets souffrant d'angine de poitrine que les douleurs cardiaques apparaissaient plus rapidement dans une atmosphère contenant 50 ppm de CO (3% COHb) que dans l'air pur. Cette observation a été confirmée par *Aronow* et collaborateurs [2] chez des sujets exposés à l'air du trafic routier. *Epstein* et *Schüler* [4] concluent que la pollution de l'air par le monoxyde de carbone pourrait constituer un risque supplémentaire au tabagisme pour les personnes atteintes d'athérosclérose latente.

- Une étude réalisée à Chattanooga [7] a montré que les enfants vivant dans les secteurs avec des concentrations en dioxyde d'azote relativement élevées (0,06-0,11 ppm) présentaient des valeurs réduites dans des tests pulmonaires et une fréquence accrue de maladies respiratoires (bronchites aiguës).
- La grande majorité des experts estime que la pollution par le plomb n'a, jusqu'à ce jour, pas eu des effets nocifs que l'on pourrait considérer comme scientifiquement assurés. Ceci n'empêche pas d'affirmer que les immissions par cet agent très toxique sont indésirables.

#### 4. Effets de désagrément

La majorité de nos contemporains estime qu'un air pollué est malsain. Ils ont une aversion instinctive contre toute impureté de l'air et sont d'avis qu'ils ont un droit élémentaire de respirer un air pur. Il est fort probable que cette manière de penser et de réagir a été provoquée par la pollution croissante de l'air de nos villes. Chacun connaît par expérience les effets de cette pollution:

- irritations des yeux et des voies respiratoires
- mauvaises odeurs
- panaches de fumée et diminution de la visibilité par les brouillards
- réduction de la lumière et de la radiation solaire
- sédimentation de poussières

Ces perceptions subjectives donnent naissance à des sensations de désagrément. Citons deux études à ce sujet:

*Goldsmith* et *Breslow* [6] entreprirent une enquête parmi 2000 familles en Californie. Le pourcentage des sujets gênés était beaucoup plus élevé à Los Angeles — ville connue pour sa pollution atmosphérique sévère — qu'à San Francisco. En outre, la pollution atmosphérique était plus gênante dans l'habitat qu'au lieu de travail. Parmi ceux qui se déclaraient gênés, on nota aussi une fréquence élevée d'irritations des yeux et de troubles respiratoires. A Los Angeles, la pollution atmosphérique était la cause principale de mécontentement au sujet des conditions de vie.

Une enquête de *Smith* et collaborateurs [8] à

Nashville a porté sur 2835 ménages qui furent classés en 3 catégories de degrés différents de pollution. Les auteurs constatèrent des relations très nettes entre le pourcentage de personnes qui se déclaraient gênées et différents paramètres de pollution atmosphérique. Parmi ceux-ci, l'anhydride sulfureux, le taux de sulfates en hiver et le nombre de jours de pollution excessive semblaient accuser la meilleure coïncidence avec la fréquence des plaintes.

### Résumé

La pollution atmosphérique se compose d'une phase particulaire et d'une phase gazeuse. La phase particulaire, comprenant des poussières et des gouttelettes, fonctionne comme véhicule des polluants toxiques en les transportant dans les organes respiratoires.

Les irritants (anhydride sulfureux, oxydes d'azote, aldéhydes et hydrocarbures) sont les polluants les plus importants du point de vue de la santé; les muqueuses des yeux et des voies respiratoires en sont le lieu d'impact. D'autres substances pénètrent à l'intérieur de l'organisme où ils peuvent déployer des actions nocives sur divers organes (monoxyde de carbone), provoquer des cancers (hydrocarbures polyaromatiques) ou s'attaquer à des systèmes enzymatiques (plomb).

Les études épidémiologiques ont révélé que les populations exposées à des degrés élevés de pollution présentent une mortalité accrue qui est avant tout due aux maladies respiratoires. La pollution atmosphérique peut également provoquer des sensations de désagrément dues aux irritations des yeux et des voies respiratoires, aux mauvaises odeurs et à la diminution de la visibilité et de l'ensoleillement.

### Zusammenfassung

#### *Auswirkungen der Luftverunreinigung auf die Gesundheit*

Die Verunreinigungen der Luft setzen sich aus einer Partikel- und einer Gasphase zusammen. Die Partikelphase, die Staub und Aerosole umfasst, wirkt als Träger der Schadstoffe, so dass diese in die Atmungsorgane eindringen können.

Vom gesundheitlichen Gesichtspunkt aus sind die Reizstoffe (Schwefeldioxid, Stickoxide, Aldehyde und Kohlenwasserstoffe) die wichtigsten Luftverunreinigungen; sie wirken auf die Schleimhäute der Augen und der Atmungsorgane. Andere Stoffe dringen in den Organismus ein, wo sie schädliche Wirkungen auf verschiedene Organe entfalten (Kohlenmonoxid), Krebs erzeugen (polyaromatische Kohlenwasserstoffe) oder enzymatische Systeme angreifen (Blei).

Epidemiologische Studien haben gezeigt, dass Bevölkerungen, die hohen Graden der Luftverunreinigung ausgesetzt sind, eine erhöhte Sterblichkeit, vor allem infolge von Krankheiten der Atmungsorgane, aufweisen. Die Luftverunreinigung kann auch Gefühle der Belästigung auslösen, die durch Reizungen der Augen und Atmungsorgane, schlechte Gerüche sowie die Verminderung der Sicht und der Besonnung verursacht sind.

### Summary

#### *Effects of air pollution on health*

Air pollution is composed of a particulate phase and a gaseous phase. The particulate phase, consisting of dust and aerosols, is the vehicle of toxic pollutants, transporting them into the respiratory tract.

The irritants (sulphur dioxide, nitrogen oxides, aldehydes, and hydrocarbons) are the most important pollutants as regards health; the mucous membranes of the eyes and the respiratory tract are mostly affected. Other substances penetrate into the organism where they can develop actions harmful to various organs (carbon monoxide), generate cancer (polyaromatic hydrocarbons) or attack enzymatic systems (lead).

Epidemiologic studies have revealed that populations exposed to high degrees of air pollution show increased mortality, which is mainly due to illnesses of the respiratory tract. Atmospheric pollution can also cause sensations of unpleasantness due to irritations of the eyes and the respiratory tract, bad odours, and the impairment of visibility and sunlight.

### Bibliographie

- [1] Anderson E. W., Andelman R. J., Fortuin N. J. and Knelson J. H.: Effects of low level carbon monoxide exposure on onset and duration of angina pectoris. *Ann. int. Med.* 79, 46-50 (1973).
- [2] Aronow W. S., Harris C. N. and Isbell M. W.: Effect of freeway travel on angina pectoris. *Ann. int. Med.* 77, 669-676 (1972).
- [3] Cohen S. I., Deane M. and Goldsmith J. R.: Carbon monoxide and myocardial infarction. *Arch. env. Hlth.* 19, 510-517 (1969).
- [4] Epstein F. H. und Schüler G.: Umweltfaktoren und kardiovaskuläre Krankheiten. *Z. Soz. Präv. Med.* 20, 83-88 (1975).
- [5] Glaser M. and Greenburg L.: Air pollution mortality and weather, New York City 1960-1964. *Arch. env. Hlth.* 22, 334-343 (1971).
- [6] Goldsmith J. R. and Breslow L.: Epidemiological aspects of air pollution. *J. Air Poll. Contr. Ass.* 9, 129-132 (1959).
- [7] Shy S. M., Creason J. P., Pearlman M. E., McClain K. E., Bensen F. B. and Young M. M.: zitiert nach: National Air Quality Criteria Advisory Committee, Air quality criteria for nitrogen dioxide. Environmental Protection Agency, Air Pollution Control Publication AP-84, 1971.
- [8] Smith W. S., Schueneman J. J. and Zeidberg L. D.: Public reactions to air pollution in Nashville. *J. Air Poll. Contr. Ass.* 14, 418-423 (1964).
- [9] Winkelstein W., Kantor S., Davis E., Maneri C. S. and Mosher W. E.: The relationship of air pollution and economic status to total mortality and selected respiratory system mortality in man. *Arch. env. Hlth.* 14, 162-169 (1967); 16, 401-405 (1968); 18, 544-547 (1969).
- [10] Zeidberg L. D., Horton R. J. M. and Landau E.: The Nashville air pollution study. *Arch. env. Hlth.* 15, 214-224 (1967); 15, 225-235 (1967).

### Adresse de l'auteur

Prof. Dr. med. Etienne Grandjean, Institut d'hygiène et de physiologie du travail, Ecole polytechnique fédérale de Zurich, Clausiusstrasse 25, CH-8006 Zurich, Suisse.