

*Critères
d'hygiène de
l'environnement 8*

*Oxydes de soufre
et particules en
suspension*

*Résumé
d'orientation*

Publié par l'Organisation mondiale de la Santé
en liaison avec le
Programme des Nations Unies pour l'Environnement

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

Pour donner suite à un certain nombre de résolutions de l'Assemblée mondiale de la Santé, et compte tenu des recommandations de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain tenue à Stockholm en 1972 et de celles du Conseil d'administration du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), on a entrepris en 1973 un programme intégré de grande envergure consacré à l'évaluation des effets de la pollution de l'environnement sur la santé. Connu sous le nom de Programme OMS des critères d'hygiène de l'environnement, il est mis en œuvre avec l'appui du Fonds du PNUE pour l'environnement. En 1980, le Programme des critères d'hygiène de l'environnement a été incorporé dans un programme de plus grande ampleur, le Programme international sur la sécurité des substances chimiques (IPCS) que patronnent conjointement le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, l'Organisation internationale du Travail et l'Organisation mondiale de la Santé. Les travaux réalisés dans le cadre du programme ont abouti à la publication d'une série de documents sur les critères d'hygiène de l'environnement.

Chaque document de la série consiste en une mise au point scientifique approfondie sur des polluants ou des groupes de polluants particuliers de l'environnement. Il fournit toute une gamme de renseignements, depuis la nature des sources et la valeur des niveaux d'exposition jusqu'à un exposé détaillé des données disponibles au sujet des effets de ces polluants sur la santé humaine. Des projets rédactionnels sont préparés pour le compte de l'OMS par des experts ou des institutions nationales, puis soumis à l'examen approfondi, d'une part des représentants des quelque 25 Etats membres participant au Programme, d'autre part d'un ou de plusieurs groupes internationaux d'experts (*groupes de travail*). Un objectif important du programme consiste dans l'évaluation des données disponibles sur les rapports entre l'exposition à certains polluants environnementaux (ou à d'autres facteurs physiques et chimiques) et la santé humaine *en vue de fournir des directives garantissant la compatibilité entre les limites d'exposition fixées et la protection de la santé publique*.

Pour faciliter l'application de ces directives dans le cadre des programmes nationaux de protection de l'environnement, l'OMS a décidé de faire rédiger des «résumés d'orientation» où l'accent serait mis, parmi toutes les données présentées dans les documents *in extenso*, sur celles qui sont utiles aux spécialistes qui ont besoin de connaître les problèmes sanitaires en cause sans entrer dans le détail des aspects scientifiques.

Les résumés d'orientation reproduisent les directives d'exposition qui figurent dans les documents relatifs aux critères établis par les groupes de travail, ainsi que les principales données relatives aux effets sanitaires. On s'est efforcé d'éviter toute divergence par rapport aux données présentées dans les documents *in extenso*. Pour certains d'entre eux, particulièrement lorsque leur publication remonte à trois ou quatre ans, ce souci a conduit à l'exclusion des données nouvelles éventuellement publiées depuis la réunion des groupes de travail correspondants. Ces données seront prises en considération lorsque les documents relatifs aux critères et les résumés d'orientation seront revus et corrigés.

Les observations du lecteur au sujet des difficultés éventuelles rencontrées dans l'utilisation des données figurant dans les résumés d'orientation sont les bienvenus. Elles doivent être communiquées à l'adresse suivante:

Division de l'hygiène de l'environnement,
Organisation mondiale de la Santé,
1211 Genève 27,
Suisse

OXYDES DE SOUFRE ET PARTICULES EN SUSPENSION*

1. Introduction

En général, l'émission de dioxyde de soufre et de matières particulaires en suspension interviennent simultanément lors de l'utilisation de combustibles fossiles et l'on peut considérer qu'il s'agit des polluants atmosphériques les plus fréquents dans les régions industrielles. En général, on étudie les effets combinés sur la santé de ces deux catégories de polluants car on s'accorde à reconnaître que leur présence simultanée dans l'air s'accompagne d'un effet synergistique (effet de potentialisation). Et de fait, il n'a généralement pas été possible dans les études épidémiologiques d'identifier la part qui revient individuellement à chacun de ces polluants.

2. Propriétés

Dans les conditions naturelles, l'air renferme d'infimes quantités de dioxyde de soufre, de sulfure d'hydrogène et de sulfates sous forme de particules. L'activité volcanique, par exemple, se traduit par la libération dans l'atmosphère de composés soufrés gazeux. Du sulfure d'hydrogène est également produit par les bactéries terricoles et il s'en dégage des eaux superficielles insuffisamment oxygénées. La présence de matières particulaires en suspension peut aussi résulter des tempêtes de poussière, des incendies de forêt et de l'activité volcanique, et ces particules renferment parfois des pollens et des spores.

Si le dioxyde de soufre et les matières particulaires en suspension (MPS) associés aux activités humaines ou aux phénomènes naturels sont d'un volume comparable, les premiers se concentrent généralement dans les zones de densité démographique élevée et d'activité industrielle intense, tandis que les seconds sont largement répartis sur l'ensemble du globe et correspondent par conséquent à une concentration globale normalement faible. En 1965, par exemple, la pro-

* Résumé de *Oxydes de soufre et particules en suspension*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1979 (Critères d'hygiène de l'environnement N° 8), 123 pages.

duction globale d'origine humaine a été estimée à 146 millions de tonnes pour le dioxyde de soufre; sur ce total, 70% provenait de la combustion du charbon, 10% de la combustion du pétrole et des autres produits pétroliers et une bonne partie des 20% restants du raffinage du pétrole et de la fusion de métaux non ferreux.

Il se dégage également des matières particulaires lors de la combustion du charbon, mais les émissions de ces particules sont beaucoup moins importantes dans le cas de la combustion du pétrole et du gaz. La circulation routière est une source supplémentaire d'émission de particules sous forme de fumées noires, tandis que l'incinération des déchets domestiques et commerciaux représente, parallèlement à de nombreuses opérations industrielles, une source importante.

En général, les matières particulaires en suspension contiennent des substances fort variées, selon la nature de la source émettrice. Les particules individuelles peuvent être composées de substances chimiques différentes et présenter également des dimensions et des formes variées. Les effets exercés sur la santé de l'homme par les particules en suspension dans l'air dépendent dans une très large mesure de leur dimension, de même que la possibilité d'agir sur les émissions de particules associées aux activités humaines. En général, on parle de matières particulaires en suspension quand on a affaire à des particules d'un diamètre compris entre une valeur nettement inférieure à $0,1 \mu\text{m}$ et environ $5-10 \mu\text{m}$, mais il n'existe pas de limite bien nette qui permette de distinguer ces particules des particules plus grosses qui sédimentent rapidement au voisinage même de leur source (les «retombées»). Le terme «fumée» est utilisé dans les dosages de matières particulaires en suspension qui reposent sur leurs propriétés de noircir la surface où elles se déposent, tandis qu'on parle de «matières particulaires en suspension totales» quand le dosage est un dosage pondéral direct. Les deux termes ne sont donc pas interchangeables.

Une fois que du dioxyde de soufre et des MPS ont été libérés dans l'atmosphère à partir d'une cheminée, domestique ou industrielle, la proportion de ces deux catégories de polluants qui reste en suspension au voisinage de la source dépend dans une large mesure de la vitesse du vent et de la turbulence. Mais il existe d'autres facteurs qui jouent un rôle important dans la dispersion des polluants : la hauteur

de la cheminée, la vitesse de sortie des déchets gazeux et la topographie locale.

En fin de compte, le dioxyde de soufre se redépose sur le sol ou d'autres surfaces, soit tel quel, soit en même temps que les gouttes de pluie après avoir été transformé en d'autres composés soufrés. Une réaction spécialement importante à cet égard est la transformation photochimique en un produit beaucoup plus toxique, l'acide sulfurique. Cette réaction est catalysée par certains métaux normalement présents à l'état de traces dans l'atmosphère de la plupart des villes. Par ailleurs, les MPS sont progressivement éliminées de l'air par toute une série de mécanismes : impacts ou diffusion au contact des surfaces, entraînement par la pluie ou sédimentation. La vitesse d'élimination varie selon les caractéristiques physiques des particules.

3. Concentrations environnementales

La concentration du dioxyde de soufre et des MPS dans l'air extérieur des villes a autrefois fait l'objet de nombreuses mesures. En général, la teneur la plus élevée s'observe, pour ces deux catégories de polluants, dans les zones urbaines et industrialisées. Dans la plupart des grandes villes, il existe un réseau de sites de surveillance de la pollution atmosphérique qui permet de tracer une famille d'isoplèthes des concentrations (courbes d'iso-pollution). Les concentrations sont susceptibles de varier considérablement d'une ville à l'autre, mais elles sont en général de l'ordre de 100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,035-0,070 ppm)^a pour la concentration moyenne annuelle du dioxyde de soufre ; quant aux valeurs maximales quotidiennes, elles sont trois ou quatre fois plus élevées. Pour les fumées, les concentrations moyennes annuelles dans les régions urbaines vont de 30 à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec des maximums pour la moyenne journalière de l'ordre de 150 à 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Toutefois, il importe d'insister sur le fait que des variations importantes de concentration sont possibles même sur une durée de calcul de la moyenne aussi courte qu'une heure, voire une minute. Dans le cas du dioxyde de soufre et des MPS, les concentrations indiquées corres-

^a 1 μg = 1 microgramme = 1 millionième de gramme

1 ppm = 1 volume d'une substance déterminée dans 1 million de volumes d'une autre substance ou d'un mélange de substances — l'air dans le présent document.

pondent en général à des valeurs moyennes sur 24 heures (moyenne quotidienne).

L'importance de la pollution atmosphérique à l'intérieur des bâtiments est particulièrement sensible pour les jeunes et les personnes âgées. Mais, en général, la teneur de l'air en oxydes de soufre et en fumée est plus faible dans les bâtiments qu'à leurs abords. Cependant, la pollution intérieure suscite actuellement un regain d'intérêt par suite des problèmes que posent la réduction de la ventilation en vue d'économiser l'énergie et la pollution de l'air résultant du tabagisme et de la cuisine.

Dans l'industrie, l'exposition des travailleurs aux polluants atmosphériques est *a priori* beaucoup plus importante que pour l'ensemble de la collectivité. C'est ainsi que l'exposition au dioxyde de soufre peut être relativement élevée dans les usines où l'on fabrique ou utilise ce gaz, par exemple dans les papeteries, les fabriques d'acide sulfurique, les aciéries, les fonderies de métaux non ferreux et les raffineries de pétrole. Généralement, le risque d'exposition se limite à certaines zones de travail et il est intermittent. Dans un certain nombre de pays, la réglementation impose qu'une limite déterminée ne soit pas dépassée. Par exemple, en URSS, la concentration admissible *maximale* est de 10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,8 ppm) tandis qu'aux États-Unis d'Amérique la limite moyenne sur un poste de 8 h se situe à 13 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (5 ppm). Cette valeur représente environ le centuple de la concentration atmosphérique urbaine moyenne sur 24 heures. Les données concernant l'exposition aux MPS sont très limitées. On sait qu'il existe des risques associés à l'exposition à toute une série de poussières dans l'industrie, mais ces poussières ont des caractéristiques très différentes de celles des mélanges de matières en suspension dans l'air ambiant.

4. Effets de l'exposition

Le dioxyde de soufre est un gaz très soluble ; après inhalation, il se diffuse rapidement dans la circulation sanguine. Les MPS inhalées pénètrent profondément dans les poumons et elles se déposent à des endroits différents des voies respiratoires et en quantités variables selon leur dimension, leur forme et leur masse spécifique. La plupart des particules dont le diamètre dépasse environ 10 μg ne pénètrent

guère à l'intérieur de l'appareil respiratoire. Normalement, ces particules sont arrêtées par les cils vibratiles de la muqueuse nasale ou se déposent sur le revêtement des voies aériennes supérieures d'où elles sont évacuées et rejetées hors des poumons par l'ascenseur mucociliaire. Par conséquent, les effets les plus préoccupants sont associés aux petites particules, en particulier celles qui ont moins de 2-3 μm de diamètre. Les particules qui pénètrent jusqu'aux régions les plus profondes du poumon sont absorbées par des cellules détritivores qui peuvent les détruire, les séquestrer ou les transporter jusqu'au système lymphatique. Toutefois, ces défenses naturelles de l'organisme perdent de leur efficacité en cas de tabagisme ou d'infection respiratoire.

En dépit de ces mécanismes de protection naturelle, des effets biologiques prononcés peuvent résulter de la fixation d'oxydes de soufre ou de matières particulaires en suspension. On en a aujourd'hui la preuve après des études cliniques effectuées sur des volontaires, des études d'exposition dans l'industrie et dans la collectivité, et des travaux d'expérimentation animale.

Les études cliniques ont montré que le dioxyde de soufre peut, à lui seul, exercer de légers effets sur la fonction respiratoire des sujets bien portants exposés, dans des conditions contrôlées, pendant 30 minutes à une concentration de 2100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,75 ppm), alors qu'aucun effet n'apparaît à une concentration de 1100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,37 ppm). Les nébulisations d'acide sulfurique affectent la fonction respiratoire des sujets bien portants dès 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant une durée de 5 à 15 minutes. Chez tous les sujets, on a observé une irritation en présence d'une concentration de 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des expériences réalisées en URSS ont montré que l'inhalation de dioxyde de soufre à des concentrations trop faibles pour avoir des effets respiratoires peut en revanche provoquer des altérations au niveau sensoriel et affecter les réactions cérébrales. Ces conclusions sont en général confirmées par les observations effectuées sur les travailleurs de l'industrie mais l'interprétation de ces dernières est délicate car les sujets qui sont particulièrement sensibles ont tendance à rechercher un autre emploi.

L'exposition des collectivités au dioxyde de soufre et à la fumée a fait l'objet d'études extrêmement poussées dans le cadre de plusieurs

études épidémiologiques de grande ampleur. Les faits le plus clairement établis du point de vue de la mortalité consistent dans l'augmentation brutale du nombre de décès au cours d'«épisodes» de pollution intense (vallée de la Meuse, Belgique, 1934; Donora, Pennsylvanie, Etats-Unis d'Amérique, 1948; et Londres, Angleterre, 1952). Les plus touchés ont été les sujets qui souffraient déjà d'une affection cardiaque ou pulmonaire, ou des deux, et les personnes d'un certain âge. Cette démonstration spectaculaire d'effets immédiats associés à la pollution par le dioxyde de soufre et la fumée a conduit à une série prolongée d'études de la pollution atmosphérique dans plusieurs pays. Pour l'essentiel, ces études ont confirmé que la mortalité augmente dès que la concentration moyenne sur 24 heures de l'ensemble du dioxyde de soufre et de la fumée dépasse $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Des études ont été consacrées aux effets d'une exposition de courte durée sur des bronchiteux chroniques, avec tenue d'un registre quotidien. On a relevé une nette corrélation entre le niveau quotidien de pollution et l'exacerbation des manifestations morbides quand la concentration moyenne sur 24 h du dioxyde de soufre et de la fumée dépassait $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Des études ultérieures reposant sur l'emploi des mêmes techniques donnent à penser qu'une exposition simultanée au dioxyde de soufre et à la fumée à des concentrations respectivement inférieures à $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et à $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyennes sur 24 h) n'a pas d'effets à terme.

Les études consacrées aux effets à terme de l'exposition d'adultes à ces deux catégories de polluants ont été pour la plupart fondées sur la prévalence des symptômes respiratoires. D'après les résultats de ces travaux, il ressort que, en majorité, les sujets qui habitent une localité où la concentration du dioxyde de soufre et celle des MPS sont élevées (moyennes annuelles respectives de 125-200 et 150-225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont plus fréquemment atteints de symptômes respiratoires que les sujets habitant une localité où les teneurs correspondantes sont faibles (teneurs moyennes annuelles égales à 45-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement).

Les enfants ont également été inclus dans les études concernant la pollution atmosphérique sur une longue durée, car, à cet âge, le risque de tabagisme est moindre. On a observé une corrélation systématique entre la fréquence des infections respiratoires ou les atteintes

pulmonaires fonctionnelles et la présence dans l'air de dioxyde de soufre et de fumée à une concentration annuelle moyenne dépassant $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'effet subsiste une fois éliminée l'influence des variables socio-économiques mais il est plus ou moins masqué par les habitudes en matière de tabagisme quand on étend les études aux sujets de 15 à 19 ans.

On a incriminé la pollution atmosphérique par ces deux catégories de substances dans le cas du cancer pulmonaire. Il existe trois arguments à l'appui de cette hypothèse: un gradient urbain/rural pour cette maladie, la présence d'agents cancérigènes notoires (par exemple le benzo [a] pyrène) dans les MPS, et un lien chronologique entre l'augmentation de la fréquence des cancers pulmonaires et celle de la pollution atmosphérique. Toutefois, il semble, d'après les études effectuées sur des populations locales et des populations migrantes que, si la pollution atmosphérique peut être en cause, son influence est très faible par rapport à celle de la fumée de cigarette.

5. Evaluation des risques pour la santé

Dans l'évaluation des données relatives aux effets exercés sur la santé, on a tenu le plus grand compte des renseignements fournis par des épisodes anciens, et plus graves, de pollution atmosphérique. La conclusion est que l'on peut observer des effets à la suite d'une exposition d'une courte durée chez les sujets atteints d'une maladie pulmonaire quand la concentration moyenne sur 24 h dépasse environ $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aussi bien pour le dioxyde de soufre que pour la fumée. Mais le seuil d'apparition des effets est fort mal connu. Pour ce qui est des effets des expositions prolongées, on a estimé que, pour les deux catégories de substances, la concentration annuelle moyenne devait atteindre au minimum $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour que des effets puissent être mis en évidence. Rien de concluant n'a pu être établi au sujet des effets de l'ensemble MPS + dioxyde de soufre mais, pour ce qui est d'une exposition prolongée, on a fixé provisoirement à $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la concentration arithmétique annuelle moyenne au-delà de laquelle on risque d'observer des effets indésirables.

Il peut y avoir des relations entre les effets de l'exposition sur une courte durée et ceux de l'exposition sur une longue période. Par exemple, l'exposition répétée à des concentrations de l'ordre de la

valeur maximale sur 24 h peut, même si elle ne dure que peu de temps chaque fois, provoquer l'apparition progressive de symptômes respiratoires. Toutefois, en l'absence de données concluantes à ce sujet, il faut, pour l'instant, envisager séparément les deux catégories d'exposition.

Il semble que l'application aux chiffres qui viennent d'être indiqués d'un coefficient de sécurité égal à 2 doit permettre d'assurer la protection de la santé publique. En utilisant ce même coefficient lorsqu'on arrêtera des mesures préventives, on devrait également éliminer une grande partie du risque pour les groupes particulièrement sensibles ainsi que d'éventuels effets synergistiques d'autres types de polluants qui se trouveraient simultanément présents dans l'atmosphère. Pour refléter l'incertitude qui entoure ces estimations, on a de surcroît exprimé les chiffres sous forme d'un intervalle comportant une variation de 20% de part et d'autre de la valeur centrale. Compte tenu des observations qui précèdent et des propositions concernant l'application d'un coefficient de sécurité égal à 2 et d'une marge de 20%, on a établi le tableau ci-dessous :

Directives concernant les limites d'exposition compatibles avec la protection de la santé humaine

	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Dioxyde de soufre	Fumée
Moyenne sur 24 h	100-150	100-150
Moyenne arithmétique annuelle	40-60	40-60

Dans le cas des MPS, on a seulement indiqué, à titre provisoire, une concentration moyenne égale à $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En appliquant, comme dans le cas du dioxyde de soufre et de la fumée, un coefficient de sécurité égal à 2 et une marge de 20%, on aboutit à fixer comme directive une concentration comprise entre 60 et $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans le cas des MPS dosées à l'aide d'un échantillonneur à volume élevé, la directive concernant la concentration moyenne sur 24 h serait, de façon très approximative, de l'ordre de $150\text{-}230 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**Autres titres parus dans la série des
«Critères d'hygiène de l'environnement»**

1. Mercure
2. Polychlorobiphényles et Polychloroterphényles
3. Plomb
4. Oxydes d'azote
5. Nitrates, nitrites et composés N-nitroso
6. Principes et méthodes d'évaluation de la toxicité des produits chimiques. Partie I.
7. Oxydants photochimiques
8. Oxydes de soufre et particules en suspension
9. DDT et dérivés
10. Sulfure de carbone
11. Mycotoxines
12. Le Bruit
13. Monoxyde de carbone
14. Rayonnement ultraviolet
15. Etain et organostanniques
16. Fréquences radioélectriques et hyperfréquences
17. Manganèse
18. Arsenic
19. Sulfure d'hydrogène
20. Quelques dérivés du pétrole (*en préparation*)