



PACECOM095870



Parliamentary Assembly  
Assemblée parlementaire

Council of Europe / Conseil de l'Europe  
F-67075 Strasbourg cedex (France)  
Tél : +33/ 3 88 41 20 00  
Fax : +33 / 3 88 41 27 76  
Email : [pace@coe.fr](mailto:pace@coe.fr)  
<http://stars.coe.fr/>

12/06/98

AS/Science (1998) 7 révisé 2

## COMMISSION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE

# LES EMISSIONS DE PARTICULES FINES ET LA SANTE HUMAINE

### Projet de rapport

Rapporteur: M. Martti Tiuri, Finlande, GDE

### Résumé

D'après des travaux de recherche récents, les particules fines de moins de 2,5 millièmes de millimètres, presque invisibles, en suspension dans l'air présentent un risque considérable pour la santé. Elle pénètrent directement dans les poumons et provoquent des allergies ainsi que des maladies cardio-vasculaires et respiratoires. Elles constituent une cause de mortalité chez les enfants en bas âge et les adultes. Aux concentrations qui sont aujourd'hui couramment relevées dans les villes et les campagnes européennes, les particules fines sont responsables chaque année de centaines de milliers d'hospitalisations et de dizaines de milliers, voire de centaines de milliers de décès.

Les particules fines sont produites par la combustion du charbon, du pétrole, du gaz naturel, du bois et d'autres matériaux de la biomasse ainsi que par les moteurs à combustion interne, notamment les diesels. Leur durée de vie dans l'atmosphère va de quelques jours à plusieurs semaines et elles peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres par les courants aériens. La plupart des zones urbaines et des autres régions densément peuplées sont recouvertes par des nappes de pollution formées de particules fines, qui peuvent s'étendre sur des centaines de kilomètres et atteindre une épaisseur de 100 à 3000 mètres.

Vu la gravité de leurs effets sur la santé, il est indispensable de réduire les émissions de particules fines. A cette fin, on peut développer les centrales qui produisent moins de particules fines ou qui n'en produisent pas (centrales hydrauliques, nucléaires, solaires, éoliennes). La pollution par les particules fines dues à la circulation automobile régressera si l'on privilégie les voitures équipées de pots catalytiques et, en ville, les autobus fonctionnant au gaz. Les voitures électriques présentent des avantages.

Selon la Commission de l'Union européenne, les maladies et les décès causés par les particules fines coûtent à l'UE entre 5 et 51 milliards d'ECU par an. La Commission a présenté une proposition de directive visant à réduire la pollution par les particules fines. A l'heure actuelle, celle-ci n'est inférieure à la limite envisagée qu'en Europe du Nord. Les pays membres du Conseil de l'Europe doivent réfléchir aux moyens de réduire la pollution par les particules fines.

## I. AVANT-PROJET DE RECOMMANDATION

1. Les émissions de particules fines entraînent une pollution de l'air dangereuse pour la santé. Cette pollution est à l'origine de maladies cardio-vasculaires et respiratoires et représente une cause de mortalité chez les enfants en bas âge et les adultes. Il est probable que les particules fines sont responsables chaque année en Europe de centaines de milliers d'hospitalisations et de dizaines de milliers, voire de centaines de milliers de décès. Vu la gravité de leurs effets sur la santé, il est indispensable de réduire les émissions de particules fines.

2. La production d'énergie à partir de la combustion de charbon, de pétrole, de gaz naturel, de bois et de matériaux de la biomasse ainsi que les moteurs à combustion interne sont les principales sources de particules fines. Les méthodes et les techniques d'utilisation, de production et de transport de l'énergie doivent être améliorées de manière à limiter les émissions de particules fines.

3. Les particules fines pénètrent directement dans les poumons et les contaminent. Toutefois, on ignore encore quel est le lien entre ces particules et les maladies qu'elles provoquent. Il faut poursuivre les recherches scientifiques afin de comprendre leurs effets et de déterminer lesquelles sont les plus dangereuses.

4. L'Assemblée parlementaire recommande par conséquent au Comité des Ministres:

- a. de réviser son programme de travail dans le domaine de la santé en vue d'y inclure les questions pertinentes concernant les particules fines et la santé publique;
- b. d'engager les pays membres, l'Union européenne, l'Organisation mondiale de la santé et la Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies à:
  - i. admettre les derniers résultats de recherche et donc reconnaître que les particules fines (particules de diamètre inférieur à 2,5 millièmes de millimètre ou PM<sub>2,5</sub>) représentent une cause importante d'altération de la santé;
  - ii. étendre les mesures et le suivi des particules fines en vue de recueillir les informations voulues sur le niveau de la pollution qu'elles entraînent;
  - iii. favoriser la recherche sur l'émission, la formation, la concentration et la répartition des particules fines dans l'atmosphère;
  - iv. encourager les études sur les relations entre les doses d'exposition individuelle aux particules fines et les altérations de la santé;
  - v. développer la recherche sur les effets à court et à long terme de l'exposition aux particules fines sur la santé, en vue de mieux connaître les mécanismes en jeu ainsi que la nocivité relative des différents types de particules fines;
  - vi. appliquer le principe ALARA à la pollution par les particules fines, c'est-à-dire chercher à la réduire au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre;

- vii. soutenir la recherche-développement sur la combustion propre du charbon et les autres technologies de production d'énergie contribuant à réduire les émissions de particules fines;
- viii. favoriser le développement des sources d'énergie moins polluantes;
- ix. promouvoir l'exploitation de sources d'énergie n'entraînant pas d'émissions de particules fines, telles que l'énergie hydraulique, nucléaire, solaire et éolienne;
- x. encourager l'utilisation d'automobiles équipées de pots catalytiques et d'autobus urbains fonctionnant au gaz;
- xi. soutenir la recherche-développement sur les voitures électriques et autres véhicules permettant de réduire les émissions de particules fines, ainsi que l'utilisation de ces véhicules.

**II. EXPOSE DES MOTIFS**  
**par Martti Tiuri**

**TABLE DES MATIERES**

	n° par.
<b>I. Introduction</b> .....	1-6
<b>II. Aspects sanitaires des émissions de particules fines</b>	
a. Les particules fines et leur pénétration dans les poumons .....	7-16
b. Effets à court terme sur la santé.....	17-21
c. Effets à long terme sur la santé .....	22-29
<b>III. Emissions de particules fines : sources et concentrations</b>	
a. Sources de particules fines .....	30-38
b. Concentrations de particules fines.....	39-49
<b>IV. Réduction des émissions de particules fines</b>	
a. Réduction des émissions .....	50-55
b. Directives relatives à la pollution par les particules fines .....	56-65

\*\*\*\*\*

**I. INTRODUCTION**

1. On s'est rendu compte depuis quelques années que les particules fines, émises principalement lors des processus de combustion et en suspension dans l'air, présentaient un risque considérable pour la santé. D'après les recherches effectuées, les particules fines seraient responsables chaque année en Europe de centaines de milliers de cas de maladie et d'hospitalisations ainsi que de dizaines de milliers, peut-être même de centaines de milliers de décès. Ces particules en suspension provoquent des allergies, de l'asthme, des affections cardio-vasculaires et respiratoires, voire augmentent l'incidence des cancers.

2. D'après les études les plus récentes, les particules de diamètre inférieur à 2,5 millièmes de millimètre (PM<sub>2,5</sub>, "particulate matter" 2,5) sont particulièrement dangereuses. En effet, lorsqu'elles sont inhalées, elles pénètrent jusqu'aux alvéoles pulmonaires (cellules des poumons remplies d'air), tandis que les particules de plus grande taille sont piégées dans le nez et la gorge et présentent par conséquent moins de risques.

3. Les particules PM<sub>2,5</sub> sont produites par les centrales électriques, les moteurs à combustion interne et, d'une manière générale, les matières en combustion. Elles comprennent des particules solides de suie ou de carbone rejetées dans l'atmosphère lors de la combustion, sur lesquelles se sont fixés divers composés toxiques. D'autres particules fines sont créées dans l'atmosphère par la conversion des émissions d'azote et de soufre en particules acides

(nitrates et sulfates). Elles peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres par les courants atmosphériques et former des nappes homogènes de pollution de grande superficie. Dans les zones urbaines, les émissions dues à la circulation automobile accroissent localement leur concentration.

4. Des études épidémiologiques montrent qu'une concentration temporairement élevée de particules fines – lors de pics de pollution d'une durée d'un ou deux jours - entraîne un accroissement de la morbidité, des hospitalisations et des décès directement proportionnel à l'augmentation du niveau de pollution. Les études les plus récentes font apparaître qu'une exposition de longue durée aux particules fines provoque un accroissement de la mortalité directement proportionnel à leur concentration. Les teneurs couramment enregistrées de nos jours augmentent la mortalité de plusieurs points de pourcentage.

5. Les effets nocifs des particules fines sur la santé sont si importants que des mesures de lutte s'avèrent indispensables. Des normes européennes ont déjà été définies pour la quantité totale de particules en suspension (TSP) et des normes relatives aux particules PM10 (c'est-à-dire de diamètre inférieur à 10 millièmes de millimètre) sont actuellement à l'examen. Or la majeure partie des particules totales et peut-être la moitié des particules PM10 proviennent du sol et ne sont pas aussi dangereuses que les PM2,5. Il est maintenant temps d'entreprendre un suivi des particules PM2,5 et d'élaborer des normes fixant les concentrations maximales admissibles.

6. Le rapporteur tient à exprimer sa plus vive gratitude à M. Matti Jantunen, de l'Institut national de la santé publique, Service d'hygiène de l'environnement, Kuopio, Finlande, pour sa contribution à la rédaction de la section II du présent rapport consacrée aux aspects sanitaires des émissions de particules fines.

## **II. ASPECTS SANITAIRES DES EMISSIONS DE PARTICULES FINES**

### **a. Les particules fines et leur pénétration dans les poumons**

7. Les particules fines en suspension dans l'air suscitent aujourd'hui un intérêt considérable dans le contexte de l'évaluation des risques sanitaires environnementaux. Des études récentes ont fait apparaître une relation entre les différences de concentration de particules dans l'air extérieur de nombreuses villes d'Europe et d'Amérique du Nord et des différences de mortalité et de morbidité d'une ampleur inattendue. L'augmentation de la mortalité semble due à des doses extrêmement faibles et résulter davantage d'affections cardio-vasculaires que de maladies respiratoires ou de cancers. Les effets observés n'ont pas encore reçu d'explication sur le plan médical.

8. Les termes utilisés pour décrire la pollution de l'air par les particules sont TSP ("total suspended particles"), qui représente la quantité totale de particules en suspension; PM10 et PM2,5 qui désignent les particules de diamètre inférieur respectivement à 10 et 2,5 millièmes de millimètre. Les PM2,5 sont appelées particules fines. Leur concentration est mesurée en microgrammes par mètre cube ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

9. La plupart des PM2,5 sont issues des processus de combustion (voir section III.a, Sources de particules fines) et leur diamètre est inférieur à 1 millième de millimètre. Les PM10 comportent deux fractions: les particules fines (PM2,5) et les PM10 grossières. Les particules grossières, d'une taille comprise entre 3 et 10 millièmes de millimètre, proviennent

principalement du sol et de la poussière des routes. Leur masse est extrêmement variable. En général, la masse d'une PM<sub>2,5</sub> représente 0,4 à 0,7 fois celle d'une PM<sub>10</sub>.

10. Les profanes appellent les nuages de particules fumée, vapeur, brume ou poussière, tandis que les physiiciens parlent d'aérosols. On distingue à l'œil nu les nuages de particules fines en observant leur aspect au soleil. Les nuages de PM<sub>2,5</sub> diffusent la lumière vers l'avant et, par conséquent, ne sont visibles que pour un observateur placé face au soleil. Inversement, les particules grossières diffusent (reflètent) la lumière vers l'arrière et ne peuvent être vus que par un observateur tournant le dos au soleil.

11. La plupart des zones urbaines et des régions densément peuplées sont recouvertes par des nappes de pollution qui peuvent s'étendre sur des centaines de kilomètres de large et atteindre une épaisseur de 100 mètres à 3 kilomètres. Cette pollution, très difficile à voir lorsqu'on y est plongé, est bien visible depuis un avion ou le sommet d'une montagne.

12. La vitesse de redéposition dans l'air des particules fines (PM<sub>2,5</sub>) est très faible. Elles adhèrent à toute surface rencontrée. Leur durée de vie moyenne dans l'atmosphère est longue, de l'ordre de quelques jours à plusieurs semaines, et elles peuvent être transportées sur des milliers de kilomètres par les courants aériens. La teneur de l'air en PM<sub>2,5</sub> peut être relativement uniforme sur des superficies de plusieurs centaines de kilomètres carrés.

13. Les concentrations de TSP font depuis longtemps l'objet d'un suivi, mais les particules importantes sur le plan sanitaire sont les PM<sub>10</sub>, et plus particulièrement les PM<sub>2,5</sub>. Depuis dix ans, de nombreuses mesures des teneurs en PM<sub>10</sub> et, à un degré moindre, en PM<sub>2,5</sub> ont été effectuées aux Etats-Unis. En Europe, on n'a commencé à mesurer les concentrations de PM<sub>10</sub> que dans les années 90, et celles de PM<sub>2,5</sub> tout récemment. La concentration moyenne annuelle de PM<sub>2,5</sub> aux Etats-Unis et en Europe est généralement comprise entre 10 et 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

14. Des pics de pollution peuvent se produire dans des situations d'inversion atmosphérique. Ils résultent d'une accumulation de la pollution due à des sources locales en l'absence de vent. Durant un tel pic, qui peut durer de un à trois jours, la concentration moyenne journalière de PM<sub>2,5</sub> peut être de beaucoup supérieure à la moyenne annuelle.

15. La plupart des systèmes de ventilation laissent pénétrer les particules fines dans les bâtiments. En l'absence de sources intérieures, la teneur de l'air en particules fines dans les locaux reflète celle de l'air extérieur. La fumée de tabac, la cuisine et les chaudières à mazout non ventilées accroissent la teneur de l'air intérieur en particules fines. Des études de l'exposition individuelle aux PM révèlent qu'en moyenne la fumée de tabac multiplie par deux la concentration de particules par rapport à un local où l'on ne fume pas.

16. Les particules de diamètre supérieur à 10 millièmes de millimètre ne pénètrent pas dans les poumons. Par contre, les particules fines (PM<sub>2,5</sub>) atteignent les alvéoles et la moitié d'entre elles environ ne sont pas exhalées. Enfin, les particules de diamètre compris entre 2,5 et 10 millièmes de millimètre ont un comportement intermédiaire qui dépend beaucoup du type de respiration (par la bouche ou le nez) et de son intensité. Si elles sont insolubles, les particules fines ne sont éliminées que très lentement des tissus pulmonaires.

## **b. Effets à court terme sur la santé**

17. Les risques que les particules fines en suspension dans l'air font courir à la santé ont été mis en évidence dans plusieurs études sur les effets à court terme. Ces études font apparaître une forte corrélation entre les pics de pollution atmosphérique et des augmentations du nombre d'hospitalisations et de la mortalité journaliers.

18. Des études réalisées lors de tempêtes de poussière, caractérisées par une très forte augmentation passagère de la concentration de PM10, tendent à prouver que les effets de la poussière naturelle sur la santé sont beaucoup plus faibles que ceux des particules issues des processus de combustion. Les études les plus récentes montrent que les PM2,5 sont généralement un meilleur indicateur des effets sanitaires des particules que les PM10.

19. Les effets des pics de concentration de PM2,5 et de PM10 sur la santé ont été particulièrement étudiés aux Etats-Unis. Des études européennes (ex. APHEA) se sont intéressées aux particules PM10 et TSP. Les conclusions de ces différentes études sont d'une constance remarquable: elles mettent toutes en évidence une augmentation de la mortalité journalière, des symptômes d'asthme, de la morbidité et du nombre d'hospitalisations.

20. Toutes les données établissant un lien entre mortalité et niveau de pollution de l'air dans le présent rapport ont été corrigées en tenant compte d'autres facteurs influant sur la mortalité (conditions climatiques, saison, origine ethnique, âge, sexe, tabagisme, facteurs socio-économiques, etc.).

21. Le tableau I.1 présente les conclusions de l'Organisation mondiale de la santé (valeurs indicatives de l'OMS pour la qualité de l'air en Europe) sur les effets sanitaires des pics de pollution. Ces effets augmentent en proportion directe de la concentration. Des hausses de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de la teneur en PM2,5 peuvent se produire plusieurs fois par an, entraînant un accroissement de 15 % de la mortalité.

**Tableau I.1 Effets sanitaires à court terme des pics de concentration de particules fines** (Proposition de directive du Conseil présentée par la Commission des Communautés européennes - Directive COM(97)500 final; tableau 9).

Augmentation de la mortalité journalière lorsque la concentration de PM2,5 s'accroît de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1,5 %
---	-------

Augmentation de quelques indicateurs lorsque la concentration de PM10 s'accroît de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ :

mortalité journalière	0,7 %
symptômes liés à des troubles des voies respiratoires inférieures	3,5 %
hospitalisations (respir.)	0,84 %

## **c. Effets à long terme sur la santé**

22. Les seuls résultats disponibles sur les effets d'une exposition de longue durée aux particules fines proviennent d'études réalisées aux Etats-Unis (fig. II.1, Annexe I). Dans le

cadre d'une étude prospective de cohorte, on a analysé les taux de mortalité dans une population de 8 111 adultes vivant dans six villes des Etats-Unis, suivie sur une période de 14 à 16 ans (1974-1991). Entre la ville la plus polluée et la ville la moins polluée, la mortalité accusait une augmentation annuelle ajustée de 26 %. C'est avec la pollution de l'air par les particules fines (concentration moyenne annuelle comprise entre 11 et 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que l'augmentation de la mortalité était le plus nettement associée.

23. Dans une autre étude, les relations entre les données relatives à la pollution annuelle de l'air relevées en 1980 dans 51 agglomérations des Etats-Unis et les facteurs de risque individuels ont été analysées pour plus d'un demi-million d'adultes. Les décès survenus entre 1982 et 1989 ont été enregistrés. Entre les agglomérations les plus polluées et les moins polluées, l'augmentation annuelle ajustée de la mortalité (toutes causes confondues) a été de 17 %. Un lien a été mis en évidence entre la concentration moyenne annuelle de particules fines (comprise entre 9 et 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et la mortalité due à des affections cardio-pulmonaires et à des cancers du poumon, mais pas à d'autres causes.

24. Une étude sur les effets à long terme de la pollution menée dans 86 agglomérations des Etats-Unis a porté sur près de quatre millions de bébés nés entre 1989 et 1991. Le taux de mortalité enregistré chez les enfants âgés de 1 à 12 mois a été mis en parallèle avec la pollution moyenne par les PM10 durant les deux premiers mois de la vie de chaque bébé. Une augmentation ajustée de la mortalité de 10 % a été constatée entre le groupe le plus exposé et le groupe le moins exposé. Cette augmentation était associée à des affections d'origine respiratoire. Le nombre de cas de mort subite du nourrisson a augmenté de 24 %.

25. Les études épidémiologiques décrites ci-dessus ne permettent pas d'établir l'existence d'un niveau-seuil en dessous duquel l'exposition aux particules fines pourrait être considéré comme sans danger. Il est donc légitime de supposer que les effets préjudiciables à la santé commencent à se manifester dès que la concentration des particules fines est supérieure à zéro et qu'ils augmentent proportionnellement à leur concentration moyenne annuelle.

26. Dans le cas des rayonnements ionisants, on part généralement du principe que la mortalité augmente proportionnellement à la dose de rayonnement dès que celle-ci est supérieure à zéro (fig. II.2, annexe II). Cette hypothèse est admise bien que l'on n'ait pu détecter des effets qu'à des doses relativement importantes de rayonnement. Il est proposé d'appliquer une démarche similaire en ce qui concerne le surcroît de mortalité dû à l'exposition aux particules fines.

27. L'OMS estime, d'après les études américaines, qu'un accroissement de 10 microgrammes de la concentration annuelle de PM2,5 provoque une augmentation de 10 % de la mortalité (tableau 12, proposition de directive du Conseil de l'Union européenne). Comme les études de cohorte sur les effets à long terme ne portent pas sur toutes les classes d'âge, on adoptera une hypothèse prudente, à savoir qu'**un accroissement de 10 microgrammes de la concentration annuelle de particules fines entraîne une augmentation de 5 % de la mortalité annuelle** (fig. II.3, annexe II). On ne dispose pas d'informations concernant les effets de l'exposition aux particules naturelles.

28. Si l'on admet l'exactitude des données présentées à la figure I.3, il apparaît que, même dans la ville la moins polluée des Etats-Unis où la teneur en particules fines est de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ces particules (en partie d'origine naturelle) ont entraîné une augmentation de 5 % de la mortalité. Une dose annuelle de rayonnement de 10 millisieverts (mSv) est aussi dangereuse

qu'une exposition annuelle à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules fines. Or, s'il est très rare que les doses annuelles de rayonnement résultant des activités humaines atteignent 10 mSv, les concentrations de particules fines imputables à l'homme, en revanche, sont presque toujours supérieures à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

29. A titre d'exemple, la dose de rayonnement moyenne annuelle reçue par les 270 000 personnes vivant dans les zones strictement contrôlées d'Ukraine et du Bélarus où les retombées de Tchernobyl ont été les plus importantes est, selon l'OMS, de 1 mSv (dose biochronique 60 mSv). Cette dose accroît la mortalité de 0,5 %. En Finlande, la dose moyenne annuelle due aux rayonnements naturels est de 3,1 mSv et entraîne une augmentation de 1,5 % de la mortalité annuelle.

### III. EMISSIONS DE PARTICULES FINES: SOURCES ET CONCENTRATIONS

#### a. Sources de particules fines

30. La combustion de combustibles fossiles, de bois et d'autres matériaux de la biomasse rejette directement dans l'air un premier type de particules fines, à savoir de petites particules de carbone. Divers composés toxiques issus de la combustion, des métaux lourds et des minéraux sont fixés sur ces particules.

31. La combustion produit également un deuxième type de particules fines: des particules acides solides et liquides de sulfates et de nitrates. Ces particules se forment dans l'air à partir des émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote. Les particules de sulfates et de nitrates ont un diamètre de 0,1 à 1 millièrme de millimètre. Environ la moitié des émissions se transforme en particules fines, mais cette proportion est fonction du climat et de l'altitude où se situe la source émettrice.

32. Les émissions de particules fines par les centrales électriques varient selon le type de combustible utilisé et l'efficacité de la combustion et des filtres. La plus grande partie des particules présentes dans les gaz de fumées sont éliminées par les filtres, mais les particules fines solides sont pour la plupart rejetées dans l'atmosphère. L'importance des émissions soufrées dépend de la teneur en soufre du combustible. Les émissions azotées sont fonction de la température de combustion: plus la température est élevée, plus elles sont importantes.

33. On peut évaluer les émissions de particules fines des centrales modernes en partant de l'hypothèse que la moitié des émissions de dioxyde de soufre et la moitié des émissions d'oxydes d'azote sont transformées en particules fines. Les plus grandes quantités de particules fines proviennent des centrales au charbon et au pétrole. La production de 10 térawattheures (TWh) d'électricité (soit la production annuelle d'une grande centrale nucléaire) s'accompagne de l'émission de près de 10 000 tonnes de particules fines. Les centrales utilisant l'énergie de la biomasse en émettent deux fois moins et les centrales au gaz naturel deux tiers de moins (fig. III.1, annexe II).

34. Les petites centrales émettent une quantité relativement plus importante de particules fines car elles sont équipées de filtres moins efficaces. La combustion de bois à petite échelle (cheminées, poêles) peut produire un grand nombre de particules fines.

35. Les moteurs à combustion interne rejettent des particules fines directement par le pot d'échappement et indirectement par le biais des émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes

d'azote. Les véhicules équipés d'un convertisseur catalytique à trois voies produisent très peu de particules fines, les particules carbonées et les émissions azotées étant presque complètement éliminées. Les voitures sans pot catalytique émettent beaucoup plus de particules fines.

36. Les moteurs diesel produisent des particules fines en abondance. Les sources les plus importantes de ces particules dans les villes sont les autobus et les camions à moteur diesel. Un autobus à moteur diesel doit transporter environ 50 passagers pour que la quantité de particules fines émise par passager soit équivalente à celle d'une automobile équipée d'un pot catalytique (fig. III.2, annexe II).

37. Le travail des sols agricoles et l'érosion éolienne soulèvent des particules fines, en plus des particules grossières du sol. La poussière des routes en contient une petite proportion. L'élevage et l'épandage d'engrais sont à l'origine d'émissions ammoniacales qui sont transformées dans l'air en particules fines d'ammonium.

38. Une petite partie des sulfates et des nitrates sous forme de particules fines proviennent de l'émission naturelle de dioxyde de soufre par les volcans et de l'émission d'oxydes d'azote accompagnant notamment les éclairs. Les vagues marines soulèvent des particules de sel.

#### **b. Concentrations de particules fines**

39. Les particules fines émises par les centrales électriques ne se rapprochent de la surface du sol qu'à une distance de plusieurs kilomètres, variable selon la hauteur des cheminées. Les particules fines produites par les petites centrales apparaissent plus près de leur source. La combustion de bois dans des zones densément peuplées peut provoquer une concentration locale importante de particules fines.

40. Dans les zones rurales, les concentrations de particules fines résultent généralement du transport à grande distance des particules émises par les centrales. Dans les villes, s'y ajoutent dans une proportion extrêmement variable – plus d'un tiers en moyenne – les particules produites par la circulation automobile. Les particules fines de carbone rejetées par les pots d'échappement accroissent directement la concentration locale, tandis que la transformation des oxydes d'azote en nitrates particuliers est un processus moins immédiat. C'est pourquoi l'on trouve davantage de particules de nitrates lorsqu'on s'éloigne du point d'émission. Dans les régions densément peuplées comme les Pays-Bas, la concentration de particules fines est à peu près homogène sur l'ensemble du territoire.

41. La part de particules fines dues à la production d'énergie est d'autant plus grande que cette activité fait davantage appel aux combustibles fossiles et à la biomasse. En Suède et en France, cette part est plus faible que celle due à la circulation et la quantité totale de particules fines par habitant est moindre, car ces pays ont largement recours à l'énergie hydraulique et nucléaire (fig. III.3, annexe III).

42. Selon l'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis (EPA), sur un total de 55 millions de tonnes de particules fines émises en 1990 aux Etats-Unis, 58 % résultaient de la production d'énergie, 21 % de la circulation, 6 % des processus industriels et 15 % de l'agriculture, de l'érosion et de la poussière des routes.

43. Des conditions météorologiques particulières (inversions) dans les villes provoquent des pics de pollution d'une durée d'un ou deux jours. Ces pics sont généralement dus à l'accumulation des particules fines d'origine automobile sous la couche d'inversion. La concentration qui en résulte est de beaucoup supérieure à celle observée en situation normale. Les cheminées des centrales situées à proximité sont généralement plus élevées que la couche d'inversion et les particules fines qu'elles rejettent n'ont donc pas tendance à s'accumuler.

44. D'après ce qui a été observé, il existe une nette corrélation entre les concentrations de particules fines dans les bâtiments et les concentrations extérieures en l'absence d'autres sources intérieures comme la fumée de tabac. En revanche, la corrélation entre les concentrations intérieures et extérieures de PM10 n'est pas très étroite.

45. En Europe, on commence à peine à mesurer les particules PM2,5. Les particules PM10 ont été davantage étudiées, mais leur mesure ne donne pas d'informations directes sur les risques liés aux particules fines, car elles comprennent une proportion variable de particules grossières du sol. Aux Etats-Unis, la concentration de PM2,5 est en moyenne égale à 0,6 fois la concentration de PM10, mais il existe d'importantes variations.

46. Aux Etats-Unis, les concentrations de PM2,5 sont mesurées depuis les années 80. Dans les villes les moins polluées, la concentration moyenne annuelle est de 9 à 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dans les villes les plus polluées, cette concentration dépasse 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

47. En Europe, on estime, d'après les mesures de PM10, que les concentrations moyennes annuelles de PM2,5 sont comprises entre 10 et 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (fig. III.4, annexe III).

48. Le tableau II.1 présente les concentrations moyennes de PM10 mesurées dans plusieurs villes européennes et dans les zones rurales environnantes pendant deux à trois mois de l'hiver 1993-1994, ainsi que des estimations des concentrations de PM2,5 (étude PEACE). Les moyennes annuelles sont probablement un peu inférieures à ces chiffres. Dans les zones rurales, où les mesures ont généralement été effectuées à quelques dizaines de kilomètres des villes, les concentrations de PM10 sont en moyenne inférieures de 22 %.

49. Le dimanche, on a observé que les concentrations de PM10 baissaient en moyenne de 20 %, sans doute parce que la circulation est moins dense. Pendant les pics de pollution, les concentrations moyennes journalières sont de 1,5 à 2,5 fois supérieures aux valeurs moyennes relevées sur 2 à 3 mois. On peut supposer que les concentrations de PM2,5 varient dans les mêmes proportions.

**Tableau II.1 Concentrations moyennes de PM10 mesurées pendant deux à trois mois de l'hiver 1993-1994 et concentrations estimées de PM2,5 (hypothèse:  $\text{PM}_{2,5} = 0,6 \text{ PM}_{10}$ )**  
Réf.: étude PEACE

	PM10 - zone urbaine/rurale	PM2,5 - zone urbaine/rurale
Umeå	13/12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8/7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Malmö	23/16	14/10
Oslo	19/11	11/7
Kuopio	18/14	11/8
Amsterdam	42/45	25/27

Berlin	52/43	31/26
Hettstedt	42/31	25/19
Katowice	63/74	36/44
Cracovie	59/56	35/34
Prague	53/50	32/30
Teplice	75/33	45/20
Pise	62/70	38/42
Athènes	99/50	59/30

#### IV. REDUCTION DES EMISSIONS DE PARTICULES FINES

##### a. Réduction des émissions

50. Vu la gravité de leurs effets sur la santé, il est indispensable de diminuer la pollution par les particules fines. Pour réduire les émissions dues aux centrales électriques, on peut remplacer celles-ci par des centrales produisant moins de particules fines ou n'en produisant pas du tout (fig. III.1, annexe II).

51. Outre le choix du combustible, de nouvelles technologies permettent de diminuer la production de particules fines. Les émissions des centrales utilisant le charbon, le pétrole et la biomasse peuvent être considérablement réduites grâce à la gazéification (ex: technique de combustion propre du charbon), en cours de mise au point. La quantité de nitrates particulaires produites par ces centrales et par les centrales au gaz naturel pourrait être abaissée par l'installation de convertisseurs limitant les émissions d'oxydes d'azote. Toutefois, ces techniques augmenteraient le coût de l'énergie.

52. Les centrales hydrauliques et nucléaires ont l'avantage de ne pas produire de particules fines. En outre, elles n'émettent pas de dioxyde de carbone, qui est le principal gaz à effet de serre responsable du changement climatique. Les énergies éolienne et solaire évitent également la pollution par les particules fines, mais elles ne pourront pas se développer de manière substantielle avant des dizaines d'années (fig. IV.5, annexe III).

53. Un article scientifique paru récemment dans la revue médicale *Lancet* montrait que s'il était possible, d'ici à 2010, de réduire les émissions de dioxyde de carbone de 15 % en moyenne en utilisant moins de combustibles fossiles, la pollution par les particules fines reculerait dans une mesure telle que 8 millions de décès pourraient être évités entre 2000 et 2020.

54. En se fondant sur cet article, on peut considérer qu'à l'heure actuelle l'énergie nucléaire épargne 85 000 vies humaines par an si l'on suppose que les centrales nucléaires remplacent des centrales au charbon et 29 000 vies par an si elles se substituent à des centrales au gaz naturel.

55. La pollution par les particules fines dues à la circulation automobile régressera si l'on privilégie les voitures équipées de pots catalytiques et les autobus fonctionnant au gaz naturel. Les voitures électriques ne produisent pas de particules fines; la production d'électricité peut en revanche être source d'émissions, mais le bilan global reste positif, car les voitures électriques ont un meilleur rendement énergétique. D'autre part, les particules sont alors émises loin des centres urbains densément peuplés. Il existe déjà des camionnettes électriques pour les livraisons en ville et des voitures électriques commencent à être commercialisées.

## b. Directives relatives à la pollution par les particules fines

56. Comme cela a été indiqué plus haut, les principes suivis pour limiter les doses de rayonnement devraient également être appliqués à la pollution par les particules fines. D'après le principe ALARA, cette pollution doit être maintenue au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre.

57. Dans le cas des rayonnements, on cherche à faire en sorte que les doses annuelles reçues par le public soient très inférieures aux doses de rayonnement d'origine naturelle. Dans le cas des particules fines, cela est impossible puisque, même dans les villes les moins polluées, les particules fines résultant des activités humaines prédominent déjà.

58. Pour le moment, l'Europe n'a adopté que des normes relatives à la TSP (quantité totale de particules en suspension). Or la quantité totale de particules et la concentration de particules fines sont très faiblement corrélées. La majeure partie de la TSP est formée de grosses particules du sol et d'autres particules grossières.

59. Depuis 1987, il existe aux Etats-Unis une norme concernant les particules PM10. La concentration moyenne journalière et la concentration moyenne annuelle doivent être inférieures respectivement à  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'EPA a proposé récemment des normes relatives aux particules PM2,5, qui prévoient une limite supérieure de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la concentration moyenne journalière et de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la concentration moyenne annuelle.

60. En octobre 1997, la Commission de l'Union européenne a présenté une proposition de directive du Conseil portant sur la pollution par les PM10. La Commission est consciente que les PM2,5 sont un meilleur indicateur de l'exposition humaine que les PM10. Cependant, la plupart des études disponibles sur les effets sanitaires et les concentrations concernent la pollution par les PM10. La Commission a estimé, par conséquent, que des valeurs limites devraient être fixées pour les PM10. Les limites proposées sont présentées dans le tableau II.2.

**Tableau II.2 Proposition de directive relative à la pollution par les particules fines dans l'Union européenne**

	Période de calcul de la concentration moyenne	Valeur limite	Date
Etape 1	24 heures	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 (ne doit pas être dépassée plus de 25 fois par an)	1er janvier 2005
	année civile	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	1er janvier 2005
Etape 2	24 heures	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 (ne doit pas être dépassée plus de	1er janvier 2010

7 fois par an)

année civile

20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM10

1<sup>er</sup> janvier 2010

61. Ces limites seront instaurées en deux étapes. Au 1<sup>er</sup> janvier 2005, la limite supérieure pour la concentration moyenne journalière de PM10 sera fixée à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec un dépassement autorisé 25 jours par an. A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2010, cette limite ne pourra plus être dépassée que sept fois par an. La limite annuelle pour les PM10 sera fixée à  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au 1<sup>er</sup> janvier 2005 et à  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au 1<sup>er</sup> janvier 2010.

62. La limite proposée pour la concentration moyenne annuelle de PM10 en 2010 correspond approximativement à une concentration moyenne annuelle de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM2,5. A l'heure actuelle, on n'enregistre des valeurs inférieures à cette limite que dans les pays nordiques.

63. La Commission a procédé à une estimation des coûts et des avantages qui résulteraient de l'application de cette directive dans l'Union européenne. Les coûts seraient compris entre 250 millions et 1,5 milliard d'ECU par an et les bénéfices entre 25 et 260 milliards d'ECU par an. Si cette fourchette est très large, c'est essentiellement parce que l'on ne connaît pas précisément le rapport dose-effet en ce qui concerne la mortalité due à une exposition de longue durée.

64. D'après les résultats de recherche (section II), la concentration annuelle de particules PM2,5 est la valeur la plus représentative des effets sanitaires à long terme de la pollution de l'air. Les particules PM10 comprennent en proportion très variable des particules grossières de diamètre supérieur à 2,5 millièmes de millimètre, qui proviennent du sol et de la poussière des routes et dont les effets sur la santé sont probablement faibles. Les particules PM2,5, en revanche, ont essentiellement pour origine les processus de combustion et représentent un risque grave pour la santé. Il serait justifié d'élaborer une directive traitant spécifiquement de ces particules.

65. Si l'on applique le principe ALARA, il faudrait se fixer comme objectif une concentration moyenne annuelle de PM2,5 de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour recueillir des informations sur la situation actuelle de la pollution de l'air en Europe, il est indispensable de multiplier les mesures des concentrations de PM2,5 et d'étudier plus avant les effets à long terme des particules fines sur la santé.

\*\*\*\*\*

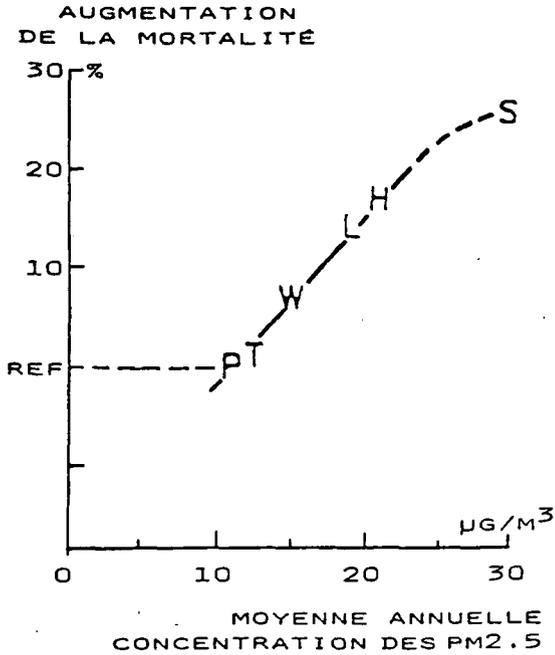
### Références

1. Richard Wilson et John Spengler (Editeurs): *Particles in our air*; Harvard University Press, 1996.
2. Gerard Hoek *et al.*: *Wintertime PM10 and black smoke concentrations across Europe: Results from the PEACE study*; *Atmospheric Environment* No 21 p. 3609, 1997.

3. Working Group on Public Health and Fossil-Fuel Combustion: Short-term improvements in public health from global-climate policies on fossil-fuel combustion: an interim report; The Lancet, 8 novembre 1997.

4. Proposition de directive du Conseil relative à des valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant; Commission de l'Union européenne, COM(97)500 final.

a

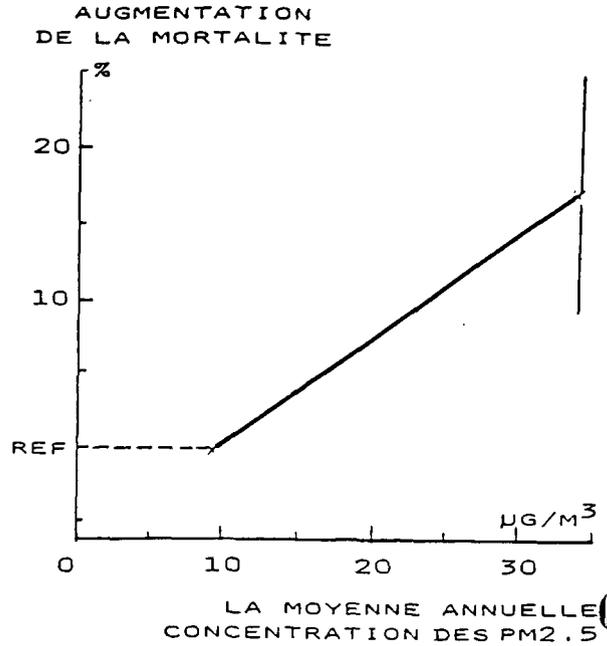


AUGMENTATION DE LA MORTALITE DUE AUX PARTICULES FINES PM2.5

Dockery et al The New England J. of Medicine, Dec 9 1993(six villes)

b

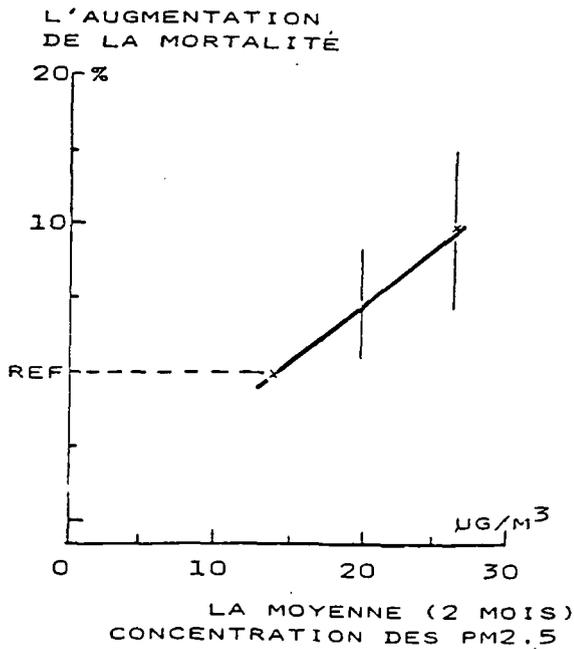
M Tiuri  
1998-01-07



AUGMENTATION DE LA MORTALITE DUE AUX PARTICULES FINES PM2.5

Pope et al Am J Respir Crit Care Med Vol 151 p 669 1995 (51 villes)

c



AUGMENTATION DE LA MORTALITE DES ENFANTS (1-12 MOIS) DUE AUX PARTICULES FINES (PM2.5)

Woodruff et al Environmental Health Perspect. Number 6, June 1997

Fig. II.1

Figure II.1

Relation entre l'augmentation de la mortalité annuelle et la concentration annuelle de particules fines d'après trois études de longue durée réalisées aux Etats-Unis sur trois populations différentes.

- a) Etude portant sur 6 villes et 8 111 adultes, 1974-1991
- b) Etude portant sur 51 agglomérations et plus d'un demi-million d'adultes, 1982-1991
- c) Etude portant sur 86 agglomérations et 4 millions d'enfants âgés de 1 à 12 mois, 1989-1991 (Hypothèse: PM2,5 = 0,6 PM10).

M. Tiuri  
1998-03-24

AUGMENTATION ANNUELLE DE LA MORTALITE

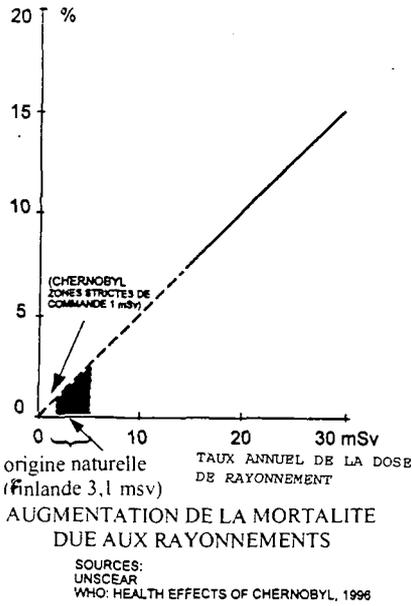


Fig. II.2

AUGMENTATION ANNUELLE DE LA MORTALITE

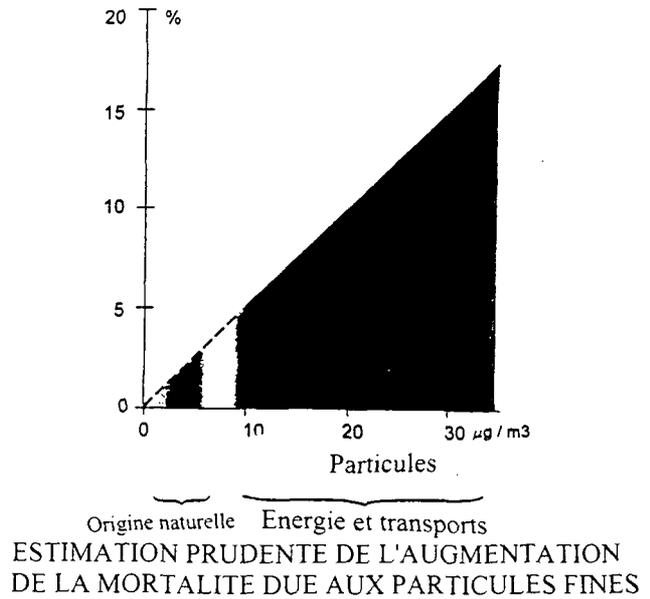
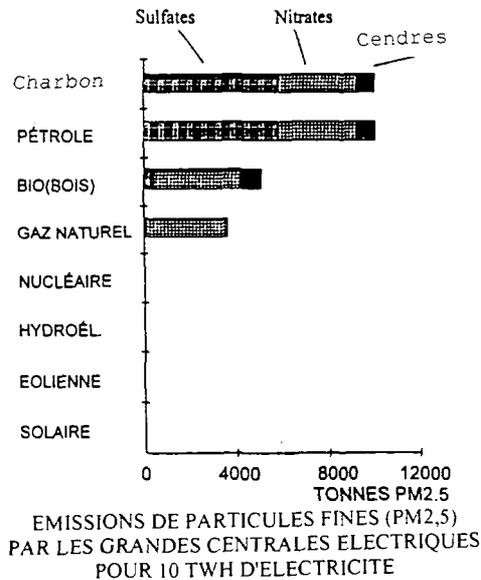


Fig. II.3

M. Tiuri  
1998-02-16



On estime que la moitié des émissions de dioxyde de soufre est transformée dans l'atmosphère en fines particules de sulfates (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, et que la moitié des émissions de dioxyde d'azote est transformée dans l'atmosphère en fines particules de nitrates NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

Fig III.1

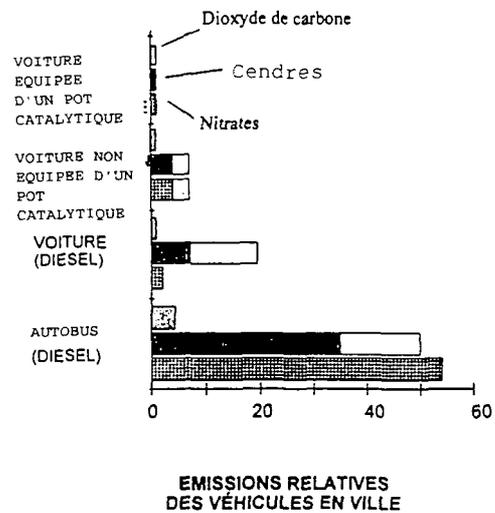
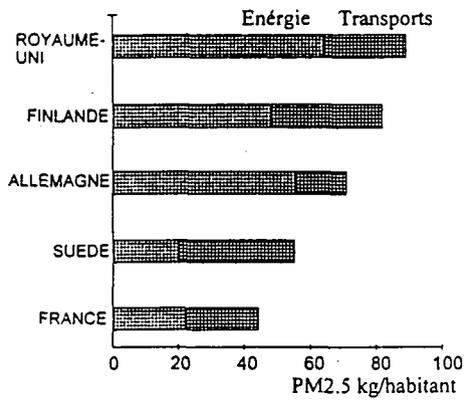


Fig III.2

ANNEXE III

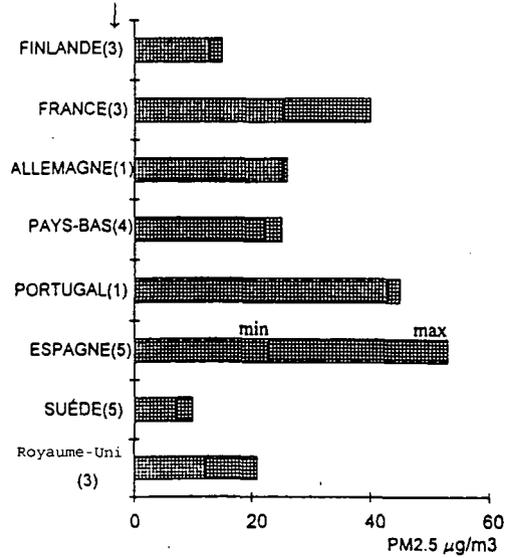


EMISSIONS DE PARTICULES FINES (PM2.5) PAR HABITANT EN 1994

On estime que la moitié des émissions de dioxyde de soufre est transformée dans l'atmosphère en fines particules de sulfates et que la moitié des émissions de dioxydes d'azote est transformée dans l'atmosphère en fines particules de nitrates.

Les Sources: Environmental Statistics 1996 (Eurostat)

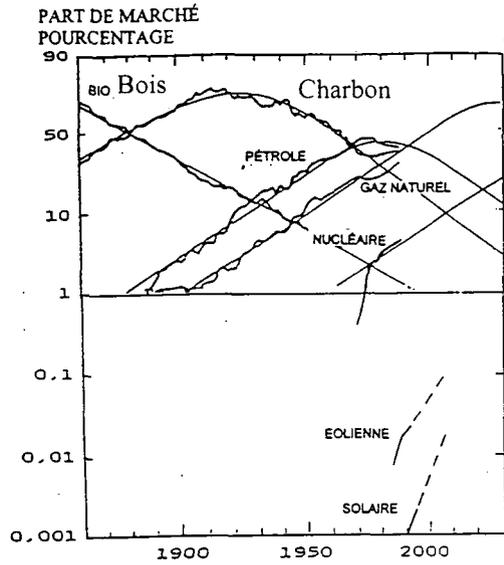
Fig. III.3



CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE DE PARTICULES FINES DANS LES ZONES URBAINES DE QUELQUES PAYS EN 1992-1994

Hypothèse: PM2.5 = 0.6 PM10

Fig. III.4



SOURCES COMMERCIALES D'ÉNERGIE PRIMAIRE

SOURCES:  
MACHETTI, NAKICENOVIĆ  
EASA 1979, BP, WEC, AFS, etc.  
Scale: log (1-0)

Fig. IV.5