

Risques sanitaires de la pollution  
atmosphérique: aperçu des méthodes et  
résultats de l'épidémiologie

**William Dab**  
**Chaire d'Hygiène et Sécurité du Cnam**  
**2010**

# Questions

2

- Comment évaluer l'impact sanitaire de la PA ?
- Quels sont les outils de l'épidémiologie ?
- La PA constitue t-elle encore un problème de SP ?

# Hippocrate

3

*L'air est le plus puissant agent de tout en tout*  
*IVème siècle avant J-C*

1965

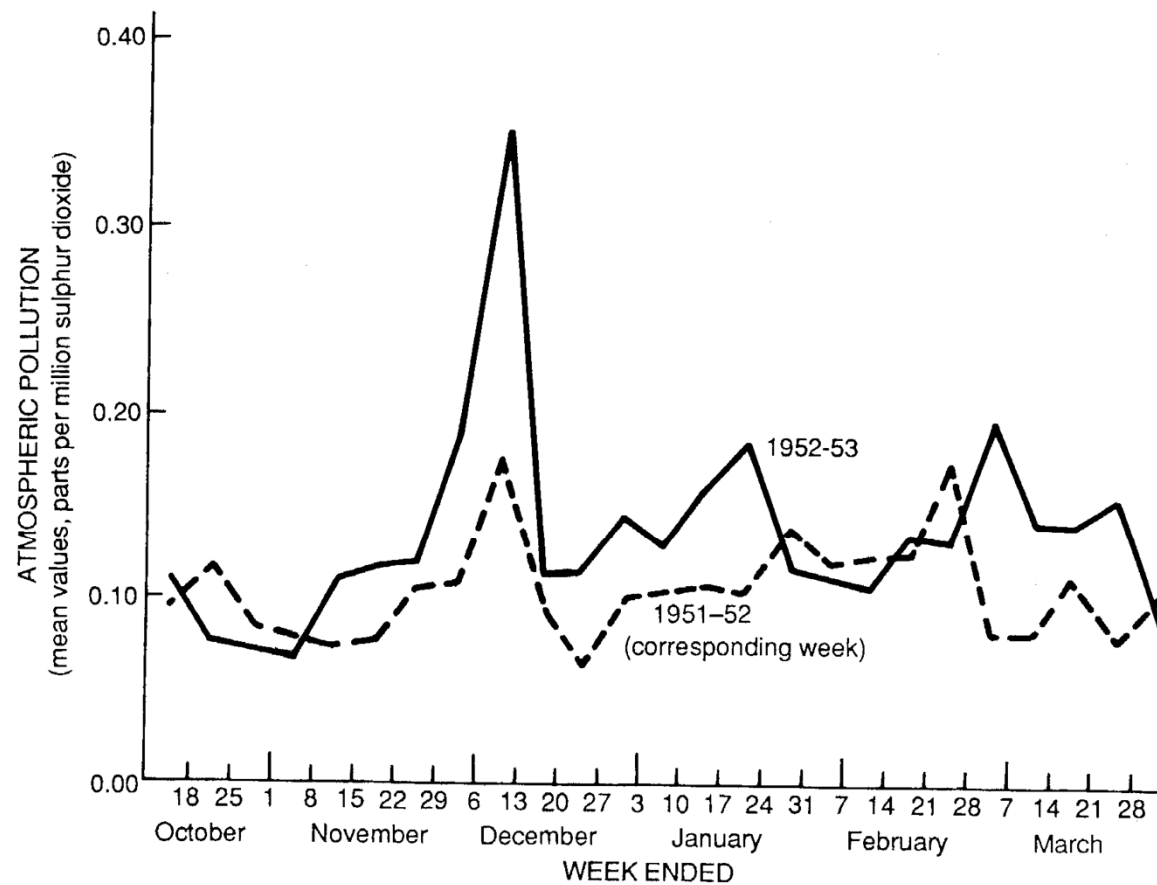


# Un vieux problème

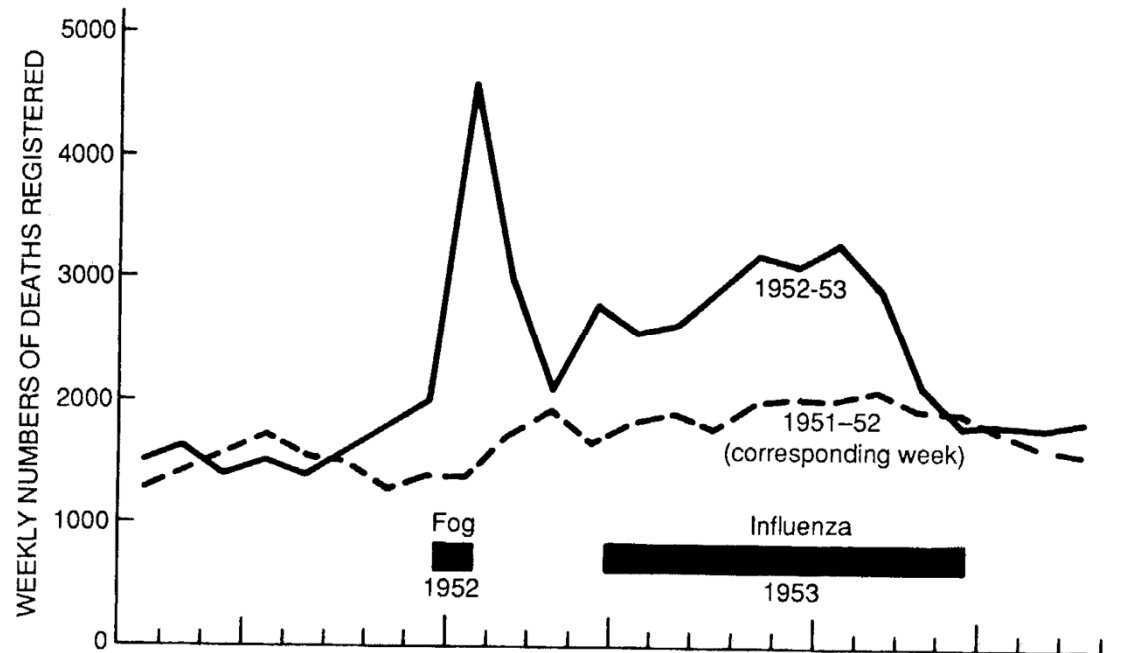
5

- **Meuse** : **1930**
- **Donora** : **1948**
- **Londres** : **1952**

☞ Actions de prévention : sources fixes, puis mobiles



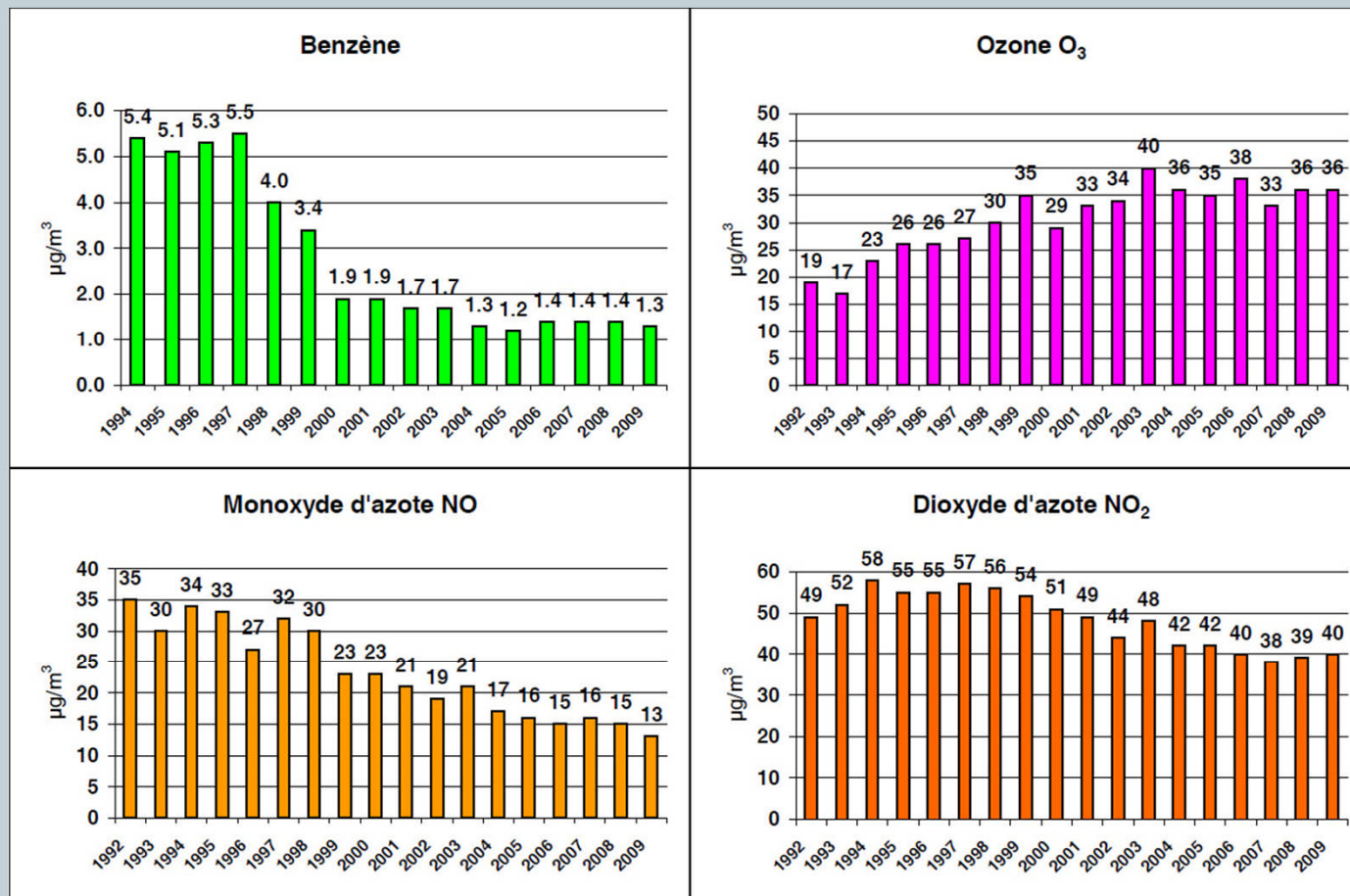
**Figure 4-3.** The great fog, or "smog," of December 1952. Weekly numbers of deaths registered in Greater London (*top*), in relation to levels of air pollution indicated by SO<sub>2</sub> (*bottom*). All causes of death; all ages; both sexes. The 1953 influenza epidemic is also shown. (From Morris JN: *Uses of Epidemiology*, 2nd ed. Edinburgh: Livingstone, 1964, p 200.)



# Évolutions des teneurs en polluants

8

- Données AIRPARIF <http://www.airparif.asso.fr/pages/polluants/evolution>



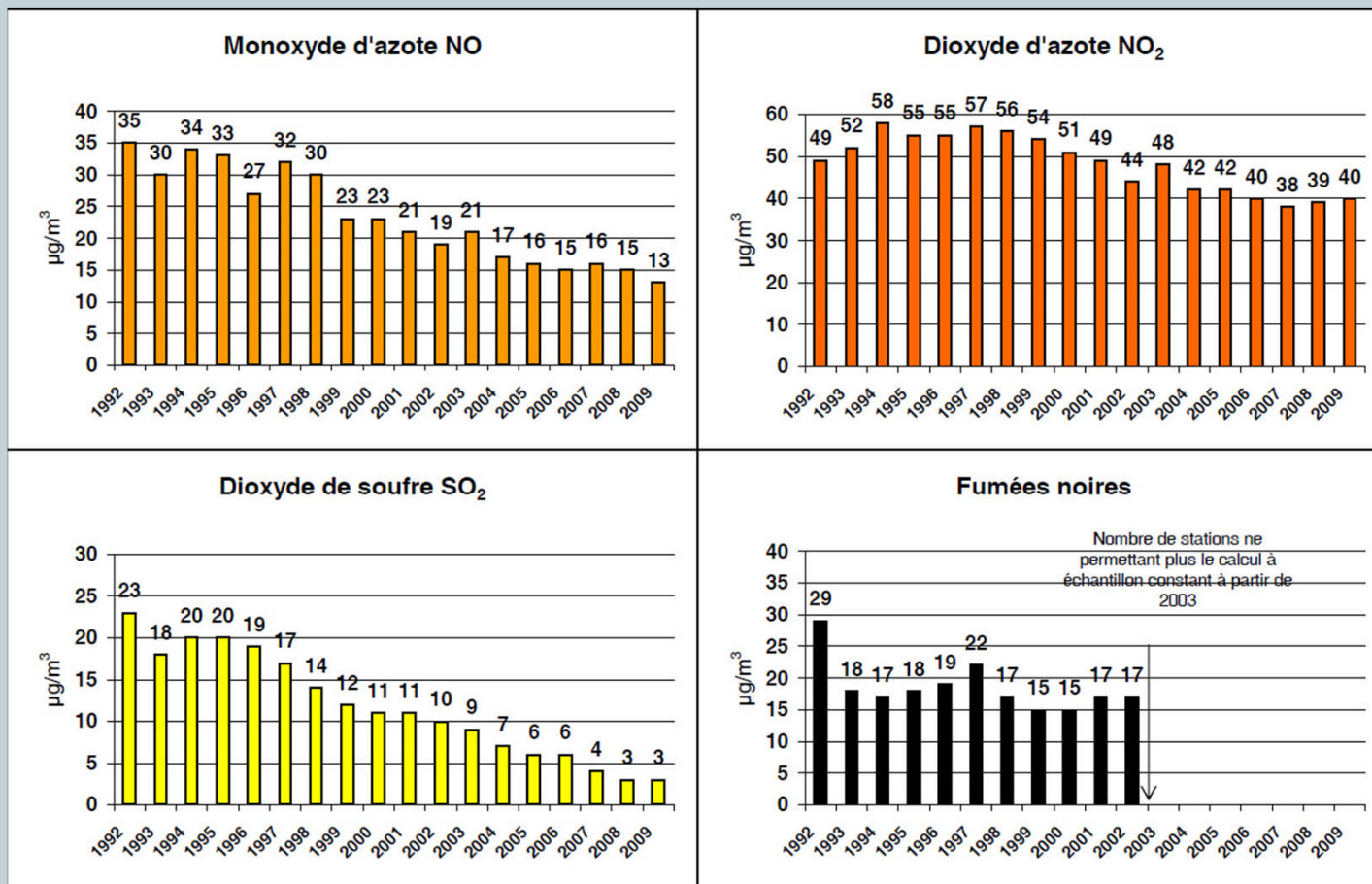
**NIVEAUX MOYENS ANNUELS EN AGGLOMERATION PARISIENNE DE 1992 A 2009**

**Echantillon constant de stations (urbaines et périurbaines)**

# Évolutions des teneurs en polluants

9

- Données AIRPARIF <http://www.airparif.asso.fr/pages/polluants/evolution>

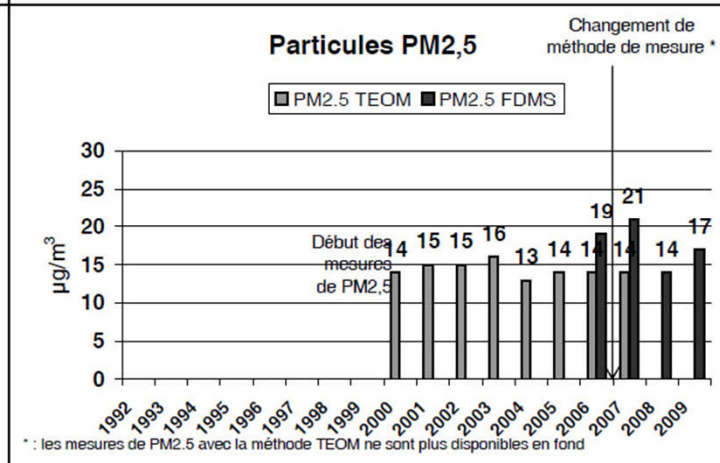
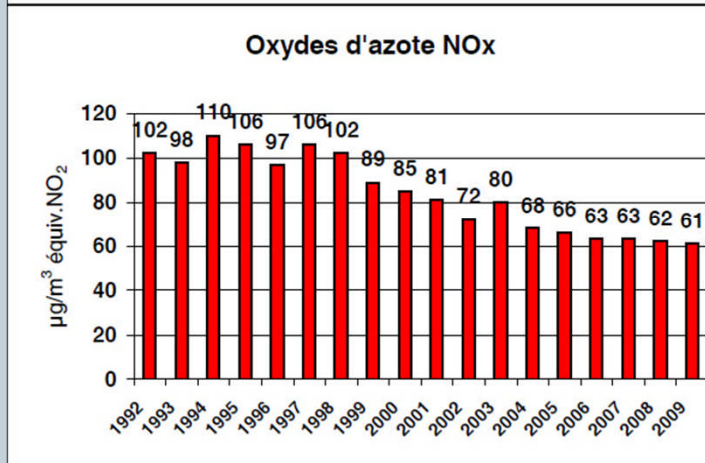
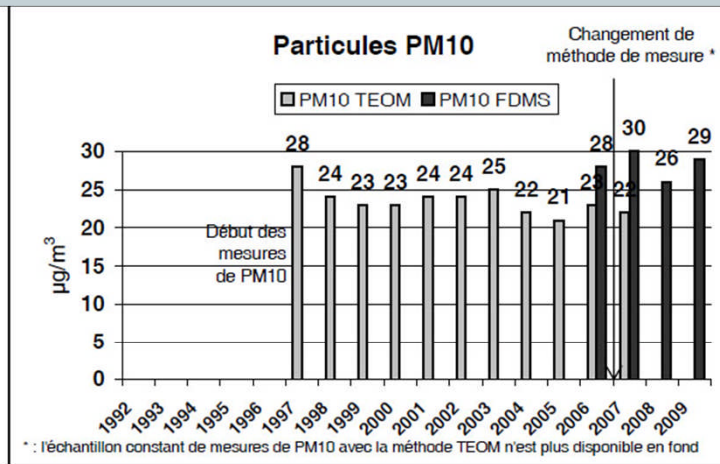
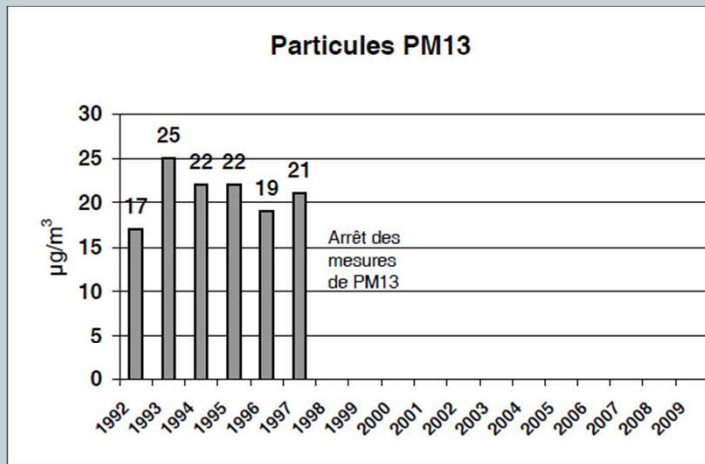


**NIVEAUX MOYENS ANNUELS EN AGGLOMERATION PARISIENNE DE 1992 A 2009**  
**Echantillon constant de stations (urbaines et périurbaines)**

# Évolutions des teneurs en polluants

10

- Données AIRPARIF <http://www.airparif.asso.fr/pages/polluants/evolution>



**NIVEAUX MOYENS ANNUELS EN AGGLOMERATION PARISIENNE DE 1992 A 2009**  
**Echantillon constant de stations (urbaines et périurbaines)**

# Une évaluation des risques difficile

11

- Contexte de faibles doses
- Pas de non exposés
- Multifactorialité des dangers
- Peu de spécificité des dangers
- Peu de sensibilité des outils de mesure des risques
- Reconstitution difficile d'une exposition complexe : variations temporo-spatiales
- Erreurs de classification des expositions = perte de puissance, surtout avec les protocoles classiques
- ☞ Fin des années 80 : études négatives

Walter Holland

12

*Air pollution is no more a public health problem*

IJE 1979

# Outils disponibles

13

- Toxicologie expérimentale : volontaires sains / animaux / tissus / cellules / marqueurs biol.
- Épidémiologie observationnelle
- Modélisation des risques

# Épidémiologie et environnement

14

☞ **Ce que les décideurs préfèrent car :**

- concerne l'homme en situation réelle
- pas de problème d'extrapolation

☞ **Une difficulté principale : estimer l'exposition**

- pour accroître la puissance des études
- pour obtenir une relation dose-effet

# Épidémiologie

15

- **Épidémiologie** : science qui étudie l'occurrence, la répartition et les déterminants des états de santé et des maladies dans les groupes humains et les populations
- Fondée sur l'observation : on dispose d'une part de données d'exposition (niveaux de pollution atmosphérique particulaire, par exemple) et d'autre part de données sanitaires (concernant les décès, les hospitalisations, etc.)
- On analyse les associations statistiques entre exposition et variable sanitaire

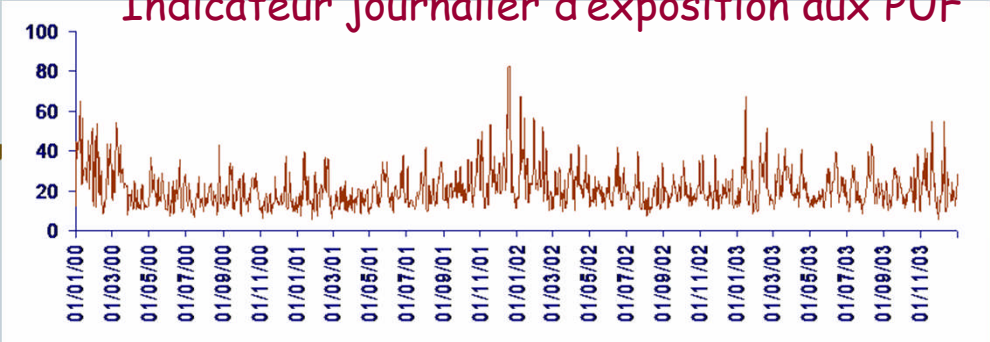
# Des progrès méthodologiques

16

- Connaissances des expositions (concentrations)
  - Courtes expositions : time-series studies +++
  - Expositions prolongées : l'outil cohorte
  - Évaluation des risques : la modélisation (GLE)
  - Études mécanistiques : nouveaux modèles
- Véritable changement d'optique

$\mathcal{P}$

Indicateur journalier d'exposition aux PUF

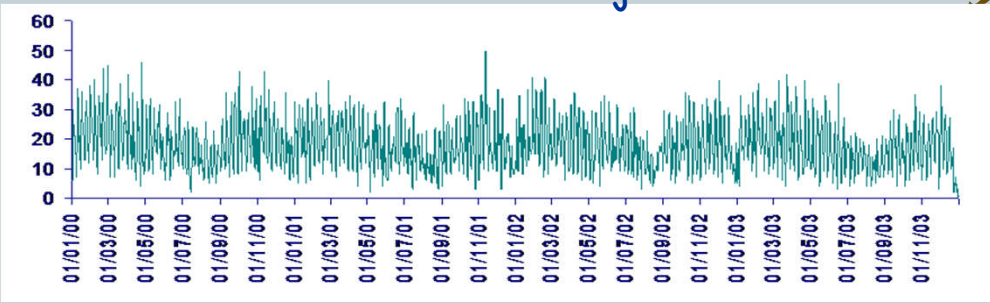


Tendance à long terme  
Saisonnalité

Jour de la semaine

association ?

Indicateur sanitaire journalier



Epidémies de grippe

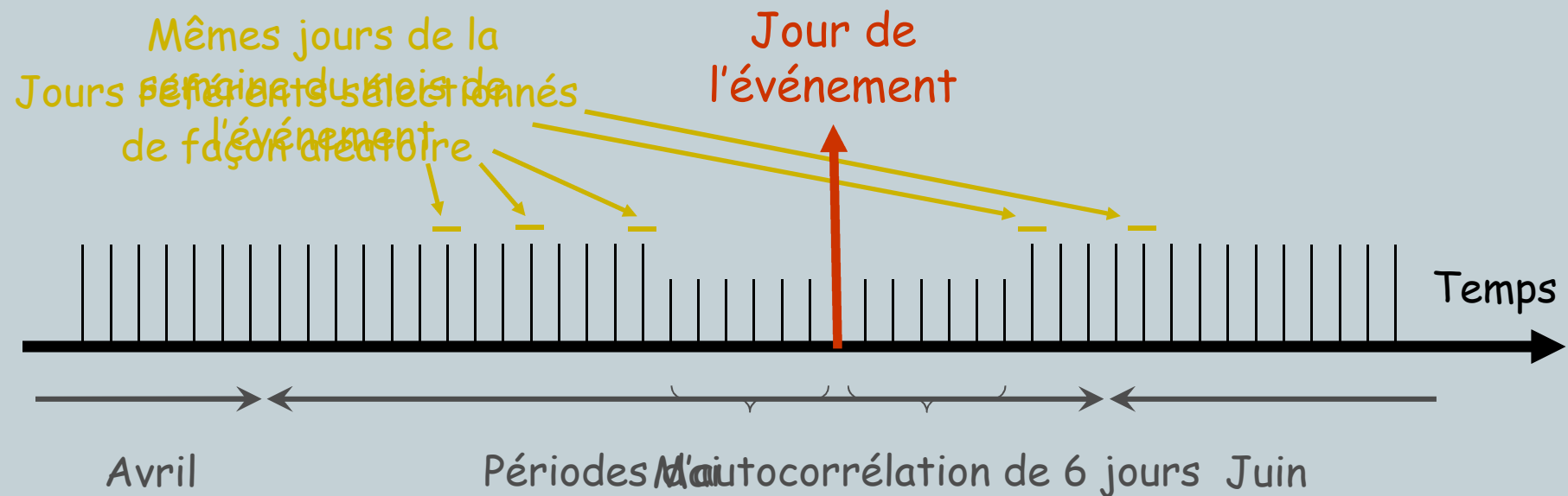
Conditions météo

Etc.

# Étude cas croisés (case-crossover)

18

- L'exposition des sujets le jour de l'événement sanitaire (période CAS) est comparée à celle d'une période où le sujet ne présentait pas l'événement (période CONTROLE)
  - Seuls les sujets qui ont un événement sont étudiés
  - Chaque sujet est son propre témoin => contrôle des facteurs individuels



# Études de panels

19

- Suivi d'un groupe de sujets répondant à des critères d'inclusion précis pendant un certain temps ; recueil :
  - Des données sanitaires (symptômes, variations fonctionnelles, prise de médicaments, etc.)
    - ✦ du niveau individuel
    - ✦ de façon quotidienne (ou autre pas de temps)
  - Des niveaux de pollution
    - ✦ au niveau collectif
    - ✦ avec le même pas de temps

=> Souvent utilisé pour étudier l'effet de la pollution dans des groupes sensibles (personnes âgées, enfants, asthmatiques, coronariens, etc.)

# Résumé méthodologique

20

	Exposition brève	Exposition longue
Individuelle	Panel	Cohorte
Ecologique	Time series Panel	Comparaison géographique

# Interprétation causale

21

- Corrélation n'est pas causalité
- Principaux critères :
  - La **constance des résultats**
  - La **cohérence des résultats**
  - La relation **dose-risque**
  - La **plausibilité biologique**
  - Les preuves « **quasi-expérimentales** » obtenues lors d'études épidémiologiques d'interventions

# Résultats

22

- Deux types d'effets sanitaire :
  - Des **effets à court terme**, pour lesquels l'effet sanitaire se produit dans les jours suivant l'exposition
  - Des **effets à long terme**, qui font suite à une exposition chronique

# Effets sanitaires à court terme

23

L'exposition aux particules est associée à court terme avec une augmentation :

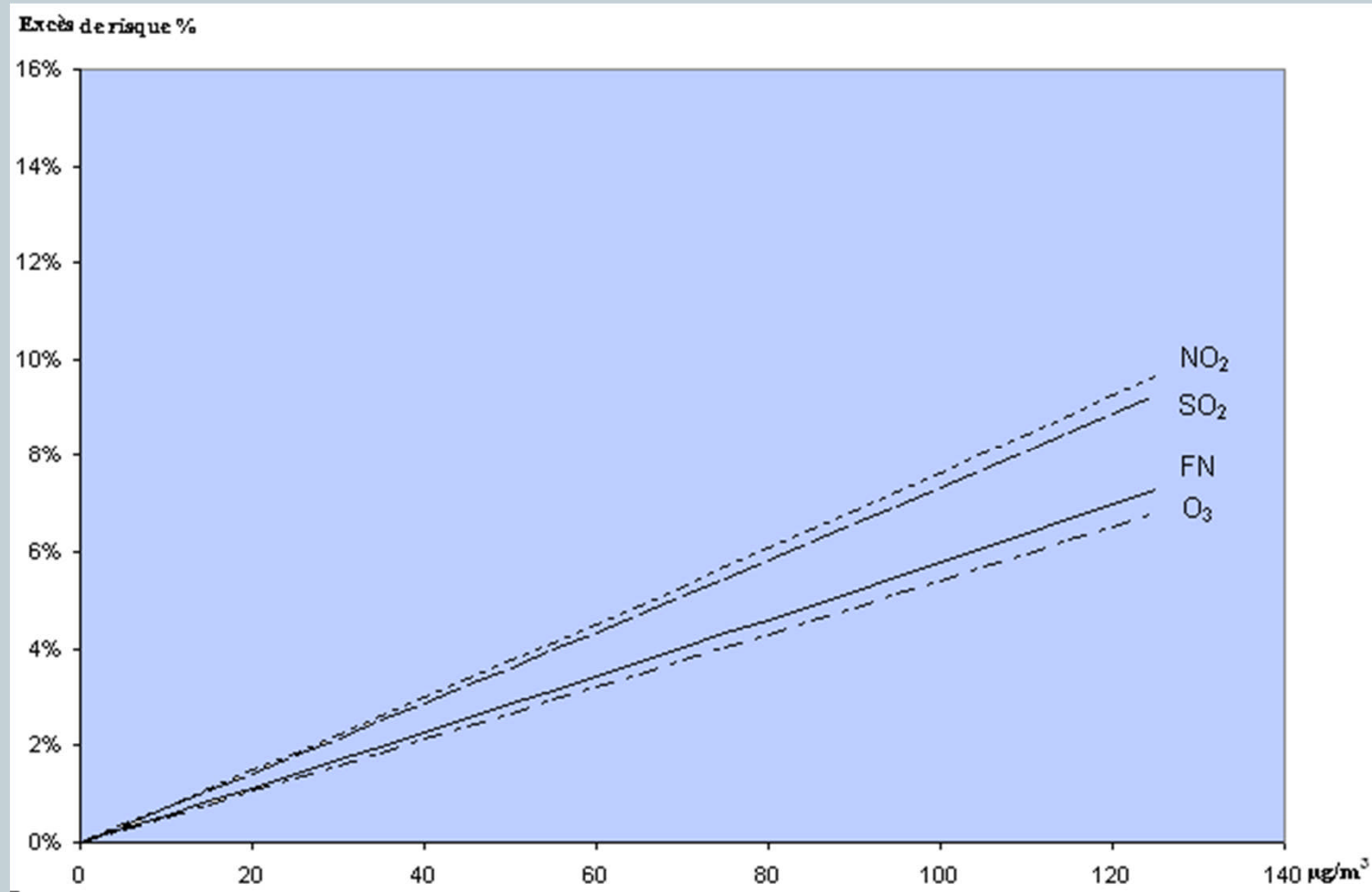
- Du risque de **décès** pour causes cardio-vasculaires (+0,9%\*, OMS 2004) et respiratoires (+1,3%\*, OMS 2004)
- Du risque d'**hospitalisation** pour causes cardio-vasculaires (+0,6%\*, APHEIS 3 2004) et respiratoires (+1,14%\*, APHEIS 3 2004)
- Des **symptômes et affections respiratoires** : exacerbation de l'asthme, épisodes de toux, diminution du volume et du débit expiratoire de pointe
- Des augmentations du nombre de **visites médicales à domicile** et de la **consommation médicamenteuse**

Ces relations ne montrent pas de seuil à l'échelle de la population

\* pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau de  $\text{PM}_{10}$

# Courbes doses-réponses

24



# Effets sanitaires à long terme

25

L'exposition **chronique** aux particules est associée à long terme avec une augmentation :

- Du risque de **décès pour causes cardio-pulmonaires** (+9%\*, Pope 2002) et par **cancer du poumon** (+14%\*, Pope 2002)
- Du risque de **décès post-néonatal respiratoire** (+22%\*\* , Lacasana 2005) et par **mort subite du nourrisson** (+12%\*\* , Woodruff 1997)

\* pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau de  $\text{PM}_{2,5}$

\*\* pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau de  $\text{PM}_{10}$

# Épidémiologie « d'intervention »

26

- **Dublin, Irlande** (Clancy et al. 2002) :  
suite à l'interdiction du charbon bitumineux le 1<sup>er</sup> septembre 1990, les niveaux de fumées noires ont diminué de  $35,6\mu\text{g}/\text{m}^3$ .  
Les taux de mortalité ont décliné simultanément de :
  - 5,7% pour la mortalité toutes causes non accidentelles,
  - 15,5% pour la mortalité respiratoire et
  - 10,3% pour la mortalité cardio-vasculaire
- **Vallée de l'Utah, USA** (Pope et al. 1992) :  
les niveaux de  $\text{PM}_{10}$  ont diminué de  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant les 13 mois de grève dans une aciérie. Le nombre total de décès a diminué pendant la même période de 3,2%.

# Nouveaux dangers

27

- Petits poids de naissance et des retards de croissance intra-utérine
- Prématurité
- Malformations congénitales

# Populations à risque élevé

28

- Des personnes âgées
- Des personnes présentant des pathologies pré-existantes (pathologies respiratoires et cardio-vasculaires chroniques, mais aussi diabète, Zanobetti 2001, O'Neill 2005 et HTA)
- Des personnes particulièrement exposées
- Cumul d'exposition professionnelle

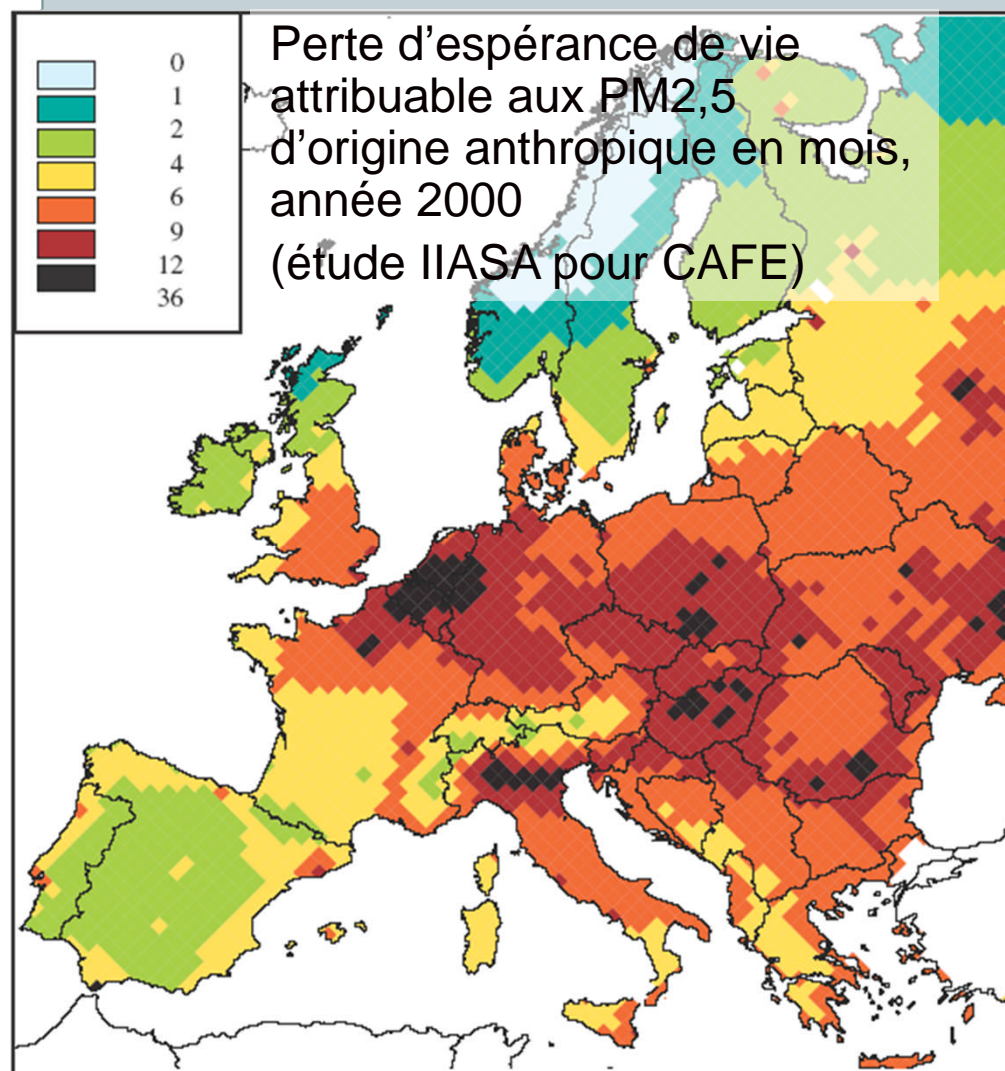
# Évaluation de l'impact sanitaire

29

- Basée sur la démarche d'évaluation des risques
- Proportion de décès attribuables
  - $PA = f(RR-1) / (1 + f(RR-1))$ 
    - ✦ PA : proportion
    - ✦ RR : risque relatif établi par la courbe dose-réponse
    - ✦ f : prévalence d'exposition
- Domaine de la pollution atmosphérique
  - $NA = ((RR-1) / RR) \times N$ 
    - ✦ NA : nombre de cas attribuables pour la période donnée
    - ✦ RR : risque relatif établi par la courbe dose-réponse
    - ✦ N : nombre moyen de décès (période considérée)

# Exemple : impact sanitaire des PM<sub>2,5</sub> en Europe

30



Pour l'ensemble de l'Europe des 25 (CAFE, proposition de directive soumise au parlement et au conseil européen) :

- En moyenne, perte d'environ 9 mois d'espérance de vie
- 348 000 décès anticipés

# Bénéfices de la prévention

31

*The NEW ENGLAND JOURNAL of MEDICINE*

**SPECIAL ARTICLE**

## Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States

C. Arden Pope III, Ph.D., Majid Ezzati, Ph.D., and Douglas W. Dockery, Sc.D.

### **METHODS**

We compiled data on life expectancy, socioeconomic status, and demographic characteristics for 211 county units in the 51 U.S. metropolitan areas with matching data on fine-particulate air pollution for the late 1970s and early 1980s and the late 1990s and early 2000s. Regression models were used to estimate the association between reductions in pollution and changes in life expectancy, with adjustment for changes in socioeconomic and demographic variables and in proxy indicators for the prevalence of cigarette smoking.

**RESULTS**

A decrease of 10  $\mu\text{g}$  per cubic meter in the concentration of fine particulate matter was associated with an estimated increase in mean ( $\pm\text{SE}$ ) life expectancy of  $0.61\pm 0.20$  year ( $P=0.004$ ). The estimated effect of reduced exposure to pollution on life expectancy was not highly sensitive to adjustment for changes in socioeconomic, demographic, or proxy variables for the prevalence of smoking or to the restriction of observations to relatively large counties. Reductions in air pollution accounted for as much as 15% of the overall increase in life expectancy in the study areas.

**CONCLUSIONS**

A reduction in exposure to ambient fine-particulate air pollution contributed to significant and measurable improvements in life expectancy in the United States.

## Air Pollution and Health: Correlation or Causality? The Case of the Relationship between Exposure to Particles and Cardiopulmonary Mortality

William Dab, Claire Ségala, Frédéric Dor, Bernard Festy, Philippe Lameloise, Yvon Le Moullec, Alain Le Tertre, Sylvia Médina, Philippe Quénel, Benoît Wallaert, and Denis Zmirou  
*Association for the Prevention of Air Pollution, Le Kremlin-Bicêtre, France*

### ABSTRACT

Many epidemiologic studies have observed, in different contexts, a slight short-term relationship between particles in air and cardiopulmonary mortality, even when air quality standards were respected. The causality of this relationship is important to public health because of the number of people exposed. Our aim was to make a critical assessment of the arguments used in 15 reviews of published studies.

We explain the importance of distinguishing validity from causality, and we systematically analyze the various criteria of judgment within the context of ecologic time studies. Our conclusion is that the observed relationship is valid and that most of the causality criteria are respected. It is hoped that the level of exposure of populations to these particles be reduced. In Europe, acting at the root of the problem, in particular on diesel emissions, will also enable the reduction of levels of other pollutants that can have an impact on health. In the United States, the situation is more complicated, as particles are mainly secondary. It is also essential to continue with research to become better acquainted with the determinants of personal global exposures and to better understand the toxic role of the various physicochemical factors of the particles.

### INTRODUCTION

Various recently published epidemiologic studies have observed a statistically significant relationship between

### IMPLICATIONS

Numerous epidemiologic studies have observed a relationship between particles in air and mortality. Determining the causality of this relationship is important in prevention. We have analyzed and classified arguments developed in 15 reviews of published studies. This allows the debate on the validity of the relationship between particles in air and mortality to be clearly distinguished from the debate on its causality. Most of the causality criteria have been gathered, and the main question now is validity. We find that the relationship is both valid and causal.

human exposure to urban air particles and various health indicators, in particular mortality, even though air quality standards in force were respected. This relationship exists in very different contexts. Observed relative risks, although statistically significant, are low: generally under 1.1 for an increase of 100 µg/m<sup>3</sup> in fine particle content. Nevertheless, the size of the population exposed is such that if the relationship were causal, the impact on health would be significant.

The causality of this relationship has been analyzed and the standards debated in various articles. The Association for the Prevention of Air Pollution (APPA), established in France 40 years ago, is at a crossroad between scientists, public authorities, and manufacturers. A multidisciplinary group of researchers and professionals was mandated by the APPA to make a critical assessment of the main arguments used in discussing the causal nature of the observed associations.

Only the short-term (a few days) relationship between particulate air pollution and health is discussed here. It is thus the health impact of short-term exposure that is evaluated. Although this work focuses on cardiopulmonary mortality risks, it also takes into account results on global mortality and hospital morbidity.

Particles are solid or liquid elements present in air that, at a physical and chemical level, make up a heterogeneous group. The total concentration pertaining to the mass (total suspended particulate matter) is typically measured. Yet most of the epidemiologic studies that are analyzed in this article take an interest in the inhaled fraction of particles because of an average aerodynamic diameter of less than 10 µm (PM<sub>10</sub>).

### MATERIALS AND METHODS

#### Materials

There are various reviews of studies on the relationship between particulate pollution and health. We have selected 15 reviews that discuss in a structured manner the causality of this association.<sup>1-15</sup> Rather than producing another review,

# Causalité

34

➤ Dab (JAWMA, 2001, 51, 220-235)

*When a set of epidemiological studies show with such regularity that an environmental factor is associated to frequent or serious health effects, that a common bias to all these studies is unlikely to exist and that most causality criteria are respected, it is not reasonable, from a public health point of view, to demand that research provides additional arguments before admitting the causal responsibility of this risk factor*

# Un prototype des risques du XXI<sup>e</sup> siècle

35

- Impacts éloignés (= invisibilité)
  - Impacts collectifs élevés (doses faibles = invisibilité)
  - Impacts différés (= invisibilité)
  - Impacts cumulés : court → long terme
  - Impacts régulés par les pouvoirs publics
  - Impacts mondialisés
  - Impacts redoutés (⇔ invisibilité)
- ☞ Une situation d'une grande complexité, invisible sans outils sophistiqués, difficile à maîtriser = le principe de **précaution** en question

# Une problématique complexe

36

- Sources multiples : transports, industries, indoor, nature, tabac
- Formation multiple : primaire / secondaire
- Échelles multiples : nano / micro ; global / local
- Controverses multiples : seuil, faibles doses, indicateurs pertinents
- Exposition multiple aux déterminants multiples
- Impacts multiples : 500.000 décès/an = pointe de l'iceberg
- Exigences multiples : impacts vs coûts
- Décideurs multiples
- ☞ Des débats publics conflictuels, confus
- ☞ Des décisions sous incertitude

# Conclusions

37

- Risque individuel faible et collectif non négligeable
- Le risque collectif est avant tout lié à la taille de la population exposée
- Seule l'observation populationnelle permet d'estimer le risque
- La quantification est nécessaire pour un débat social plus serein
- La notion de pic n'est plus qu'un abus de langage
- La forme de la relation dose-risque reste à préciser

*Plus on réduit le risque et plus ce  
qu'il en reste paraît insupportable à  
la population*

Alexis de Tocqueville (1805-1859)