

# Effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique à Paris et en proche couronne : le programme *Erpurs*

---

**Benoît CHARDON**

Observatoire Régional de la Santé - Île-de-France

## 1. Définition

La pollution atmosphérique peut être définie comme l'introduction dans l'atmosphère d'éléments (gaz, particules) d'origine naturelle ou liée aux activités humaines, dont la présence engendre des conséquences néfastes pour la santé humaine, les écosystèmes, les matériaux ou l'atmosphère elle-même. La pollution atmosphérique est donc un mélange complexe d'éléments gazeux et particulaires, qui peuvent réagir entre eux au sein de l'atmosphère et dont les sources sont multiples. Afin de caractériser cette « soupe » de polluants, on utilise généralement des polluants indicateurs, dont la concentration est mesurée afin de fournir une indication de la qualité de l'air.

## 2. Historique

Les effets sanitaires des niveaux aigus de pollution atmosphérique sont connus de longue date. La première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle a vu de nombreux épisodes de pollution aigus, par exemple dans la vallée de la Meuse, en Belgique, en 1930, dans la vallée de Donora, en Pennsylvanie en 1948, ou encore, certainement l'épisode le plus connu, à Londres lors du « smog » de 1952.

Généralement, ces épisodes correspondent à la conjonction d'émissions importantes (souvent d'origine industrielle), d'une météorologie et d'une topographie défavorable (absence de vent, inversion de température, et situation « en cuvette » favorisant la stagnation des polluants).

Tous ces épisodes ont entraîné des conséquences sanitaires importantes en termes de mortalité et de morbidité. À partir du début de la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, ces effets ont été pris en compte et, dans de nombreux pays, des réglementations ont été mises en place (principalement pour les sources fixes industrielles), aboutissant à des diminutions importantes de la pollution acido-particulaire (par exemple, à Paris, le réseau de mesure de cette pollution mis en place dès 1956, montre que les niveaux de fumées noires ont été divisés par 8 en 40 ans, tandis que les niveaux de dioxyde de soufre ont été divisés par 20).

Ainsi, les épisodes aigus de pollution acido-particulaire tel que celui du smog de Londres ont disparu quasi-totalement. Cependant, avec le développement du transport routier, l'augmentation du parc automobile et une urbanisation croissante, la pollution atmosphérique reste d'actualité, mais sa nature a changé. La population est aujourd'hui exposée de manière chronique à des niveaux relativement faibles d'oxydes d'azote, d'ozone et de particules.

Étant donné que cela concerne des populations de taille importante, la question des effets sanitaires de ces expositions reste posée. Ce n'est que vers la fin des années 80 que le développement de nouvelles méthodologies épidémiologiques et statistiques a permis d'y répondre.

## 3. Effets sanitaires à long terme et à court terme

Il existe deux types d'effet associés aux niveaux de pollution atmosphérique : les effets faisant suite à une exposition de longue durée (plusieurs années), dits « effets à long terme » ;

et les effets intervenant immédiatement (quelques jours) après une exposition de courte durée, dits « effets à court terme ».

L'étude des effets sanitaires à long terme nécessite le suivi sur plusieurs années de sujets participant à des études de cohorte. Il s'agit donc de moyens importants à mettre en œuvre. C'est pourquoi, à ce jour, ces études sont moins nombreuses que celles concernant les effets à court terme.

Pour mesurer les effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique, plusieurs méthodes sont couramment utilisées : les panels, la méthode cas-croisé et l'analyse de séries temporelles.

#### **4. Étude des effets sanitaires à court terme de la pollution atmosphérique : exemple de l'analyse de séries temporelles**

Il s'agit d'analyser des données recueillies à l'échelle de la population sur plusieurs années, de manière rétrospective. L'objectif de l'analyse est de rechercher les liens pouvant exister entre les variations d'un jour à l'autre des niveaux de polluant et les variations d'un jour à l'autre du nombre d'événements sanitaires. L'unité d'observation est donc le jour et le compte journalier d'événements sanitaires est supposé suivre une loi de Poisson. La méthodologie statistique repose sur l'utilisation de modèles additifs généralisés (GAM) qui sont une extension des modèles linéaires généralisés (GLM). Plusieurs cofacteurs sont pris en compte dans l'analyse. Les facteurs de confusion temporels tels que des variations à long terme, saisonnières et hebdomadaires peuvent en effet biaiser l'estimation de la relation entre indicateur sanitaire et pollution atmosphérique. Par exemple, le nombre de décès est habituellement plus faible le dimanche, de même pour les niveaux de pollution atmosphérique urbaine. Ne pas prendre en compte ce phénomène aboutirait à surestimer la force de l'association. De même, les facteurs de confusion tels que les conditions météorologiques (température, humidité) peuvent biaiser l'estimation du lien entre indicateur sanitaire et exposition à la pollution atmosphérique puisqu'ils influencent à la fois l'état de santé de la population et les niveaux de pollution. Les pollens et les épidémies de grippe possèdent un effet avéré sur la variable sanitaire. C'est pourquoi ils sont pris en compte dans la modélisation afin de permettre un meilleur ajustement du modèle aux données. Les éventuels effets non linéaires de ces cofacteurs sont pris en compte grâce à l'utilisation de fonction de lissage. Ces dernières permettent un ajustement plus souple aux données. Les facteurs de confusion individuels ne sont pas pris en compte directement dans l'analyse, ils sont supposés constants sur une courte période de temps. Ainsi, la consommation de tabac ou les caractéristiques socio-démographiques n'ont pas d'influence dans une analyse de ce type car ils ne sont pas liés aux variations journalières des niveaux de pollution.

### **5. Le cas de l'Île-de-France : le programme *Erpurs***

#### **5.1. Présentation du programme**

Le programme *Erpurs* (Évaluation des risques de la pollution urbaine sur la santé) a été mis en place par l'Observatoire régional de santé d'Île-de-France en 1990 à la demande du Préfet et du Président du Conseil régional. Parmi les objectifs du programme *Erpurs* figure la quantification des liens existant à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique couramment rencontrés dans la région et l'état de santé de la population. Cette quantification s'effectue au moyen d'analyses écologiques temporelles rétrospectives : l'analyse porte sur des données recueillies au cours des années antérieures (4 ans au minimum). L'exposition à la pollution atmosphérique, comme l'état sanitaire ne sont pas mesurés au niveau individuel mais à l'échelle de la population.

## 5.2. La zone d'étude

La zone géographique prise en compte dans cette étude comprend Paris et les trois départements de la proche couronne : les Hauts de Seine, la Seine Saint Denis et le Val de Marne. Plus de 6 millions d'habitants, dont 18% de moins de 15 ans et 13% de plus de 65 ans vivent dans cette zone. Dans cette zone, le trafic routier y est le principal émetteur d'oxydes d'azote et de particules. Cette zone représente donc le cœur dense et urbanisé de la région. On suppose que pour un jour donné, la population est en moyenne exposée de façon homogène aux différents polluants à l'intérieur de cette zone d'étude.

## 5.3. Les données recueillies

Afin de réaliser les analyses, il convient de disposer de séries temporelles journalières pour les niveaux de pollution, les indicateurs sanitaires et les cofacteurs. Les séries journalières des niveaux de polluants ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , fumées noires, ozone<sup>1</sup>), sont construites à partir des données enregistrées par le réseau fixe de mesures d'AIRPARIF. AIRPARIF est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air chargée de la surveillance des niveaux de pollution en Île-de-France. Seules les stations de fond, c'est-à-dire les stations « installées loin de toutes sources directes de pollution (industrielle ou automobile) » sont sélectionnées. Le réseau de mesures d'AIRPARIF compte entre 4 et 18 capteurs « de fond » selon l'indicateur de pollution mesuré, répartis sur la zone d'étude.

Les données sanitaires sont le nombre journalier de décès de personnes domiciliées dans la zone d'étude, fournies par le service d'épidémiologie des causes de décès de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), ou le nombre journalier d'admissions dans les établissements hospitaliers de l'Assistance publique – Hôpitaux de Paris (AP-HP) ou encore le nombre journalier d'appels reçus par SOS-médecins Paris. Les pathologies respiratoires et cardio-vasculaires sont les pathologies classiquement mises en relation avec les niveaux de pollution atmosphérique.

Les indicateurs météorologiques (température et humidité) sont fournis par Météo-France. Les périodes d'épidémies de grippe sont définies par le Groupe régional d'observation de la grippe (Grog) et l'intensité de ces épidémies est mesurée par le nombre d'appels reçus par SOS-médecins pour le motif grippe. Enfin, les périodes de présence des principaux pollens allergisants sont recensées par le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA).

## 5.4. Résultats

L'analyse de séries temporelles fournit un risque relatif associé au polluant : si ce risque est significativement supérieur à 1, alors il y a un effet négatif significatif du polluant sur la santé. Les résultats sont souvent présentés sous la forme d'un pourcentage d'augmentation du risque relatif associé à une augmentation du niveau du polluant.

Les résultats du programme *Erpurs* montrent un lien significatif entre les niveaux de pollution atmosphérique couramment observés en agglomération parisienne et des indicateurs sanitaires variés : mortalité, hospitalisations, visites médicales à domicile. La Figure 1 montre par exemple qu'une augmentation de  $10\mu\text{m}^3$  du niveau d'ozone est associée à une augmentation de 1% du risque d'être hospitalisé pour causes respiratoires. Cet excès de risque est faible comparé à ceux observés pour le tabac ou l'alcool mais il faut savoir que contrairement à ces deux facteurs de risque, c'est la population dans son ensemble qui est concernée par la pollution atmosphérique. La force de l'association diminue avec la gravité de l'indicateur sanitaire, ainsi pour une augmentation de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  du niveau du polluant, des excès

---

<sup>1</sup>  $\text{NO}_2$  : dioxyde d'azote ;  $\text{PM}_{10}$  : particules en suspension d'un diamètre inférieur à  $10\mu\text{m}$  ( $2,5\mu\text{m}$  pour  $\text{PM}_{2,5}$ ) ; fumées noires : indice qui mesure la noirceur des particules

de risque de l'ordre de 1% sont observés pour la mortalité contre des excès de risque pouvant aller jusqu'à 6% pour le nombre d'appels reçus par SOS-médecins (Figure 1). Ce programme a également permis de mettre en évidence l'existence de certaines populations à risque : les enfants, les personnes âgées, les hommes pour lesquels les excès de risque sont plus élevés (Figure 2). Les relations exposition-risque obtenues dans le cadre du programme *Erpurs* permettent d'affirmer qu'il n'existe pas de seuil en-dessous duquel la pollution atmosphérique n'a pas d'effet sur la santé (relations linéaires). En d'autres termes, toute réduction des niveaux de pollution est bénéfique pour la santé.

FIGURE 1 : EXCÈS DE RISQUE (EN %) ET INTERVALLE DE CONFIANCE À 95% POUR DIFFÉRENTS INDICATEURS SANITAIRES ASSOCIÉS À UNE AUGMENTATION DE  $10\mu\text{G}/\text{M}^3$  DU NIVEAU DU POLLUANT

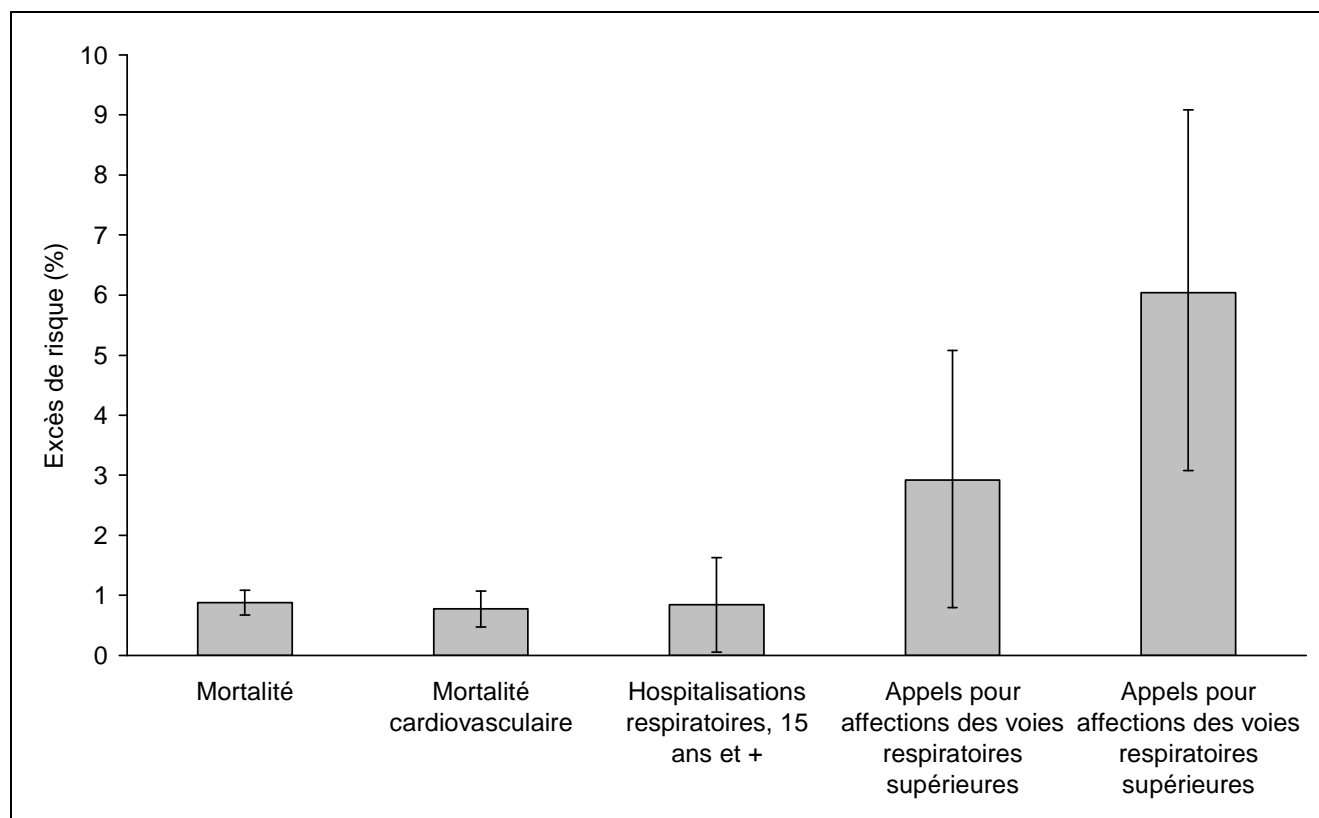
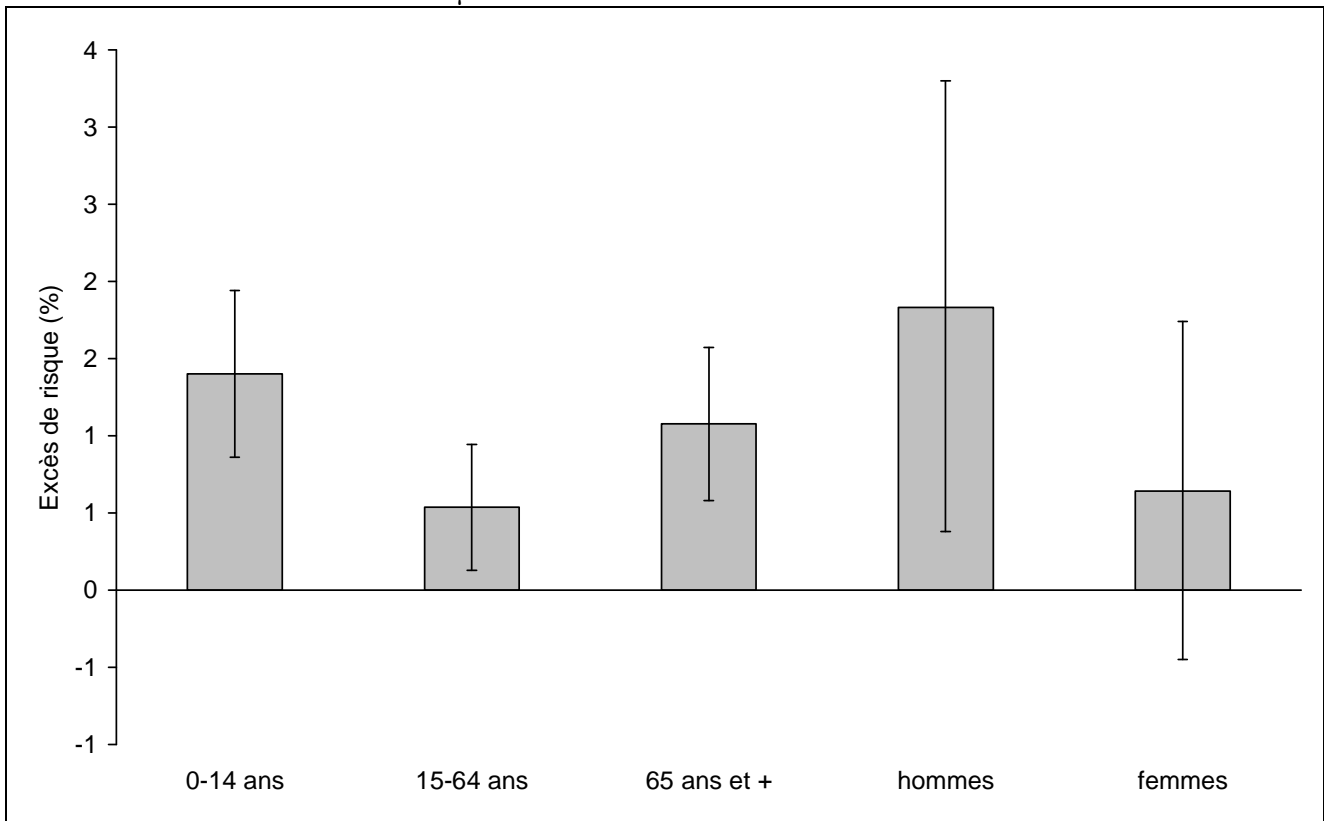
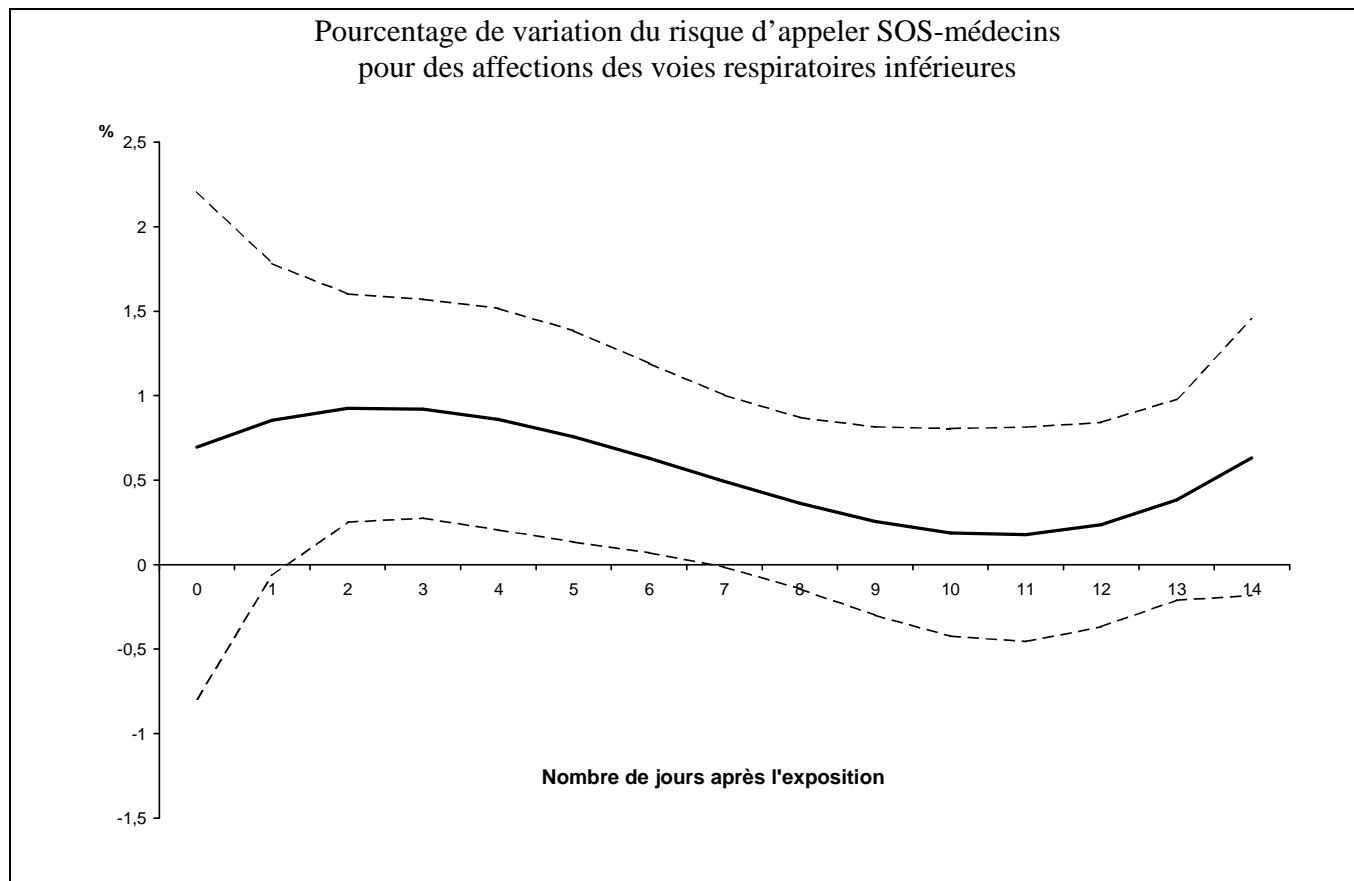


FIGURE 2 : EXCÈS DE RISQUE (EN %) D'HOSPITALISATIONS POUR CAUSES RESPIRATOIRES ET INTERVALLE DE CONFIANCE À 95% SELON L'ÂGE ET LE SEXE ASSOCIÉS À UNE AUGMENTATION DE  $10\mu\text{G}/\text{M}^3$  DU NIVEAU DU POLLUANT



Le programme *Erpurs* a également permis de montrer que les effets sanitaires de la pollution atmosphérique ne se limitent pas aux quelques jours suivant l'exposition. La figure 3 décrit la persistance des liens entre pollution atmosphérique et nombre journalier de visites médicales à domicile pour des affections des voies respiratoires inférieures : les effets de la pollution atmosphérique persistent jusqu'à 4 jours puis diminuent progressivement. Par ailleurs, il n'est pas observé de période de sous-morbidité dans les 15 jours suivant l'exposition qui aurait été synonyme d'un « effet moisson » : les personnes qui ont appelé SOS-médecins suite à l'augmentation des niveaux de pollution atmosphérique ne l'auraient sans doute pas fait les jours suivants en l'absence de cette augmentation. Ce ne sont donc pas seulement des personnes déjà fragilisées, qui auraient de toute façon eu recours aux visites médicales en urgence dans un délai proche, qui ont été affectées par la pollution atmosphérique.

FIGURE 3 : DESCRIPTION DE LA PERSISTANCE DES EFFETS SANITAIRES SUITE À L'AUGMENTATION DE 10 MG/M<sup>3</sup> DES NIVEAUX DE PM<sub>10</sub> UN JOUR DONNÉ



Des résultats similaires à ceux obtenus pour l'agglomération parisienne et concernant les effets à court terme de la pollution atmosphérique urbaine sont retrouvés par d'autres études, employant la même méthodologie dans d'autres localités : 8 autres villes françaises dans le cadre du programme national de surveillance air et santé (PSAS-9), d'autres villes européennes ou nord-américaines dans le cadre des programmes APHEA, NMMAPS et APHENA.

### Conclusion

Les analyses de séries temporelles sont couramment utilisées pour mesurer les effets sur la santé à court terme de la pollution atmosphérique. Ce type d'analyse présente comme avantage d'être réalisé à l'échelle de la population et permet donc un recueil facile de l'information. En revanche, il n'est pas possible de réaliser des analyses plus fines afin de déterminer d'éventuels effets modificateurs de la relation exposition-risque (antécédents médicaux, caractéristiques socio-économiques) comme cela peut être le cas dans une analyse de type cas-croisé par exemple. Les résultats obtenus dans le cadre du programme *Erpurs* avec ce type d'analyse montrent des liens significatifs entre les niveaux de pollution atmosphérique et la santé. Les risques sanitaires sont faibles mais touchent l'ensemble de la population. Ce programme seul ne permet pas de démontrer l'existence d'un lien de cause à effet entre les niveaux de pollution atmosphérique et l'état de santé de la population. Cependant, la cohérence des résultats obtenus dans les différentes études épidémiologiques, les données biologiques et toxicologiques permettant de proposer des mécanismes pour l'action des polluants sur la santé et les bénéfices sanitaires observés lors de certaines réductions des niveaux de pollution atmosphérique constituent aujourd'hui un faisceau de preuves indéniables en faveur de l'existence d'une relation causale entre l'exposition à la pollution atmosphérique et la santé.