

Santé environnement

Études d'interventions sur la qualité de l'air : quels effets sur la santé ?

Revue de littérature (1987-2015)

Sommaire

Abréviations	2
1. Introduction	3
2. Objectif	4
3. Méthodologie de la revue de littérature	4
3.1 Définition des mots-clés et critères de sélection	4
3.2 Résumé des équations de recherche	5
3.3 Construction de la grille de lecture	5
4. Résultats	6
4.1 Diagramme de flux	6
4.2 Les études identifiées	7
4.3 Résultats des études épidémiologiques	7
4.3.1 Les jeux sportifs	7
4.3.2 Les interventions impactant le trafic automobile	9
4.3.3 Les changements de composition des carburants	11
4.3.4 Les interventions relatives au chauffage domestique	11
4.3.5 Les fermetures d'usines	12
4.3.6 Les interventions sur des sources multiples	13
4.4 Résultats des évaluations quantitatives d'impact sanitaire	15
4.4.1 Les jeux sportifs	15
4.4.2 Les interventions impactant le trafic automobile	15
4.4.3 Les changements de composition des carburants	15
4.4.4 Les interventions sur des sources multiples	16
4.4.5 Les impacts d'interventions projetées	16
5. Discussion	19
5.1 Questions préalables à la mise en place d'une étude d'intervention	20
5.2 Interprétation des résultats	24
6. Conclusion	25
Références bibliographiques	25
Annexes	31

Études d'interventions sur la qualité de l'air : quels effets sur la santé ?

Revue de la littérature (1987-2015)

Rédacteurs :

Lucie Duchesne et Sylvia Medina, Santé publique France, Direction Santé Environnement (DSE)

Remerciements

Mathilde Pascal (DSE), Sabine Host (ORS Ile-de-France), Claire Ségala (SEPIA)

Edwige Bertrand (Santé publique France, Direction de la Documentation) pour l'aide à la recherche bibliographique

Abréviations

Aphekom	Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe
AVPD	Années de vie perdues
BC	Black Carbon ou carbone suie
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive
CAA	Clean Air Act
CO_x	Oxydes de carbone
CV	Cardiovasculaire
CVF	Capacité vitale forcée
CR	Concentration-réponse
DEP	Débit expiratoire de pointe
EC	Carbone élémentaire
EQIS	Evaluation d'impact sanitaire
GrDF	Gaz Réseau Distribution France
IDF	Île-de-France
JO	Jeux Olympiques
LEZ	Low emission zone
NO_x	Oxydes d'azote
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM	Matière particulaire ou particules en suspension
PM_x	Particules de diamètre inférieur à x µm
Prequalif	Programme Pluridisciplinaire de Recherche sur la qualité de l'air en Île-de-France
SO₂	Dioxyde de soufre
VEMS	Volume expiratoire maximal seconde

1. INTRODUCTION

L'air est un bien public dont il convient de préserver la qualité. Des milliers de litres d'air transitent par nos poumons quotidiennement. Les gaz de l'air et particules toxiques transportés par l'air entrent dans l'organisme *via* l'appareil respiratoire et impactent notre bien-être et notre santé.

Les gaz et particules toxiques rejetés dans l'atmosphère sont responsables de l'apparition ou de l'aggravation de maladies cardiovasculaires (CV), respiratoires, de cancers et autres pathologies. Chaque année, la pollution extérieure cause près de 3,7 millions de décès prématurés dans le monde [1]. 80% de ces décès sont imputables à des cardiopathies ischémiques et des accidents vasculaires cérébraux. En Europe, dans les 25 villes du projet Aphekom¹ comptant 39 millions d'habitants, si les niveaux de particules fines PM_{2,5} respectaient les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), chaque année, plus de 19 000 décès seraient reportés, dont 15 000 pour causes CV [2]. Dans les 9 villes françaises du projet Aphekom², plus de 2900 décès seraient reportés [3]. Il n'y a pas de seuil minimal d'exposition aux particules fines qui soit sans risque pour la santé [4]. Si le risque individuel reste relativement faible, le fait que toute la population soit exposée rend ce problème prioritaire en termes de santé publique.

Depuis le début du XX^{ème} siècle, les populations sont préoccupées par les effets néfastes de la pollution de l'air sur la santé. Les premiers épisodes majeurs de pollution atmosphérique du XX^{ème} siècle n'ont fait que renforcer leurs inquiétudes. Les années suivantes ont été marquées par l'émergence de réglementations visant à préserver la qualité de l'air. En 1970, aux Etats-Unis la promulgation du Clean Air Act (CAA) a conduit à la mise en place de politiques visant à ne pas dépasser les normes établies de concentration de polluants dans l'air. Les quatre axes du premier CAA visaient spécifiquement à diminuer la pollution industrielle [5]. En France également, la loi du 2 août 1961 relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs ciblait en priorité les émissions polluantes des industries.

Ces différentes mesures ont permis de fortes baisses de concentrations de certains polluants émis par des sources fixes tels que le dioxyde de soufre (SO₂), le plomb, le monoxyde de carbone (CO) et le benzène. Ces importantes améliorations n'ont pas permis de faire disparaître complètement la pollution atmosphérique mais en ont modifié sa composition. Les concentrations en oxydes d'azote (NO_x), en précurseurs de l'ozone et en particules en suspension (PM) sont devenues importantes. L'augmentation du taux de ces « nouveaux » polluants dans l'air a été en partie imputée au développement du trafic routier.

L'identification de cette source de pollution a précédé la mise en place de nouvelles mesures visant plus spécifiquement le transport routier. Dans les années 1990, un nouvel amendement du CAA américain a fait naître des réglementations sur les carburants automobiles [5]. Dans le même temps, des directives européennes visant à réduire les émissions polluantes des véhicules lourds et légers ont été fixées [6]. Les pays européens ont par exemple instauré des normes Euro fixant des limites d'émissions de polluants pour les véhicules neufs. Des directives émanant de la Commission européenne ont diminué les taux autorisés de soufre et plomb dans les carburants.

Aujourd'hui, malgré les politiques mises en place pour réduire la pollution atmosphérique, les niveaux de certains polluants atmosphériques ne baissent pas de façon significative et ont toujours des conséquences pour la santé des populations

En 2005, l'OMS a actualisé ses valeurs guides relatives à la qualité de l'air [7]. Les zones urbanisées étant plus sujettes au dépassement de ces valeurs, plusieurs villes d'Europe ont décidé de mettre en place des mesures restrictives à l'égard des transports routiers. Les Low Emission Zones (LEZ) ou zones à faible émission restreignent l'accès aux véhicules dont les émissions polluantes sont au-dessus des normes établies. Les LEZ visent principalement à réduire les concentrations de particules en suspension (PM), de NO_x et indirectement d'ozone (O₃).

¹ Aphekom est un projet européen qui a évalué l'impact sanitaire et économique de la pollution atmosphérique urbaine dans 25 villes européennes

² Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg et Toulouse

En juin 2015, le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie a présenté une série de mesures pour lutter contre la pollution de l'air avec notamment l'attribution de certificats automobiles conférant aux propriétaires de véhicules les moins polluants certains avantages. Cette même année, GrDF et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ont mis en place un dispositif de soutien à l'achat de véhicules fonctionnant au gaz naturel comprimé circulant dans la vallée de l'Arve en Haute-Savoie. Aussi, la Mairie de Paris souhaite augmenter le nombre de zones limitées à 30 km/h dans la capitale.

Le nombre croissant d'interventions visant à améliorer la qualité de l'air encourage la mise en place d'études rigoureuses documentant l'impact de ces mesures sur la santé des populations. L'intérêt de ces études est d'autant plus important que leurs résultats peuvent avoir valeur d'exemples pour inciter les décideurs à agir contre la pollution atmosphérique. Elles permettent aussi d'approfondir les connaissances sur les relations entre polluants et effets sur la santé.

Avant de poursuivre, il convient de préciser qu'il existe deux grandes approches parmi les études d'intervention : les évaluations quantitatives d'impact sanitaire (EQIS) et les approches épidémiologiques étiologiques. Ces dernières permettent d'établir un éventuel lien entre diminution de la pollution atmosphérique et amélioration de la santé et il en existe plusieurs types. Les EQIS utilisent les risques relatifs produits par les études épidémiologiques pour quantifier un impact sur la santé de la population, elles n'apportent pas de connaissances supplémentaires sur le lien entre polluants de l'air et effets sur la santé.

2. OBJECTIF

Les « études d'intervention », se définissent ici comme des études qui analysent ou quantifient l'impact sur la santé de la mise en œuvre de toute action identifiée ayant pour effet de modifier la qualité de l'air.

L'objectif de ce travail est de recenser les études d'interventions et d'identifier les méthodes les plus adaptées pour mesurer cet impact.

Cet objectif général en amène d'autres : quelles études choisir pour quels objectifs ? Quels indicateurs sont à prendre en compte ?

Pour répondre aux objectifs de ce travail, il a été décidé de réaliser une revue de la littérature.

3. MÉTHODOLOGIE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

3.1 Définition des mots-clés et critères de sélection

Les travaux réalisés dans le cadre des projets Aphekom [8] et Prequalif [9] ont servi de base à ce travail de recherche bibliographique. En incluant les études publiées à partir de 2011, cette revue actualise ces précédents travaux.

Les interventions conduisant à une amélioration de la qualité de l'air peuvent-être très différentes. La difficulté de cette recherche documentaire est l'absence de terme générique commun aux différentes interventions. Il a donc fallu veiller, lors de la définition des mots-clés, à ne pas exclure certains types d'intervention.

Plusieurs critères de sélection ont été définis en amont du travail de recherche documentaire : les études épidémiologiques publiées avant 2011 n'ont pas été incluses dans la revue ; les textes en français ou en anglais devaient obligatoirement être disponibles dans leur intégralité ; toutes les études choisies évaluent les impacts sur la santé d'interventions sur la qualité de l'air. La zone géographique de l'intervention n'a pas été un critère.

La recherche bibliographique a été faite à partir des mots-clés suivants : « air pollution », « increase* », « decrease* », « decline », « reduced », « reduction », « improved », « beneficial effect », « intervention », « strike », « low emission zone », « olympic games », « control measure », « health benefit », « emission control » et « improved air ».

3.2 Résumé des équations de recherche

Pour cette recherche, les moteurs de recherche Google Scholar et PubMed ont été interrogés. Le tableau ci-dessous résume les équations de recherche élaborées à partir des mots-clés.

Tableau 1 |

Récapitulatif des équations de recherche utilisées

Moteurs de recherche	Equations de recherche
PubMed	"air pollution" AND (increase* OR decrease* OR reduced OR improved OR "beneficial effect*" OR decline* OR reduction*) AND ("2011/01/01"[PDAT] : "3000/12/31"[PDAT])
Google	"air pollution" AND (intervention OR "olympic game" OR strike OR low emission zone" OR "control measure" OR "health benefit" OR "emission control area" OR "improved air") Puis sélection des études à partir de 2011

3.3 Construction de la grille de lecture

Afin de recueillir et structurer les informations tirées des articles retenus, une grille de lecture a été construite (Annexe 1). Les critères qui la composent permettent de faciliter l'analyse des résultats de la revue bibliographique. Les items suivants y sont intégrés :

- Type d'intervention
- Auteurs
- Lieu / Période / Contrôle
- Population
- Indicateurs pour la pollution
- Indicateurs sanitaires
- Type d'étude
- Résultats sur la pollution
- Résultats sur la santé
- Commentaires

Les études ont en plus été classées en deux catégories : études épidémiologiques et évaluations quantitatives d'impact sanitaire, puis dans sept grandes familles d'interventions. Pour une question de cohérence, la construction des groupes a suivi les deux revues sur lesquelles s'appuient ce travail [8, 9] :

- Les interventions impactant le trafic automobile : ce groupe rassemble toutes les interventions ciblant uniquement la pollution engendrée par le transport routier ;
- Les jeux sportifs : dans ce groupe sont rassemblées les études analysant les impacts de l'organisation de rassemblements sportifs. Ces interventions peuvent cibler différentes sources de polluants. La spécificité de ce type d'intervention réside dans la nature ponctuelle des mesures mises en place ;
- Les changements de composition des carburants : ici sont rassemblées les études analysant les effets de la mise en œuvre de mesures visant à modifier les composants des carburants ;

- Les interventions concernant le chauffage domestique : ce groupe rassemble les travaux traitant de l'impact d'interventions ciblant l'utilisation de combustibles végétaux en tant que source d'énergie ;
- Les fermetures d'usines : dans cette famille sont présentées les études analysant les effets de l'arrêt de fonctionnement d'usines ;
- Les interventions visant plusieurs sources de polluants à la fois : ce groupe rassemble des études d'interventions ciblant plusieurs sources de pollution à la fois.

D'autres articles traitent d'interventions projetées. Ces évaluations peuvent s'avérer utiles pour prédire l'impact d'un projet futur et aider à en planifier le développement. La quantification des impacts sanitaires de ce type d'intervention est traitée par des EQIS.

4. RÉSULTATS

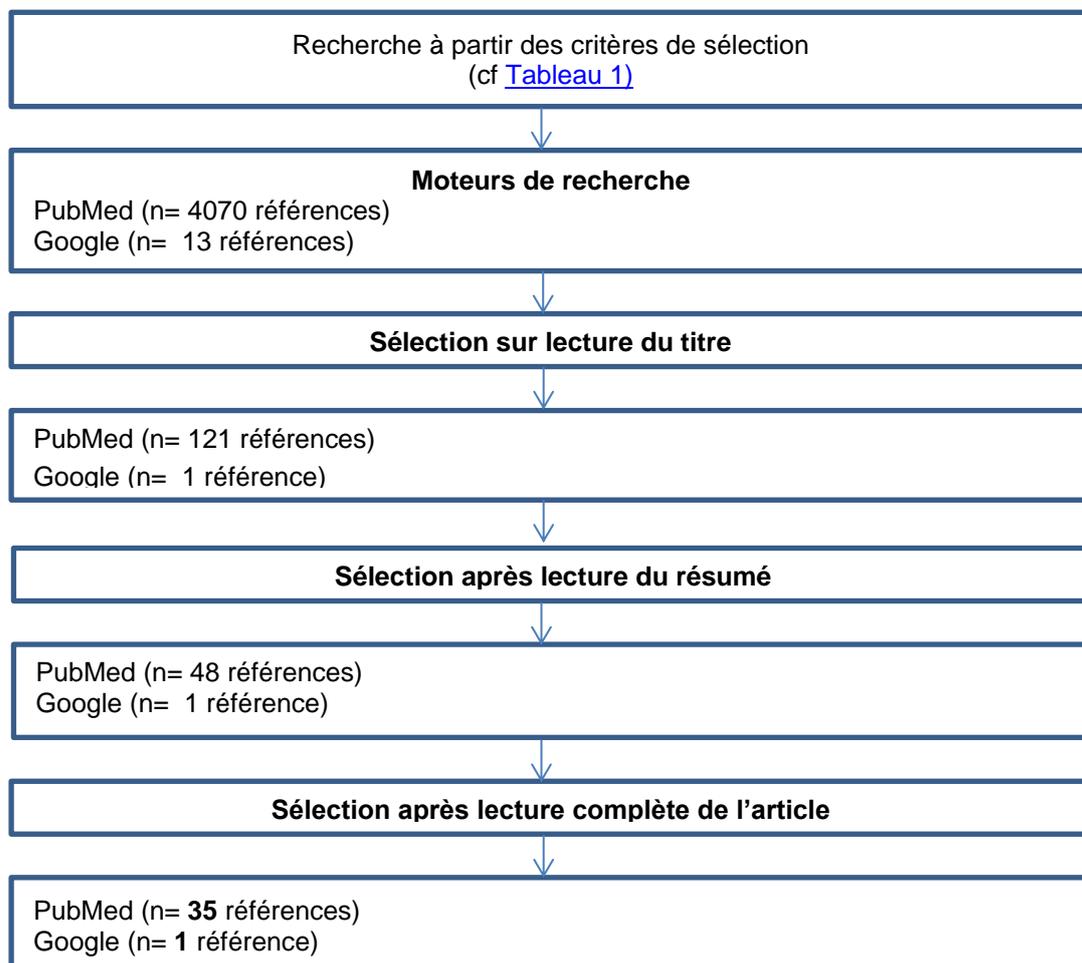
4.1 Diagramme de flux

La volonté de ne pas construire des équations de recherche trop restrictives s'est traduite par un grand nombre de résultats.

Le diagramme de flux présenté ci-dessous illustre le cheminement suivi lors de cette recherche documentaire.

I Figure 1 I

Diagramme de flux



4.2 Les études identifiées

Sur les 65 études identifiées, 47 sont des études épidémiologiques et 18 sont des EQIS (5 sur la base de variations constatées des niveaux de pollution atmosphérique et 13 sur la base de variations projetées de ces niveaux).

En conditions réelles, parmi les 47 études épidémiologiques, seules à même de prouver l'effet de l'intervention sur la santé, 45 mettent en évidence une baisse de la pollution atmosphérique et un effet favorable sur la santé.

Les EQIS sont mises en œuvre lorsqu'une étude épidémiologique n'est pas envisageable, elles ne peuvent pas prouver l'effet de l'intervention sur la santé, mais elles permettent de quantifier l'impact sanitaire d'une intervention effective ou projetée de réduction des niveaux de pollution.

Par type d'intervention :

- Les interventions impactant le trafic automobile

Sur les 9 études, 8 sont des études épidémiologiques, une est une EQIS.

Toutes les études épidémiologiques mettent en évidence une baisse de la pollution de l'air et un effet bénéfique pour la santé.

- Les jeux sportifs

Sur les 16 études, 15 sont des études épidémiologiques, une est une EQIS.

Toutes les études épidémiologiques mettent en évidence une baisse de la pollution de l'air et un effet sanitaire favorable.

- Les changements de composition des carburants

Sur les cinq études, quatre sont des études épidémiologiques, une est une EQIS.

Parmi les quatre études épidémiologiques, trois mettent en évidence une baisse de la pollution atmosphérique et un effet sanitaire favorable.

- Les interventions relatives au chauffage domestique

Les quatre études sont des études épidémiologiques. Elles mettent en évidence une baisse de la pollution de l'air et un effet sanitaire favorable.

- Les fermetures d'usines

Les 8 études sont des études épidémiologiques. Parmi elles, sept mettent en évidence une baisse de la PA et un effet sanitaire favorable.

- Les interventions sur des sources multiples

Sur les 10 études, 8 sont des études épidémiologiques, deux sont des EQIS.

Toutes les études épidémiologiques mettent en évidence une baisse de la pollution de l'air et un effet sanitaire favorable.

4.3 Résultats des études épidémiologiques

4.3.1 Les jeux sportifs

*Jeux Olympiques d'Atlanta, Etats-Unis, 1996*³

Cette intervention n'a été traitée que dans les revues de Henschel et al. [8] et Ségala et al. [9].

³ Date de l'intervention

Une étude écologique temporelle a montré que pendant les jeux, les valeurs des maximums quotidiens de $[O_3]^4$ mesurés dans chaque comté ont diminué de 28 %. Les visites aux urgences et les hospitalisations pour asthme des enfants ont aussi baissé de 11 à 44 % selon les hôpitaux et services [10].

Une seconde étude écologique temporelle a mis en évidence une baisse de 30 % de $[O_3]$ maximum horaire pendant les jeux mais cette dernière a été observée dans toute la région. Les auteurs réfutent les résultats de la première étude en avançant l'argument du manque de prise en considération des tendances saisonnières et du potentiel changement de comportement des habitants pour ce qui est du recours aux soins [11].

Jeux d'Asie, Corée, 2002

Lors des jeux asiatiques de Busan, le trafic routier a été réduit dans la ville.

Cette étude écologique temporelle a mis en évidence une baisse de 1 à 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (O_3 , CO, PM_{10} , NO_2 et SO_2) durant les jeux. Le risque d'être hospitalisé pour asthme a baissé de 27 % chez les moins de 15 ans [9, 12].

Jeux Olympiques (JO) de Pékin, Chine, 2008

Pour améliorer la qualité de l'air pendant les Jeux, la ville de Pékin a déménagé et fermé plusieurs usines, a réduit le trafic routier et a interdit l'accès aux véhicules les plus polluants.

Une étude de panel trouve une association entre l'amélioration de la qualité de l'air pendant les jeux et l'amélioration de la variabilité de la fréquence cardiaque chez des patients âgés souffrant d'une pathologie CV. L'exposition a été mesurée grâce à des capteurs individuels portés en permanence par les individus du panel [8, 13].

Une étude de panel montre que, pendant les JO, il y a eu une baisse des moyennes horaires de 70 % de $[PM_{2,5}]$, et de 64 % de [BC] au niveau d'un capteur placé à 650 m d'une école. Chez les enfants scolarisés dans cette école, une baisse de 27 % de l'eNO (un marqueur de l'inflammation des voies aériennes) a été mesurée [14].

Grâce à l'utilisation de capteurs individuels placés à l'intérieur des taxis, une étude de panel a mis en évidence un changement dans la composition des $PM_{2,5}$ pendant les JO. La variabilité de la fréquence cardiaque des chauffeurs de taxis est fortement associée à l'exposition au nickel, fer et calcium présents dans les $PM_{2,5}$ [15].

Une étude écologique temporelle a mesuré une baisse des niveaux ambiants de $PM_{2,5}$ et d' O_3 de 41% et 7 % pendant la période des jeux et une baisse significative du nombre de consultations pour asthme. Pour estimer l'exposition, les auteurs ont calculé les moyennes quotidiennes des valeurs relevées par trois stations de mesure implantées dans la ville [8, 16].

Dans une étude écologique temporelle, une baisse de 45 % des $[PM_{10}]$, de 37 % de $[SO_2]$, de 13 % de $[NO_2]$ et de 13 % de $[O_3]$ pendant les jeux a été mesurée par 4 stations réparties dans Pékin. Les auteurs ont observé une diminution de 42 % des consultations pour asthme entre avant et pendant les JO [9, 17]. Pendant les jeux, une étude de panel a mis en évidence une diminution de 28 % des [BC] et $[PM_{2,5}]$ au niveau d'une station de mesure située à 3 km du lieu de vie de la population d'étude. Elle montre une amélioration des indices de variabilité de la fréquence cardiaque [9, 18].

Une étude de panel a mis en évidence une chute des concentrations moyennes quotidiennes de $PM_{2,5}$ et NO_2 entre les périodes avant et pendant JO. Ces baisses sont de 27 % pour les $[PM_{2,5}]$, de 43 % pour $[NO_2]$, de 60 % pour $[SO_2]$ et pendant les JO au niveau d'un capteur placé sur le toit d'un hôpital. En revanche, une augmentation de 24 % pour $[O_3]$ a été observée. Les auteurs ont mis en évidence une baisse significative de la concentration de protéines impliquées dans les troubles de coagulation du sang chez des personnes travaillant dans l'hôpital [19].

Une étude de panel a mis en évidence une baisse journalière de 27 % des $[PM_{2,5}]$, de 60 % de $[SO_2]$, de 43 % de $[NO_2]$ et de 36 % de [EC] grâce à une station de mesure de l'air ambiant localisée sur le toit d'un bâtiment. Elle met en évidence une diminution de la pression artérielle, des biomarqueurs d'inflammation, de stress oxydatif et d'hémostase chez la population vivant à moins de 5 km de la station [9, 20].

⁴ Les crochets [] indiquent qu'il s'agit d'une concentration

Une étude de panel a montré que pendant les JO, l'Air Pollution Index a baissé de 28 % au niveau de la station de mesure située à 1 km du lieu de vie de la population d'étude. Une baisse de 16 % des protéines vWF plasmatiques dont les niveaux de concentration sont corrélés à des maladies CV a été mesurée dans le panel [21].

Une étude de panel a mis en évidence une chute de moitié des niveaux ambiants de PM entre avant et pendant les JO. Un appareil situé dans une communauté et mesurant la pollution tous les 4 jours a été utilisé. Pendant les JO, il y a eu une hausse du débit expiratoire de pointe (DEP) de 13 à 17 % et une baisse de la fréquence respiratoire d'environ 3 à 4 % chez les 201 membres de la communauté inclus dans l'étude [22].

Une étude transversale répétée a mesuré que pour une hausse de $19,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, de $0,34 \text{ mg}/\text{m}^3$ de CO, de $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 et de $25,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 était associée une baisse de respectivement 18 g, 17g, 23 g et 34 g du poids de naissance. Les auteurs ont utilisé les données journalières de stations de mesures réparties dans les quatre districts de Pékin. Ils ont comparé les indicateurs relevés pendant les JO de 2008 et ceux de 2007 et 2009 [23].

Jeux d'Asie, Chine, 2010

En 2010, pour diminuer les niveaux de pollution en vue de l'organisation des Asian Games à Guangzhou en Chine, plusieurs mesures ont été prises. Les autorités ont mis en place la circulation alternée, ont interdit la circulation des poids-lourds et ont pris des mesures pour réduire les émissions industrielles.

Une étude écologique temporelle a montré que les niveaux ambiants de NO_2 , PM_{10} et SO_2 ont diminué respectivement de 3,3 %, 9,2% et 4,2 % entre avant et pendant les jeux. La mesure de l'exposition repose sur les données quotidiennes relevées par trois stations de mesure réparties dans la ville de Guangzhou. La mortalité non-accidentelle a baissé de 22,8%, la mortalité CV de 26,1% et la mortalité respiratoire de 24,1% [24].

Conclusion

Pour ce type d'intervention, les indicateurs sanitaires retrouvés sont la mortalité, les consultations pour asthme, des dosages de protéines impliquées dans des troubles de la coagulation sanguine, des mesures de la fonction respiratoire et cardiaque. L'exposition à la pollution de l'air est mesurée individuellement dans une seule étude [15], les autres utilisent des données relevées par des stations de mesure fixes situées de quelques mètres à plusieurs kilomètres des populations d'étude. Les indicateurs de pollution étudiés sont les PM, le NO_2 , le SO_2 , l' O_3 , le CO et le BC. Lin et al. [14] ont mesuré le BC et deux autres études ont pris en considération les changements dans la composition des $\text{PM}_{2,5}$ pendant les jeux [15, 19, 25].

Quels que soient les indicateurs de pollution choisis, les études concluent toutes à une réduction des niveaux de pollution et à une amélioration de l'état de santé pendant la période des jeux. Seule une étude [19] a mesuré une hausse des niveaux d' O_3 (+24 %) pendant les JO de Pékin. Bien qu'en contradiction avec l'étude de Li et al. [16], qui rapporte une baisse des concentrations en O_3 pendant les JO, ce résultat n'a pas été discuté par les auteurs.

4.3.2 Les interventions impactant le trafic automobile

Construction d'une déviation au Pays de Galles, Royaume-Uni, 1998

Grâce à des modélisations, il a été estimé dans le cadre d'une étude de cohorte que la diminution du trafic dans une ville du Pays de Galles a été suivie par une diminution de 23 à 29 % des PM_{10} les semaines suivant l'intervention. Le questionnaire administré un an après l'ouverture de la déviation a montré une amélioration des fonctions respiratoires chez les habitants des rues anciennement congestionnées (-11 % de rhinites, -2 % de toux) [9, 26].

Décongestionnement du centre-ville d'Oxford, Royaume-Uni, 1999

En 1999, avec l'Oxford Transport Strategy, la ville d'Oxford a mis en place des mesures pour réduire durablement le trafic automobile en centre-ville.

Les modèles ont permis de conclure à une baisse du NO₂ jusqu'à 100 m autour des logements des enfants. L'étude de panel a montré qu'entre 1999 et 2000, une augmentation du DEP et une baisse de 23 % des sifflements respiratoires ont été observées chez les enfants [9, 27].

The Automobile NO_x/PM law, Japon, 2001

Au Japon, une loi visant à diminuer les émissions de NO_x et de PM provenant des automobiles a été promulguée en 2001. Les véhicules ne respectant pas les critères définis dans la loi ne peuvent plus accéder à certaines zones.

Une étude écologique mixte a analysé l'impact de cette loi sur l'évolution des niveaux de NO₂, de particules en suspension de diamètre inférieur à 7,5 µm et sur la santé respiratoire des enfants. Les résultats de cette étude menée entre 1997 et 2009 montrent que les changements, à la fois sur la qualité de l'air et sur la santé sont très peu marqués. Les niveaux de fond annuels mesurés pour le [NO₂] et les particules ont respectivement diminué de 0,70 % et 1,38 % après mise en place des mesures (2006-2009). Chaque station de mesure est utilisée pour rendre compte des niveaux de polluants sur un territoire de 30 km² en moyenne. Dans les zones impactées par la loi, les prévalences des problèmes respiratoires des enfants de moins de 3 ans ont baissé significativement de 0,073 % par an [28].

Instauration de télépéages en Pennsylvanie, Etats-Unis, 1997-2001

En Pennsylvanie, des télépéages ont été mis en place au niveau d'anciens péages afin de réduire les embouteillages. Entre 1997 et 2001, l'instauration du système a été suivie d'une baisse de 10,8 % de [NO₂], de 8,5 à 11 % du nombre de naissances prématurées et de 6,7 à 9,2 % d'enfants avec un faible poids de naissance selon une étude écologique temporelle prenant en compte des données relevées de 1989 à 2009 [9, 29].

Instauration de péages urbains à Londres, Royaume-Uni, 2003

Les péages urbains mis en place à Londres ont, d'après des modèles, permis de réduire de 0,4 à 2,3 % les niveaux de NO_x et de 0,1 à 0,8 % ceux de PM₁₀. La baisse de pollution est plus importante dans les zones défavorisées. Une étude écologique géographique a montré qu'en 2003 et 2004, les hospitalisations pour problèmes respiratoires ont diminué de 3 %. L'étude montre que les résultats sur la santé sont nuancés selon le statut socioéconomique des individus [8, 9, 30, 31].

Renforcement de la politique de contrôle des émissions Diesel à Tokyo, Japon, 2006

En 2006, le gouvernement métropolitain de Tokyo et la préfecture de Saitama ont renforcé les réglementations sur les véhicules Diesel.

D'après les résultats d'une étude écologique temporelle, les [NO₂] et [PM_{2,5}] journalières mesurées par deux stations ont respectivement baissé de 12 % et 11 % entre 2003 et 2008. Entre 2006 et 2008, une baisse de la mortalité cérébro-vasculaire de 8,5% a été observée. Il n'y a pas de résultats significatifs pour les autres causes de mortalité [32].

Péages urbains et politiques locales de réduction du trafic, Pays-Bas, 2013

Aux Pays-Bas, des politiques locales de réduction du trafic sont appliquées dans le cadre de Low Emission Zones notamment.

Dans le cadre d'une étude de cohorte, les auteurs ont mesuré les niveaux de pollution et la fonction respiratoire des habitants de huit zones urbaines et quatre zones suburbaines. Les stations de mesures étaient situées à 500 m maximum du logement des participants. Les [NO₂] et [PM₁₀] mesurés de façon hebdomadaire ont significativement baissé entre 2008 et 2010. Les réductions des niveaux de suie, NO₂, Cu et Fe dans les 6 mois suivant l'intervention sont associées à l'augmentation de la capacité vitale forcée (CVF). La résistance des voies aériennes diminue avec la baisse des niveaux de PM₁₀ et PM_{2,5}. Les auteurs n'ont pas relevé de changements significatifs pour l'oxyde nitrique exhalé (eNO) (marqueur de l'inflammation des voies aériennes) [33].

Conclusion

Dans ce groupe d'interventions impactant le trafic automobile, les indicateurs sanitaires étudiés sont relatifs à la mortalité et la morbidité respiratoire et CV, aux admissions hospitalières pour problèmes respiratoires, aux naissances prématurées, aux faibles poids de naissance, à l'inflammation des voies respiratoires (eNO) et aux capacités pulmonaires. Les indicateurs de pollution sont les PM et les NO_x.

La plupart des études utilisent des mesures de concentrations de polluants relevées grâce à des stations fixes situées de 100 m à plusieurs kilomètres des populations d'étude. D'autres utilisent des modélisations des niveaux de polluants dans l'air.

Les interventions impliquant la mise en place de péages urbains ou le décongestionnement des routes montrent les résultats les plus encourageants. Sont recensées ici des études écologiques, de cohorte, de panel. L'étude japonaise sur la loi NO_x/PM se distingue des autres par ses résultats sanitaires positifs qui bien que significatifs, sont peu marqués.

4.3.3 Les changements de composition des carburants

Programme d'élimination du plomb dans les carburants, Taïwan, 1981-2000

En 1981, Taïwan a instauré un programme en 4 phases visant à éliminer progressivement le plomb des carburants. Entre 1981 et 2007, le taux de plomb a chuté de 99 %.

S'intéressant aux effets de cette intervention, une étude écologique temporelle a montré qu'entre 1981 et 2007, la mortalité toutes causes a baissé de 40 %, la mortalité cérébro-vasculaire de 71 %, la mortalité cardiaque de 48 %, la mortalité pour cause d'hypertension de 82 % et celle liée à des troubles rénaux de 19 % [34].

Diminution du soufre dans les carburants, Chine, 1990

En juillet 1990, le gouvernement de Hong-Kong a imposé que les carburants ne contiennent pas plus de 0,5 % de soufre. Cette intervention a été traitée dans trois études incluses dans les revues [8, 9].

Une première étude de cohorte a montré qu'entre 1989 et 1991, dans les districts pollués, les niveaux quotidiens mesurés de [SO₂] et [SO₄] ont respectivement baissé de 80 % et 38 %. Sur la même période, les symptômes de toux et maux de gorge et de sifflements ont diminué de 8 % et 3 % [9, 35].

Une seconde étude de cohorte a mis en évidence une baisse de 124,5 mg/m³ de [SO₂] et une diminution de 13 % des indices d'hyperréactivité bronchique un an après l'intervention [8, 9, 36].

Une étude écologique temporelle montre qu'en 1991, la moyenne annuelle de [SO₂] a baissé de 53 % puis est remonté de 18 % cinq ans après. Trois ans après l'intervention, la mortalité annuelle toutes causes était égale à celle d'avant. Les auteurs ont utilisé les moyennes mensuelles des concentrations relevées par cinq stations de mesure fixes [8, 9, 37].

Conclusion

Pour cette catégorie d'intervention, les études recensées utilisent des données individuelles (études de cohorte) et collectives (études écologiques temporelles). Les indicateurs sanitaires étudiés sont les symptômes de toux, les maux de gorge et l'hyperréactivité bronchique, les mortalités toutes causes, CV et respiratoire. Une étude prend en compte la mortalité liée à une néphropathie et montre que cet indicateur sanitaire est fortement associé à la chute des taux de plomb dans le carburant [34]. Les indicateurs de pollution étudiés sont le SO₂ et le SO₄.

Les résultats de ces interventions sont bénéfiques sur la qualité de l'air et sur la santé. Les mesures prises pour diminuer les taux de SO₂ et de plomb dans l'air montrent les résultats les plus marqués.

4.3.4 Les interventions relatives au chauffage domestique

Interdiction de commercialiser, vendre ou distribuer du charbon, Irlande, 1990

Dans les années 1990, les restrictions concernant le charbon se sont généralisées progressivement à l'ensemble de l'Irlande. En 1990, ces réglementations ont été instaurées à Dublin puis en 1995, 1998 et 2000, 11 autres villes irlandaises ont suivi son exemple.

Une étude écologique temporelle montre qu'après l'intervention, de 1990 à 1996, la moyenne des concentrations journalières mesurées de fumées noires a baissé de 70% et celle de SO₂ de 34%. Les données de pollution proviennent de six stations de mesure réparties dans Dublin. Sur la même période, les décès d'origine non traumatique, respiratoire et CV ont baissé respectivement de 6 %, 15 % et 10 % [38].

Une étude écologique temporelle a inclus des données relevées chaque année de 1981 à 2004. Les données de pollution recueillies grâce à plusieurs stations de mesures présentes dans chacune des villes. Les résultats montrent que les fumées noires ont baissé en moyenne de 45 % après l'intervention. Rien de significatif n'a été mis en évidence pour le SO₂. Les auteurs supposent que la combustion du charbon n'est pas la principale source de SO₂ ou que les instruments de mesures utilisés ne sont pas suffisamment sensibles pour détecter une différence. Les résultats de l'étude montrent qu'après l'intervention, la mortalité toutes causes confondues a peu baissé, la mortalité respiratoire a diminué jusqu'à 9 % et les admissions pour problème CV ont diminué de 3 à 4 %. La baisse des admissions pour problème respiratoire n'est pas significative. Cependant, avant 1995, les admissions n'ont pas été systématiquement enregistrées, donc ce résultat est difficilement interprétable [39].

Campagne d'éducation, de renforcement des réglementations et de remplacements des appareils de chauffage, Australie, 2001

Une étude écologique temporelle a montré qu'entre 2001 et 2007, après l'intervention, la moyenne annuelle de [PM₁₀] a baissé de 13 % et la moyenne hivernale de [PM₁₀] de 39 %. Les données d'exposition, recueillies un jour sur six, proviennent de plusieurs stations de mesures du centre-ville. Durant la même période, sur toute l'année, les mortalités toutes causes, CV et respiratoire ont significativement diminué chez les hommes de respectivement 11,4%, 17,9% et 22,8%. L'hiver, les baisses observées pour la mortalité respiratoire et CV chez les deux sexes et chez les femmes uniquement ne sont pas significatives. D'après les auteurs, du fait de la faiblesse de la taille de la population l'étude pourrait souffrir d'un manque de puissance statistique [40].

Remplacement des poêles à bois dans une région montagneuse rurale, Etats-Unis, 2005-2007

Dès 2005, dans la communauté de Libby, Montana, un programme de remplacement des anciens poêles à bois par des modèles plus modernes a été instauré.

Les résultats d'une étude transversale répétée indiquent que lors des deux hivers ayant suivi l'intervention (2007-2008 et 2008-2009) les niveaux journaliers de [PM_{2,5}] ont baissé de 27,6 %. Ces mesures ont été faites par une station située à 1 km des écoles fréquentées par la population d'étude. Les auteurs observent que pour une baisse de 5 µg/m³, la survenue des sifflements respiratoires dans cette population au cours des deux derniers mois baisse de 26,7 %, celle des bronchites de 54,6 %, celle des rhumes de 25,4 %, celle des gripes de 52,3 % et celle des infections de la gorge de 45,1 %. L'état de santé a été mesuré grâce à des indicateurs de santé déclarée [41].

Conclusion

Les interventions relatives au chauffage domestique sont traitées par des études transversales répétées et des études écologiques temporelles. Les indicateurs sanitaires retenus sont les mortalités toutes causes, respiratoire, CV, les admissions à l'hôpital pour trouble respiratoire et CV et la prévalence des sifflements, rhumes, bronchites, gripes et infections de la gorge. L'exposition à la pollution, mesurée par des stations fixes, est évaluée grâce aux indicateurs suivants : [PM₁₀], [PM_{2,5}] et le [SO₂]. L'interprétation des résultats de ces interventions sur la santé n'est pas toujours évidente, notamment en termes de mortalité et d'admissions hospitalières pour problèmes respiratoires. En effet, les populations étudiées sont souvent de taille réduite, ce qui pose problème pour l'interprétation.

4.3.5 Les fermetures d'usines

Grève des employés d'une fonderie de cuivre, Etats-Unis, 1967-1968

Une étude écologique temporelle a analysé les effets qu'ont eus les fermetures temporaires de plusieurs fonderies. Au cours des 8,5 mois suivant le début de la grève, il y a eu une chute de 60 % des [PM] contenant des sulfates. Les auteurs ont mesuré une baisse d'environ 2,5 % de la mortalité les mois ayant suivi le début de la grève [8, 9, 42].

Fermeture temporaire d'une aciérie, Etats-Unis, 1986-1987

D'août 1986 à septembre 1987, une aciérie de la vallée de l'Utah est restée fermée. Trois études recensées par les deux revues [8, 9] traitent de cette intervention.

Une première étude écologique temporelle a montré que pendant la fermeture de l'usine, les hivers, les niveaux mensuels moyens de PM₁₀ mesurés ont baissé de 50 %, et chez les enfants, il y a eu trois fois moins d'admissions toutes causes et deux fois moins d'admissions pour cause de bronchite ou d'asthme [8, 43].

Une seconde étude écologique temporelle a mis en évidence une baisse de 50 % des [PM₁₀] les deux années suivant la fermeture et une baisse de 14 % du risque d'accoucher prématurément pour les femmes ayant vécu leur second semestre de grossesse pendant la fermeture de l'usine [9, 44].

Une autre étude écologique temporelle a montré que pendant toute la durée de la fermeture, les niveaux mesurés de [PM₁₀] ont chuté de 15 µg/m³ et la mortalité journalière a baissé de 3 %. Les données de pollution proviennent de trois stations de mesure situées de 1 à 9 km de l'usine et à proximité des logements de la population d'étude [8, 45].

La réunification allemande, Allemagne, 1989-1990

La réunification allemande a provoqué la fermeture de nombreuses entreprises industrielles et a amélioré la qualité de l'air extérieur. Cette intervention a été traitée par trois études.

Une étude écologique temporelle montre des baisses de [PM₁₀], [PM_{2.5}] et [CO] supérieures à 50 %, et de 94 % pour [SO₂]. Deux stations de mesures de la ville d'Erfurt ont permis de recueillir quotidiennement les concentrations de ces polluants. Une association a été trouvée entre baisse des niveaux de [NO₂], [CO], [O₃] et une diminution de la mortalité journalière [8, 9, 46].

Deux études transversales répétées ont été faites. La première a mesuré une chute de 69 % des concentrations annuelles en PM et de 95 % de celle en SO₂ [8, 47]. Les données de pollution sont issues de trois stations mesurant la pollution de fond. La seconde a mesuré une baisse de 43 % des concentrations annuelles en particules [9, 48]. Ces deux études ont mis en évidence une amélioration de la fonction pulmonaire chez les enfants les années suivant la réunification.

Fermeture d'une aciérie, Australie, 1999

En octobre 1999, une aciérie a fermé dans la région du Lower Hunter en Australie.

Une étude écologique a été menée pour étudier l'impact sur la santé de la fermeture de cette usine. Il n'y a pas eu de mesures ni de modélisations de l'évolution des niveaux de polluants atmosphériques. L'étude repose sur les résultats de deux travaux montrant que les niveaux de PM, NO₂ et SO₂ ont diminué après la fermeture de l'usine. Après l'intervention, les admissions à l'hôpital ont baissé en moyenne de 11,7 % et celles pour cause d'asthme de 37 %. Il s'avère que l'amélioration des indicateurs de santé est plus importante dans les zones les plus proches de l'usine. Un résultat inattendu a été observé: les admissions pour cause de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) chez les 65 ans et plus ont augmenté de 30 %. Les auteurs soulignent que ce résultat peut s'expliquer par le changement dans la définition du diagnostic de la BPCO intervenu pendant la période d'étude [49].

Conclusion

Concernant les fermetures d'usines, des études écologiques et des études transversales répétées ont été réalisées pour ce type d'intervention. Les données de mortalité toutes causes, les admissions pour problèmes respiratoires et les naissances prématurées sont prises en compte dans cette catégorie d'interventions. Les PM sont utilisées comme indicateurs de pollution dans l'ensemble des études. On retrouve aussi le NO₂ et le SO₂. Dans la plupart des études, l'exposition de la population a été évaluée par des mesures de la pollution ambiante. Ce type d'intervention montre des résultats bénéfiques sur les niveaux de pollution et la santé. Les fermetures d'aciéries sont les interventions qui semblent avoir le plus gros impact sur la santé.

4.3.6 Les interventions sur des sources multiples

Mesures de lutte contre la pollution, Suisse, 1985 et années 1990

Après le Swiss Clean Air Act en 1985, la Suisse a pris différentes mesures pour réduire la pollution de l'air dans le pays. Les émissions des industries ont été réglementées, des carburants moins riches en

soufre et des pots catalytiques ont été mis sur le marché. Deux études d'une des revues [9] ont travaillé sur les impacts de cette intervention.

Une étude transversale répétée a montré que la moyenne mesurée de $[PM_{10}]$ a diminué de $9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1993 et 2000. La pollution de l'air a été mesurée par des stations situées à 5 km maximum de la population. Les auteurs ont mis en évidence une association entre la baisse des $[PM_{10}]$ annuelles et celle des prévalences de toux, bronchite, rhume et conjonctivite [50].

A l'aide d'un modèle de dispersion, une étude de cohorte a conclu que les $[PM_{10}]$ ont en moyenne baissé de $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1991 et 2002. Le risque de souffrir de toux, d'expectorations ou de gêne respiratoire a baissé jusqu'à 30 % après l'instauration des mesures [51].

Clean Air Act, Etats-Unis, 1970, 1977, 1990

Le Clean Air Act est une loi environnementale fédérale instaurée dans le but d'améliorer la qualité de l'air. Des mesures visant à limiter les émissions de sources industrielles et automobiles ont été appliquées. Cette intervention a été traitée trois études recensées dans l'une des revues [9].

Une étude de cohorte a montré qu'entre 1979 et 1997 les niveaux quotidiens de $PM_{2,5}$ ont baissé de 1 à $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans six villes. L'exposition d'un membre de la cohorte est évaluée par le niveau moyen des $[PM_{2,5}]$ mesuré dans la ville où il réside. Les mortalités toutes causes, CV et par cancer du poumon sont toutes associées aux $PM_{2,5}$ [52].

Une étude écologique temporelle trouve une association entre baisse des niveaux annuels mesurés de $PM_{2,5}$, de PM_{10} et une baisse de la mortalité liée à une maladie CV de 1,2 % et liée à un problème respiratoire de 1,6 % [53].

Enfin, une étude écologique géographique trouve une baisse moyenne de $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des $PM_{2,5}$ entre la période 1979-1983 et celle de 1999 à 2000. Une moyenne de l'exposition quotidienne a été calculée pour chacune des 51 zones considérées et ce, à partir des mesures de stations fixes. L'exposition aux $[PM_{2,5}]$, mesurée quotidiennement par des stations fixes, a été considérée à l'échelle du comté. La baisse de la pollution est associée à une augmentation de l'espérance de vie de 2,7 ans [54]. Une étude écologique combinant approche temporelle et géographique a montré qu'une baisse de $[PM_{2,5}]$ de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est associée à un gain moyen d'espérance de vie de 0,35 an sur l'ensemble du territoire des Etats-Unis. Le gain d'espérance de vie est plus important chez les populations urbaines et dans les zones où la densité est la plus importante [55].

Les deux études américaines qui suivent se sont intéressées à l'effet global de la diminution de la pollution atmosphérique sous la contrainte d'une nouvelle réglementation plus sévère...

Politiques de contrôle des émissions de sources fixes et mobiles, Etats-Unis, 1994-2011

Depuis plusieurs années, différentes mesures visant à améliorer la qualité de l'air sont appliquées en Californie.

Dans une étude de cohorte, des augmentations de 91,4 ml et 65,5 ml de la VEMS sont respectivement associées à des baisses de $28,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 , de $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} et $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$. Les données de pollution quotidiennes proviennent de stations de mesure implantées dans chacune des communautés [56].

Programme régional de réduction des émissions de NO_x , Etats-Unis, 2004

L'agence américaine de protection de l'environnement (EPA) a instauré un programme de réduction des émissions d'oxydes d'azote ciblant principalement l'industrie électrique dans l'état de New-York en 2004.

Une étude écologique mixte a conclu à une baisse de $[O_3]$ de 5 % entre 1997 et 2006. Dans le même temps, les admissions à l'hôpital pour problème respiratoire ont diminué de 5 à 11 % selon les quartiers. Des mesures quotidiennes de $[O_3]$ et l'emploi d'une méthode d'interpolation spatiale ont permis d'estimer l'exposition [57].

Conclusion

Dans ces études, l'espérance de vie, les admissions à l'hôpital, les cas de maladies respiratoires, la mortalité et le nombre de décès évités sont retrouvés en tant qu'indicateurs de l'état sanitaire. Pour les

données de pollution les niveaux de PM, de NO₂ et d'O₃ sont utilisés. Dans chacun de ces articles, la pollution de l'air est mesurée par des stations fixes. La plupart des auteurs se servent de données provenant de plusieurs stations de mesure et calculent les moyennes de ces valeurs à l'échelle d'un territoire [52, 54] [55, 57]. Il est fait état d'impacts positifs des interventions sur la pollution de l'air et les indicateurs sanitaires. Les études avec prise en compte de plusieurs unités géographiques mettent en évidence des différences dans les résultats selon les états [54], les zones urbaines et non-urbaines [55] ou encore selon les quartiers d'une ville [57].

4.4 Résultats des évaluations quantitatives d'impact sanitaire

4.4.1 Les jeux sportifs

Jeux Olympiques (JO) de Pékin, Chine, 2008

Une seule étude a évalué par une EQIS les bénéfices sanitaires attendus d'une extension des mesures prises pendant les JO. Les fonctions exposition-risque utilisées ont été adaptées à partir d'estimations de l'Office of Environmental Health Hazard Assessment de l'EPA (OEHHA 2003). Les niveaux d'hydrocarbures aromatiques polycycliques mesurés sur le toit d'un immeuble pékinois ont baissé de 24 à 78 % pendant les JO. L'étude conclue que si l'intervention avait perduré, le risque de développer un cancer des voies respiratoires aurait diminué de 46 à 49 % chez les habitants de Pékin [25].

4.4.2 Les interventions impactant le trafic automobile

Création de deux zones à faibles émissions à Rome, Italie, 2001 à 2005

Deux zones à faibles émissions (LEZ) ont été implantées à Rome. Seuls des véhicules autorisés peuvent entrer dans ces zones tout au long de la journée. Des amendes sont envoyées aux contrevenants.

Dans une EQIS, les auteurs ont quantifié l'impact des [NO₂], [PM₁₀] sur la santé due à l'instauration de ces mesures. Des mesures nationales d'aide à l'acquisition de voitures plus propres ont été mises en place en même temps que les LEZ. Les fonctions exposition-risque utilisées sont issues d'une méta-analyse d'études de cohorte européennes et nord-américaines. Les auteurs ont estimé que dans toute la ville, entre 2001 et 2005, l'exposition annuelle moyenne au NO₂ a baissé de 26 % à 27 % et que 0,1 % de cette baisse est attribuable à la création des LEZ. Pour l'exposition aux PM₁₀, il y a eu une baisse de 23 % au sein desquels moins de 0,1 % est attribuable aux LEZ. Toutes les données de pollution ont été obtenues par des modélisations. Selon les scénarios, les personnes vivant à moins de 150 m d'une route à trafic important ont gagné de 685 à 921 années de vie pour 10 000 grâce à la baisse de [NO₂] et de 130 à 153 années de vie pour 100 000 grâce à la baisse de [PM₁₀]. Les auteurs trouvent des résultats environnementaux et sanitaires plus marquants chez les personnes vivant dans les deux LEZ et chez celles ayant un niveau socioéconomique élevé [58].

4.4.3 Les changements de composition des carburants

Diminution du taux de soufre dans les carburants, Europe, années 1990

Dans les années 1990, la Commission européenne a mis en place des politiques de réduction des taux de soufre dans les carburants avec pour effet, une baisse des moyennes annuelles mesurées de [SO₂] atteignant 75 %.

Les auteurs ont d'abord calculé la fonction exposition-risque induite par l'introduction de cette mesure, puis grâce à une EQIS, ils ont conclue qu'entre 1990 et 2007, cette intervention a permis d'éviter chaque année, 1 616 décès prématurés toutes causes, 127 décès pour cause de maladies respiratoires et 262 décès par maladies CV dans 14 villes européennes [59].

4.4.4 Les interventions sur des sources multiples

Politiques de réduction des émissions des centrales électriques au charbon, Etats-Unis 1995-2010

Depuis 1995, des mesures sont prises pour réduire les émissions polluantes des centrales électriques au charbon.

Une EQIS a étudié les impacts sur la santé de ces mesures dans l'état de Caroline du Nord. Les fonctions exposition-risque utilisées sont issues de deux méta-analyses de cohortes prospectives pour les PM_{2,5}-sulfates et les PM_{2,5} totales. Les mesures montrent qu'entre 2002 et 2012, les émissions annuelles de SO₂ ont baissé de 88,4 % et les [PM_{2,5} sulfate] annuelles ont chuté de 60,1 %. Le nombre de stations mesurant les [PM_{2,5} sulfate] en Caroline du Nord n'est pas précisé. Des moyennes des valeurs de [PM_{2,5} sulfate] ont été calculées afin d'avoir des estimations des niveaux de pollution à l'échelle régionale. Sur la même période, 1700 décès toutes causes, 970 décès liés à un problème cardiopulmonaire et 210 cancers du poumon ont été évités en Caroline du Nord [60].

Fermetures d'usines, réductions des émissions provenant de la combustion du charbon et désulfuration des carburants, Chine, 2003-2010

Dès 2003, des réglementations pour améliorer la qualité de l'air ont été prises dans la province de Shanxi. Ces mesures concernent les émissions provenant des sources fixes et mobiles.

Cette EQIS a utilisé les fonctions exposition-risque issues d'une méta-analyse privilégiant les études locales. Les auteurs ont constaté une diminution massive de 55 % des [PM₁₀] annuelles entre 2001 et 2010. Ces résultats proviennent des mesures de 8 stations réparties dans Taiyuan. D'après les résultats de leur EQIS, 141 457 visites en ambulatoire, 31 810 hospitalisations, 969 passages aux urgences, 959 cas de bronchites chroniques et 2810 décès prématurés ont été évités [61].

Sur la base de la nature des interventions envisagées, les évolutions des niveaux de polluants atmosphériques à la suite de la mise en œuvre de l'intervention sont modélisées. Il est alors possible, par la méthode d'EQIS, de prévoir les impacts (bénéfiques) sanitaires attendus de ces évolutions. Dans les études recensées ici, les scénarios prévisionnels de réduction des niveaux de pollution sont associés à des améliorations importantes de l'état de santé à la suite de l'intervention, notamment pour les interventions favorisant le remplacement de la voiture par le vélo dans les trajets urbains.

4.4.5 Les impacts d'interventions projetées

Programme d'inspection et de maintenance des véhicules Diesel et des motos, Thaïlande, années 1990

Les modélisations faites dans le cadre d'une EQIS ont permis de déterminer que les niveaux de [PM₁₀] baisseraient de 13 % grâce au programme. Les auteurs ont pris pour référence les mesures quotidiennes de PM₁₀ de l'année 2000. Ces données proviennent de 17 stations de mesures réparties dans la ville de Bangkok. Entre 2008 et 2015, il y aurait 913 décès, 9 865 bronchiolites, 890 admissions pour problème respiratoire, 787 admissions pour problème CV, 6 166 visites aux urgences et 37 924 crises d'asthme évités [62].

Instauration de péages urbains à Stockholm, Suède, 2006

En 2006, la municipalité de Stockholm a mis en place des péages pour accéder au centre-ville.

Après intervention, une EQIS prédit que les concentrations en PM₁₀ et NOx baisseront de 7,6 % et 10%. Les bénéfices sur la santé de cette intervention ont été estimés à 27 décès prématurés évités chaque année chez les habitants de Stockholm [8, 63].

Report de 3 ans des mesures sur les compositions des carburants et sur les émissions des véhicules diesel (Cleaner diesel technologies), Brésil, 2009

Au Brésil, l'implantation du Cleaner Diesel technologies a été reportée de 2009 à 2012. Les auteurs ont évalué les effets de ce report. Ils ont analysé la composition d'échantillons de PM_{2,5} afin de déterminer la contribution des transports dans ce type de pollution. En croisant ces données avec celles de l'inventaire des émissions, ils ont calculé l'évolution attendue des [PM_{2,5}] [64]. D'après les résultats de leur EQIS, sans le report de la mesure, en 2040, les émissions de PM_{2,5} auraient baissé de 75 %. Le report de l'intervention engendrerait 33097 hospitalisations supplémentaires pour maladies CV et respiratoires et 13 984 décès dus à des troubles CV et respiratoires.

Politique nationale d'abaissement des valeurs standards de [O₃], Etats-Unis, 2008 [65]

En 2008, l'EPA a baissé la moyenne maximale acceptable de [O₃] sur une période de 8h à 150 µg/m³.

Les résultats d'une EQIS montrent que le respect de cette norme devrait engendrer une baisse de 1,9 µg/m³ de [O₃]. Si la norme était fixée à 140 µg/m³, la diminution de la concentration d'ozone serait 6 fois supérieure. Pour la norme fixée à 120 µg/m³, l'étude prévoit entre 1410 et 2480 décès prématurés, 3 millions de symptômes respiratoires aigus et 1 million de jours d'école perdus évités chaque année. Les données de pollution de référence sont des mesures faites par plusieurs stations, de 2005 à 2007, durant la « saison de l'ozone » (1^{er} mai au 30 septembre) [65].

Remplacements des trajets de moins de 7 km en voiture par le vélo, Nouvelle-Zélande, 2003-2006

Dans le cadre d'une EQIS, les auteurs ont calculé que pour un remplacement de 5% des trajets de moins de 7 km en voiture par le vélo, il y aurait une baisse de 161 tonnes de NOx et 9,3 tonnes de PM₁₀ dans les émissions annuelles. Au total, chaque année, 6 décès, 7574 jours d'activité restreinte et 3 admissions pour problème cardiaque ou respiratoire seraient évités grâce à la baisse de la pollution. Grâce à l'augmentation de l'activité physique, 116 décès seraient évités chaque année. Dans cette étude, ce sont les baisses des émissions polluantes des automobiles qui ont été prises en compte et modélisées. Les émissions calculées pour la période 2003-2006 ont servi de données de référence. Ces calculs sont basés sur les résultats d'une enquête nationale sur les déplacements des personnes [66].

Mesures de réduction de la pollution de l'air, Espagne, 2004-2011

Boldo et al. [67] ont mesuré quels seraient les effets sur la mortalité et les niveaux de [PM_{2,5}] de l'instauration de politiques d'amélioration de la qualité de l'air.

Leur EQIS, conclue que les baisses de [PM_{2,5}] ne seraient pas homogènes sur tout le territoire espagnol. Les baisses attendues sont plus importantes autour des grandes villes que pour le reste du pays. Pour une baisse annuelle moyenne de 0,7 µg/m³, chaque année, 1720 décès toutes causes confondues chez les 30 ans et plus et 1450 décès chez les 25-74 ans seraient évités.

Les auteurs prennent pour référence les niveaux d'émissions calculés par l'Inventaire national des émissions pour l'année 2004. Un modèle tenant compte de la baisse des émissions a été utilisé pour définir l'évolution des concentrations en PM_{2,5} avec une résolution spatiale de 18 x 18 km² [67].

Mesures mondiales de réduction des émissions de méthane et Black Carbon, Monde, 2005-2030

Une EQIS quantifie les impacts sanitaires et environnementaux de la mise en place de mesures restreignant les émissions de BC et de méthane dans le monde. Les auteurs étudient les impacts de la mise en œuvre de scénarios développés pour le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et l'Organisation Météorologique Mondiale.

Les résultats indiquent qu'entre 2005 et 2030, la baisse des émissions polluantes pourrait entraîner une baisse annuelle de 0,22 à 0,27 µg/m³ des [PM_{2,5}] et de 3,92 à 5,66 µg/m³ des [O₃]. Entre 2005 et 2030, jusqu'à 2,42 millions de décès et 20,5 millions d'années de vies perdues liés aux PM_{2,5}, et jusqu'à 0,3 millions de décès et 2,81 millions d'années de vie perdues liés à l'O₃ pourraient être évités [68].

Les données de référence concernant les émissions de polluants sont celles de l'année 2005.

Remplacement du Diesel fossile par du biodiesel, Autriche, 2007

Dans une EQIS, différents scénarios de remplacement des carburants Diesel classiques par du biodiesel sont imaginés. L'étude distingue les zones urbaines des non-urbaines. Si 10 % du carburant utilisé était du biodiesel, les émissions de PM_{2,5} diminueraient de 5 % mais augmenteraient de 10% pour le NO₂. Si 100 % du carburant utilisé était du biodiesel, les émissions de PM_{2,5} diminueraient de 10% et augmenteraient de 25 % pour le NO₂. Les auteurs ont pris pour référence les données enregistrées par 37 stations de mesure situées en zones urbaines et rurales de trois régions autrichiennes. Dans chacun des scénarios, les auteurs concluent à une légère augmentation de la mortalité annuelle toutes causes (de +26 à +39 décès), CV (de +4 à +5) et respiratoire (de +7 à +11) [69].

Remplacement fictif de 40% des trajets en voiture par le vélo, Espagne, 2009

Les auteurs ont imaginé différents scénarios de remplacements des trajets faits en voiture par le vélo et les transports publics dans la métropole de Barcelone. Les bénéfices sur la santé ont été estimés

par une EQIS, séparément chez les voyageurs ayant changé leur mode de déplacement et dans la population générale. Pour le calcul des effets sanitaires chez les voyageurs, les auteurs ont pris en compte le fait qu'ils fassent plus d'activité physique dans leurs calculs.

Pour le scénario qui prévoit 40 % de remplacements des trajets débutant ou se terminant intra-muros, la première EQIS prédit une baisse de 0,64 % des $[PM_{2,5}]$, et 66 décès évités chaque année chez les « voyageurs ». Dans la population générale, elle prévoit 10 décès évités par an [70].

Pour le même scénario, la seconde EQIS montre des diminutions annuelles des cas de faibles poids de naissance (-0,3 cas), de naissances prématurées (-1,1), de maladies CV (-0,1) et d'infections des voies respiratoires (-0,2) chez les « voyageurs ». Dans la population générale, l'étude montre une baisse des cas de faibles poids de naissance (-4 cas), de naissances prématurées (-3), de maladies CV (-0,6) et d'infections des voies respiratoires (-0,6) [70, 71].

Les données de pollution qui ont servi de référence aux auteurs proviennent de capteurs individuels portés par des voyageurs utilisant divers types de transports (voiture, vélo, bus/tramway et métro/train). Ces mesures ont été faites durant 3 semaines de juin 2009.

Mise en place théorique de l'ensemble des mesures technologiquement réalisables de réduction des émissions, Monde, Europe et Ile-de-France, 2010-2050

L'impact de l'implémentation de toutes les mesures de réduction des émissions polluantes réalisables a été évalué dans le cadre d'une EQIS.

Les auteurs ont calculé qu'entre 2010 et 2050, dans le monde, en Europe et en Ile-de-France (IDF), les $[PM_{2,5}]$ annuelles pourraient diminuer respectivement de 49, 66 et 69 %. Pour les $[O_3]$, entre 2010 et 2030, ils ont prédit des baisses de 15 % dans le monde entier et en 2050, de 13 % pour l'IDF. En 2030, 1,5 millions de décès CV prématurés pourraient être différés chaque année dans le monde. Grâce à la baisse des $[PM_{2,5}]$, en Europe, en 2050, la mortalité CV annuelle baisserait de 8 % et la mortalité respiratoire de 0,3 %. En IDF, la mortalité CV annuelle baisserait de 16 % grâce à la baisse des $PM_{2,5}$ et la mortalité respiratoire annuelle de 1,3 % grâce à la diminution des niveaux d' O_3 [72].

Réduction des taux de soufre dans les carburants pour bateaux, Turquie, 2013-2020

Une EQIS évalue les bénéfices sur l'air et la santé qui seraient observés si la mer de Marmara et les détroits turcs étaient devenus des Emission Control Areas en 2013. Dans ces zones, les bateaux auraient l'obligation de ne consommer que des carburants pauvres en soufre. En 2020, les $[PM_{10}]$ diminueraient de 67% et $[SO_2]$ de 96 %. Les auteurs ont pris pour référence les moyennes annuelles des données enregistrées en 2013 par 22 stations de mesure pour les $[PM_{10}]$ et 24 pour les $[SO_2]$. Ces stations sont réparties sur toute la région de Marmara. Les prédictions montrent que chaque année, il y aurait 30 décès en moins liés au SO_2 , 205 admissions à l'hôpital pour maladies respiratoires et CV liées aux PM_{10} , 460 hospitalisations liées aux $PM_{2,5}$ et 390 liées aux SO_2 seraient évitées chaque année [73].

Réductions des émissions des sources fixes et mobiles à Détroit, Etats-Unis, 2020

Une EQIS compare les impacts de l'implantation d'une nouvelle politique visant à diminuer les niveaux de plusieurs polluants à la fois avec ceux d'une approche « polluant par polluant ». Chez les 30-99 ans de la ville de Détroit, 130 décès et 16 hospitalisations pour asthme seraient évitées avec le premier scénario contre respectivement 71 et 8 pour le deuxième scénario. Les données de pollution de référence utilisées par les auteurs sont issues de mesures. Les auteurs ont tenu compte de l'inventaire des émissions pour modéliser l'évolution attendue des niveaux de polluants selon les deux scénarios [74].

Conclusion

Les études d'interventions projetées sont traitées par des EQIS. Mortalité, espérance de vie, visites aux urgences, hospitalisations pour problèmes respiratoire ou CV, prévalence des maladies respiratoires et CV, cancers, naissances prématurées et nombre de jours d'école perdus sont les indicateurs sanitaires les plus employés dans ces études. Les indicateurs de pollution étudiés sont les $PM_{2,5}$ et l' O_3 .

5. DISCUSSION

L'élaboration des équations de recherche bibliographique dans ce travail a été conçue dans le but de d'identifier la totalité des articles publiés dans des revues indexées portant sur des études d'interventions sur la pollution de l'air, mais la littérature grise dans le domaine n'a pas pu être recherchée. Ont été analysées dans ce travail deux revues de la littérature récentes riches en enseignements [7, 8] et les nouvelles études publiées depuis 2011.

La plupart des études analysées dans cette revue traitent d'interventions effectives. Les études analysant ces interventions sont pour la plupart des études épidémiologiques (47 études vs 5 EQIS).

Le premier constat de cette revue est qu'il existe une grande variabilité dans les interventions analysées mais que la grande majorité des études épidémiologiques fait état d'améliorations de l'état de santé suite aux interventions.

Parmi les travaux analysés, les études épidémiologiques sont les seules à pouvoir prouver l'effet de l'intervention sur la santé mais, il ne faut pas exclure un biais d'information inhérent aux données recueillies par questionnement de la population ni, comme le soulignent Ségala et al. [9], un éventuel biais de publication. Les études ayant montré des résultats positifs sur la pollution de l'air et sur la santé sont potentiellement plus facilement publiées. Comme le soulignent Glorennec et al.[75], une évaluation systématique des mesures de gestion permettrait de s'affranchir plus facilement du biais éventuel de publication attaché à ce type d'étude.

Parmi les études épidémiologiques, la très grande majorité des études de cette revue s'appuie sur des données d'expositions relevées par des stations de mesures de la pollution ambiante, les mesures individuelles étant plus rarement utilisées. En l'absence de mesures, ce sont des modèles d'exposition qui sont retenus. Ils tiennent compte des émissions de polluants, du volume du trafic automobile, de l'altitude, de la hauteur et largeur des voies, du pourcentage de surface bâtie résidentielle, de la densité de population, Deux études épidémiologiques font exception en utilisant comme seul marqueur d'exposition l'intervention elle-même.

D'autres articles traitent d'interventions projetées. Ces évaluations peuvent s'avérer utiles pour prédire l'impact d'un projet futur et aider à en planifier le développement. L'impact sanitaire de ce type d'intervention est traité par des EQIS. Dans ce cas, les données de pollution sont toujours modélisées.

Les études d'intervention, en évaluant les changements d'émissions pour en évaluer les éventuels bénéfices sanitaires dans des conditions réelles d'exposition, contribuent aux connaissances dans le champ des risques sanitaires associés à la pollution atmosphérique. Les preuves expérimentales faisant partie des critères de causalité de Bradford-Hill, les études d'intervention renforcent la confiance que l'on peut avoir dans la nature causale de la relation entre pollution atmosphérique et santé. Ces études appuient donc la légitimité des EQIS de la pollution atmosphérique urbaine [76].

Comme souligné par Glorennec et al.[75], les études d'intervention dans le champ de la pollution atmosphérique comportent également des difficultés propres à l'épidémiologie environnementale (pathologies non spécifiques, risques individuels faibles, difficultés de mesure de l'exposition, manque de puissance). Une autre difficulté, propre à la surveillance et à l'épidémiologie évaluative, est due au caractère progressif des changements de la qualité de l'air, notamment lors de la mise en œuvre d'une réglementation.

Les études d'intervention ont vocation à s'intégrer dans les activités de surveillance des liens entre pollution atmosphérique et santé. Ces études contribuent à l'évaluation des politiques publiques en estimant le potentiel bénéfice sanitaire lié aux améliorations de la qualité de l'air.

La réflexion qui précède la réalisation d'une étude d'intervention suit un cheminement par étapes, détaillées ci-après. Les contraintes temporelles et budgétaires accompagnant la réalisation de l'étude sont à prendre en compte durant cette phase.

5.1 Questions préalables à la mise en place d'une étude d'intervention

Quel est l'objectif de l'étude ?

Cette question est bien sûr la toute première à se poser avant de mettre en place une étude d'intervention. Si l'on veut savoir quelle est l'effet sur la santé d'une action visant à réduire les niveaux de pollution, il convient de s'orienter vers la réalisation d'une étude épidémiologique. Si au contraire, le but est de quantifier l'impact sanitaire d'une amélioration effective ou projetée de la qualité de l'air, une EQIS peut être préconisée.

Quel type d'étude ?

EQIS et études épidémiologiques sont complémentaires. Ces dernières sont les seules à apporter des connaissances sur les effets de l'intervention sur la santé. L'EQIS permet de quantifier un impact sanitaire mis en évidence par les études épidémiologiques.

Pour ce qui est des évaluations quantitatives d'impact sanitaire, leur réalisation implique l'existence d'un lien causal entre l'exposition et l'effet sanitaire étudié. Elles s'appuient sur des relations concentration-réponse (CR) issues des études épidémiologiques, qui sont appliquées aux données sanitaires et environnementales collectées en routine, pour calculer l'impact sanitaire. Lors du choix de la relation CR à utiliser, il faut veiller à ce que les populations de l'étude épidémiologique d'origine et celle où l'EQIS va être réalisée soient le plus comparables possibles en termes d'exposition, de catégories socioprofessionnelles, d'âge et d'habitudes de vie [77, 78]. Il faut garder en tête que l'utilisation d'une CR générique peut poser problème si la nature des polluants change par conséquence de l'intervention. Cependant l'OMS encourage le développement de ce type d'étude [77] car cette démarche offre la possibilité de quantifier les impacts de la mise en œuvre d'un programme effectif mais aussi d'un projet d'intervention.

Tout type d'intervention sur la qualité de l'air peut faire l'objet d'une EQIS, alors que dans certains cas, la réalisation d'une étude épidémiologique est impossible ou difficile à mettre en œuvre, l'EQIS étant alors la seule option possible.

Parmi les études épidémiologiques des études écologiques temporelles, géographiques et mixtes ont été recensées dans cette revue. Ces études ont l'inconvénient d'être exposées aux biais d'agrégation⁵, cependant, basées sur des données disponibles en routine, elles sont plus facilement faisables du fait de coûts relativement faibles.

Les études écologiques temporelles mettent en œuvre des analyses de séries chronologiques. Elles comptent pour plus de la moitié des études écologiques recensées dans cette revue. Dans ce type d'étude, on fait l'hypothèse que les changements d'exposition à la pollution atmosphérique impactent la population d'étude de façon homogène. Ces études permettent de contrôler un certain nombre de facteurs dépendants du temps tels que les variations saisonnières, la température ou encore les jours de la semaine. De plus, la population étant son propre témoin, les autres facteurs de confusion ou modificateurs "écologiques" sont eux aussi contrôlés [79].

Dans les études écologiques géographiques la variable d'agrégation est une zone géographique délimitée. En effet, le principe des études géographiques est d'étudier l'association entre des variations spatiales d'exposition et d'indicateur(s) de santé au sein d'une population, à un moment donné. Lorsque l'intervention impacte un grand nombre de personnes sur une surface géographique étendue, l'impact n'est pas forcément homogène. Dans la revue de Ségala et al.[9], les auteurs discutent de l'importance de prendre en compte la dimension spatiale des données relevées. Pour les interventions impactant le trafic automobile par exemple, il peut y avoir des impacts sur les niveaux de pollution atmosphérique et sur la santé contrastés selon les zones d'étude considérées. Pour mettre en évidence cette hétérogénéité des résultats selon les zones, il est pertinent de faire des études à une résolution spatiale suffisamment fine. Comme pour toute étude écologique, les facteurs de confusion individuels sont bien maîtrisés mais il faut veiller à ce que les facteurs de confusion et modificateurs "collectifs" tels que le statut socio-économique et les structures d'âges soient semblables entre les populations des différentes zones étudiées. Par exemple, l'approche

⁵ les individus qui ont présenté un effet ne sont pas forcément ceux qui ont été exposés

géographique a permis à Correia et al. [55] de mettre en évidence des différences dans l'évolution des indicateurs sanitaires entre les personnes vivant dans des zones de densités de population inégales.

Les études écologiques mixtes combinent une approche temporelle et une approche géographique. Elles analysent les séries temporelles de données de pollution et de santé de plusieurs unités géographiques. Ce choix méthodologique permet de combiner les apports d'une étude écologique géographique avec ceux d'une étude écologique temporelle. Les résultats n'en sont que plus précis. Ségala et al. [9] insiste sur l'importance de considérer une zone témoin dans une étude. En pratique, son choix est délicat car les populations doivent être comparables.

Les études de cohorte utilisent principalement des modèles de Cox qui permettent de prendre en compte des facteurs de confusion et modificateurs d'effet au niveau individuel comme l'âge, le sexe, la catégorie socio-professionnelle, le tabagisme... Ce sont les études fournissant les résultats les plus robustes pour étudier des effets à moyen-long terme. Cependant, leur coût est élevé et, pour étudier des interventions ayant un impact à grande échelle, la réalisation de ce type d'étude soulève des difficultés importantes. Il peut en effet être difficile de trouver une population non exposée à l'intervention qui soit comparable à la population des exposés. Dans leur étude, Gauderman et al. [56] discutent du fait de ne pas avoir une population contrôle « pure » qui n'aurait pas subi de changement dans son exposition durant toute la période d'étude.

Les études de panel sont adaptées à l'investigation des effets à court-terme d'une intervention réduisant la pollution atmosphérique. Dans ce type d'étude, un échantillon de sujets, le plus souvent un sous-groupe "sensible" de la population (enfants, asthmatiques, personnes âgées etc.), est suivi pendant une période courte, généralement de l'ordre de quelques semaines à quelques mois. Dans une étude de panel, on s'intéresse donc aux covariations temporelles des niveaux de polluants atmosphériques et de l'incidence des effets à court terme potentiellement associés à ces polluants. Les données concernant l'état de santé des sujets sont recueillies au niveau individuel, chaque sujet notant sur un "journal de bord" la survenue de symptômes, de maladies ou sa fonction ventilatoire mesurée par exemple par débit de pointe. Les données concernant l'exposition sont le plus souvent écologiques (relevés des niveaux de polluants dans l'atmosphère). Dans ce type d'étude, chaque sujet étant son propre témoin, les facteurs de confusion individuels sont bien maîtrisés.

Le principe des études transversales consiste à identifier plusieurs zones géographiques caractérisées par des niveaux de pollution différents, et de comparer, à un moment donné, la prévalence ou l'incidence d'une maladie ou de symptôme(s) au sein des populations résidant dans ces zones. Une étude transversale peut constituer le départ d'un suivi de cohorte, ou être répétée à des intervalles de temps variables. Ce type d'étude repose sur des données sanitaires individuelles (examen médical, questionnaires, épreuves fonctionnelles respiratoires, examens biologiques) et il est possible de recueillir des informations sur des facteurs de confusion individuels. Ce sont les études avec recueil de données individuelles les plus faciles à mettre en place mais leur portée est restreinte du fait de l'existence de nombreux biais possibles. Par exemple, le risque de biais de sélection est important, la volonté de participation des sujets (ou leur refus) pouvant être liés à l'exposition ou à leurs antécédents médicaux. On mesure simultanément l'exposition et l'effet, ce qui ne permet pas de savoir si l'exposition a précédé l'effet, limitant donc l'inférence causale des résultats. Cependant, le plus souvent, on considère que les niveaux d'exposition mesurés au moment de l'étude fournissent une estimation des niveaux d'exposition antérieurs.

Quels indicateurs de santé choisir ? Les données sont-elles disponibles en routine ?

Cas des EQIS

Si l'étude est de type EQIS, le choix des indicateurs de santé dépend des études épidémiologiques disponibles et des relations CR utilisées. Dans cette revue, les effets sanitaires sont exprimés en termes de mortalité toutes causes ou pour causes respiratoires et CV, d'admissions à l'hôpital, de prévalence de maladies respiratoires et CV et de cancers. Les résultats en termes de mortalité et de morbidité sont éloquentes lorsqu'on s'adresse à des décideurs qui se soucient de savoir si leur programme aura un impact positif sur la santé. Les résultats concernant la mortalité ont l'avantage d'être robustes.

Cas des approches épidémiologiques

Dans le cas des approches écologiques, il s'agit la plupart du temps de données agrégées recueillies en routine. Des données de mortalité, d'espérance de vie et d'hospitalisations sont souvent retrouvées

dans les études écologiques de cette revue. Lorsque la population d'étude est petite, les données de mortalité et d'admissions hospitalières peuvent poser problème en termes de puissance statistique. Dans l'étude de Dockery et al. [39], ce problème a été rencontré pour le nombre d'admissions à l'hôpital pour problèmes respiratoires. Dans ce cas précis, le sous-enregistrement des données d'hospitalisations est peut-être en cause. Le choix des indicateurs sanitaires doit donc être fait en prenant en considération la taille de la population d'étude.

Lorsque les données ne sont pas déjà recueillies en routine ni disponibles, l'étude repose sur des données individuelles. Les études de panel, de cohorte et les études transversales répétées rentrent dans cette catégorie. Ces études offrent aux auteurs une plus grande liberté dans le choix des indicateurs sanitaires que ne le fait une étude écologique. Reposant sur des populations d'études relativement réduites, la puissance de ces études est plus limitée pour mettre en évidence un impact, et elles ont un coût plus élevé. Néanmoins, elles permettent d'obtenir des données individuelles plus précises. Pour pallier le problème de la puissance statistique, Ségala et al. [9] préconisent de choisir des indicateurs sanitaires liés à des maladies fortement associées à la pollution et dont la variabilité intra-individuelle est faible.

Le recueil de données individuelles rend possible la réalisation d'études portant sur des biomarqueurs d'effet. Ainsi, il peut être possible de déceler des modifications physiologiques en amont de manifestations pathologiques. Dans cette revue, une étude s'intéresse à des facteurs sanguins impliqués dans les troubles de l'hémostase [19] et une autre sur les variations d'une protéine plasmatique impliquée dans des troubles CV [21]. Il peut être intéressant d'utiliser ce type d'indicateurs dans le cadre d'études étiologiques sur les mécanismes d'actions des polluants sur l'organisme.

Le plus souvent, les indicateurs les plus fréquemment rencontrés dans cette revue de la littérature ont un lien avec la santé respiratoire et CV mais peut-être serait-il également intéressant de considérer d'autres indicateurs, par exemple pour étudier les bénéfices d'une diminution de la pollution de l'air sur la santé psychique des populations. Deux études récentes montrent un lien entre les niveaux de pollution et le suicide [80, 81]. Les conséquences de la pollution sur le développement de l'enfant restent peu abordées. Une seule étude épidémiologique de cette revue s'est intéressée aux changements dans les poids de naissance mais aucune aux naissances prématurées, or, selon l'OMS, les enfants prématurés ont un risque augmenté de développer des incapacités qui dureront tout au long de leur vie [82]. L'utilisation de ces indicateurs associés au développement du jeune enfant est aussi à envisager.

Quels sont les indicateurs de pollution à utiliser ?

Le type d'étude, la disponibilité des données et la nature de l'intervention orientent le choix des indicateurs d'exposition. Dans certains cas, si la mesure est impossible, il faudra procéder à une modélisation des niveaux de polluants.

Les EQIS n'autorisent que l'étude de polluants pour lesquels un lien de causalité entre l'exposition et la survenue d'un évènement sanitaire a été établi. A l'heure actuelle, les PM et l'O₃ figurent dans le guide des évaluations d'impact sanitaire de l'InVS [78] mais depuis, le NO₂ est également recommandé par l'OMS.

Dans les études épidémiologiques, le choix des indicateurs de pollution dépend en partie de la nature du changement qui a été opéré par l'intervention. Par exemple, les études sur la désulfuration du carburant à Hong Kong ont pris en compte l'évolution des concentrations atmosphériques de composés soufrés [35-37]. Dans les études reposant sur du recueil de données sanitaires individuelles, il n'est pas systématique que les données de pollution soient elles aussi individuelles. Dans l'étude de Wu et al. [15], les expositions ont été mesurées dans chacune des voitures des chauffeurs de taxi du panel alors que dans l'étude de Rich et al. [19], les données sur la pollution sont à l'échelle de la ville et il est supposé que les participants à l'étude ont le même niveau d'exposition aux polluants de l'air que le reste des citoyens.

Dans cette revue, rares sont les études qui n'ont pas pris en considération les niveaux de PM. Les PM sont en partie émises lors de différentes combustions et de ce fait, elles constituent un bon traceur de la pollution d'origine anthropique. En France, les PM sont des polluants réglementés et systématiquement surveillés. Par conséquent, les données concernant leurs niveaux de concentration dans l'air ont l'avantage d'être facilement disponibles. Deux études utilisent les fumées noires [38, 39] qui résultent de la combustion incomplète de composés riches en carbone. De même que les PM

qu'elles contiennent, elles ne sont pas totalement spécifiques d'une source donnée et leur composition est variable. D'autres polluants tels que le NO₂, le SO₂ et l'O₃ ont aussi été largement utilisés dans les études de cette revue.

Des indicateurs plus spécifiques peuvent être utilisés lorsque l'on s'intéresse à des sources de pollution plus ciblées. Ainsi, trois études traitant les jeux sportifs ont pris en considération les changements dans la composition des PM_{2,5} pendant des événements [15, 19, 25]. Ces études ont mis en évidence des changements de composition pendant l'intervention, ce qui peut limiter la portée des EQIS. Les travaux de Wu et al. [15] ont permis de montrer que les associations entre la variabilité de la fréquence cardiaque et les PM_{2,5} diffèrent selon la composition de ces dernières. Les effets sanitaires des changements de composition des particules, peu étudiés, sont encore à explorer.

Aussi, pour des études d'intervention sur le transport routier, l'indicateur BC est encore peu étudié. Il serait pourtant à privilégier car en tant que traceur de combustion, il constitue un excellent indicateur de la pollution émanant du trafic [83, 84].

Enfin, pour des études d'intervention sur le chauffage domestique, la concentration en lévoglucosan est un indicateur d'exposition spécifique à considérer. Emis lors de la combustion de la cellulose, c'est un traceur de la combustion de biomasse.

Mesure ou modélisation de l'exposition à la pollution de l'air ?

La très grande majorité des études de cette revue s'appuie sur des données de pollution relevées par des stations de mesures de la pollution ambiante. Les distances séparant les populations d'étude de ces stations, lorsqu'elles sont indiquées, peuvent aller de quelques mètres [14, 17, 19, 20, 25, 33, 41] à plusieurs kilomètres [28, 50]. Certaines études de cette revue estiment l'exposition des individus grâce aux données de la station de mesure la plus proche du logement. Dans d'autres travaux, les auteurs calculent les moyennes des valeurs relevées par plusieurs stations pour estimer l'exposition d'une population [23, 61]. Il est supposé que des personnes habitant à plusieurs kilomètres de distance ont le même niveau d'exposition. Or, au sein d'une ville, la distribution spatiale des polluants n'est pas homogène [85]. Ce point est discuté par Noonan et al. [41] qui admettent que définir l'exposition des personnes en fonction des niveaux de pollution ambiants ne reflète pas la variabilité individuelle des expositions à la pollution atmosphérique. De nombreux facteurs tels que la topographie, les matériaux de construction, l'architecture urbaine, la densité des espaces verts, les espèces végétales présentes, la météorologie, influent sur la distribution spatiale de la pollution de l'air [86]. Des auteurs préconisent l'emploi du krigeage, une technique d'interpolation spatiale permettant d'avoir des données à une échelle géographique plus fine. Cette méthode, bien que complexe, permet de prédire une valeur centrale d'exposition et son intervalle de confiance en chaque point. L'analyse intégrant l'incertitude entourant cette estimation centrale permet de quantifier son biais potentiel sur l'estimateur de risque [87]. Dans d'autres études, l'absence de mesures engage les auteurs à développer des modélisations de niveaux de pollution. Dans les modèles, souvent peu détaillés, certains tiennent compte des émissions de polluants, du volume du trafic automobile et de la géométrie des rues [58].

Quelle temporalité (démarrage, durée du suivi) ?

Une étude d'intervention doit être conçue avant le début de l'intervention, ce point est fondamental.

Quel que soit le type d'étude, pour interpréter les résultats, il est important de disposer de données de référence prises avant l'intervention, et de connaître les tendances temporelles des indicateurs choisis. Dans le cas des études épidémiologiques, il est nécessaire que la durée de la période d'étude couvrant l'"après intervention" soit équivalente à la période "avant intervention".

Il peut y avoir un délai entre le changement dans l'exposition à la pollution de l'air et le retentissement sur la santé suite à l'intervention, c'est pourquoi il est nécessaire de suivre des indicateurs sanitaires suffisamment longtemps après une intervention pour mesurer de potentiels effets différés. Les durées dépendent des indicateurs retenus, par exemple, elle est de 10 heures entre l'exposition au BC et la hausse de l'eNO, biomarqueur de l'inflammation des voies respiratoires dans l'étude de Lin et al. [14]. Cependant, plus le suivi est long, plus le risque de biais est majoré car des facteurs extérieurs à l'intervention sont susceptibles d'avoir une influence sur les résultats [9].

5.2 Interprétation des résultats

Certains facteurs sont à prendre en considération lors de l'analyse statistique et l'interprétation des résultats.

Concernant la qualité de l'air, il faut toujours garder en tête que les interventions ne sont pas nécessairement les seules responsables de son amélioration. Les conditions météorologiques peuvent jouer un rôle majeur dans l'évolution des niveaux de pollution. A ce sujet, les travaux de Wang et al. [88], estiment que, pendant les JO, les interventions ont compté pour 16 % dans la baisse des concentrations en polluants contre 40 % pour les conditions météorologiques favorables [8]. Par ailleurs, Henschel et al. [8] considèrent qu'il serait intéressant d'étudier si une baisse de l'exposition cumulée à plusieurs polluants n'est pas plus bénéfique qu'une baisse de l'exposition à un seul polluant.

Concernant les données sanitaires, il faut porter une attention particulière aux changements des critères diagnostiques survenus pendant la période d'étude et susceptibles d'impacter artificiellement les résultats. Dans l'étude de Sajjadi et al. [49], les auteurs discutent du fait que le changement intervenu dans la définition de la BPCO au cours de leur étude est peut-être à l'origine de leurs résultats inattendus.

Qu'il s'agisse de données de pollution ou de santé, il est préférable de considérer les tendances temporelles dans l'analyse et l'interprétation des résultats. Cela implique de disposer de données avant l'intervention. Il est également important de prendre en compte les tendances temporelles des facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur les résultats tels que les changements démographiques, socio-économiques, comportementaux et d'accès aux soins. Dans l'étude de Lin et al [57], les auteurs se posent la question de l'effet qu'a pu avoir l'augmentation des coûts d'hospitalisation sur la baisse des admissions à l'hôpital.

Les effets indirects des interventions sont rarement pris en considération ou discutés dans les études. Certaines interventions type restriction du trafic routier peuvent avoir d'autres effets bénéfiques, comme par exemple diminuer l'exposition au bruit de la population. Or, la variable « exposition au bruit » n'a jamais été prise en compte en tant que variable d'ajustement dans les études de cette revue bibliographique. Il a pourtant été montré que l'exposition au bruit des transports augmente le risque de cardiopathie ischémique [89]. Lorsqu'une intervention réduisant le trafic entraîne une augmentation de l'activité physique des individus, il est nécessaire de prendre en considération les bienfaits de cette activité sur leur santé. Cela a été fait dans le cadre de deux études de cette revue [70, 71] où les auteurs ont considéré les résultats séparément chez les personnes ayant choisi un mode de transport actif et chez les autres.

Ces effets indirects peuvent avoir sur les résultats un impact non négligeable, voire tout aussi important que celui de la réduction des émissions polluantes. Par exemple, dans le cas des interventions impactant les transports telles que des événements sportifs ou des restrictions sur le trafic routier, les individus sont susceptibles de rencontrer des difficultés pour se déplacer dans la ville. Ainsi, il faut prendre en compte cet aspect de l'intervention lors de l'analyse de l'évolution des données de type consultations médicales ou prise de traitement médical.

Dans le même ordre d'idée, une intervention sur la pollution de l'air peut déplacer un problème et non le régler. Par exemple, l'ouverture de voies périphériques peut diminuer les émissions polluantes en centre-ville mais les amplifier en banlieue. Une intervention de type fermeture d'usine peut diminuer l'exposition aux polluants mais aussi être à l'origine de pertes d'emplois et engendrer du stress chez la population concernée. Il serait intéressant de mettre en perspective les résultats de ces études avec les autres réalités de l'intervention.

Il est également nécessaire de mieux appréhender les facteurs individuels qui modifient l'impact sanitaire des interventions sur la pollution de l'air tels que l'âge, le sexe, le tabagisme actif et passif, le niveau d'éducation ou le statut socioéconomique. En stratifiant les résultats sur la santé selon les profils socioéconomiques, l'étude de Tonne et al. [31], recensée par deux revues [8, 9] montre que les bénéfices sanitaires sont inégaux selon les profils des individus.

6. CONCLUSION

Le but premier de cette recherche était de recenser les interventions visant à réduire les niveaux de pollution et rapportant un éventuel bénéfice en termes d'effets sur la santé. La grande majorité des études épidémiologiques recensées font état d'améliorations de l'état de santé suite aux différentes interventions.

Il était également question d'identifier quelles sont les méthodes les mieux adaptées pour mesurer les effets sanitaires d'une intervention visant à réduire la pollution de l'air. Cette revue de la littérature a mis en évidence l'existence d'une grande variabilité dans les interventions et dans les études épidémiologiques qui en analysent les effets sur la santé. Comme Henschel et al. [8] l'ont souligné, il n'est pas aisé de comparer les résultats entre les travaux. Les méthodes épidémiologiques, les populations d'étude, les indicateurs de pollution, les indicateurs sanitaires et les durées d'études sont tous différents. Pour une même intervention, plusieurs méthodes sont retrouvées. Il est donc souhaitable de standardiser les protocoles d'études traitant d'interventions semblables. En améliorant la comparabilité des résultats, il sera plus facile d'identifier les interventions apportant les meilleurs résultats sur la qualité de l'air et la santé. Cependant, en pratique, il est difficile de standardiser des études compte-tenu des différentes motivations qui les justifient.

Les EQIS recensées dans cette revue de littérature pour quantifier les impacts de la mise en œuvre d'une intervention effective ou en projet, présentent l'avantage de leur faisabilité à moindre coût. Par contre, si des changements de composition de la pollution atmosphérique sont observés pendant l'intervention, cela peut limiter la validité des résultats des EQIS.

Il ressort de ce travail qu'il n'existe pas de méthode qui conviendrait à l'étude de toute intervention sur la pollution atmosphérique. La sélection de la méthode adéquate se fait par un processus intégrant les objectifs, la finalité et les moyens disponibles pour l'étude. En supposant qu'aucune contrainte n'interfère dans la démarche, l'étude épidémiologique idéale est sans doute une cohorte multicentrique. Cette méthode apporterait les résultats les plus robustes.

Enfin, ce travail montre également qu'il faut toujours penser à prendre en considération l'ensemble des conséquences directes et indirectes, positives ou négatives en termes de santé que peut avoir une intervention action sur visant à améliorer la qualité de l'air.

Les résultats de cette revue de littérature devraient encourager les décideurs à entreprendre des démarches favorables à l'amélioration de la qualité de l'air, et à en prévoir les modalités d'évaluation dès leur conception.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. World Health Organization. Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé : Aide-mémoire n°313 [En ligne]. Genève: WHO; 2014. [modifié le 26 mars 2014; cité le 03/11/2015]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/>
2. Pascal M, Medina S. Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clés pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2012. 6 p.
3. Declercq C, Pascal M, Chanel O, Corso M, Ung A, Pascal L, et al. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. Résultats du projet Aphekom. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire; 2012. 33 p.
4. Medina S, Plasencia A, Ballester F, Mucke HG, Schwartz J. Apehis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2004;58(10):831-6.
5. Agency UEP. History of the Clean Air Act [En ligne]. : 2013. [modifié le 15 août 2013; cité le 18 mars 2015]. Disponible: <http://www.epa.gov/air/caa/amendments.html#caa70>
6. Conseil des Communautés européennes. Directive 88/77/CEE du Conseil du 3 décembre 1987 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures à prendre contre les émissions de gaz polluants provenant des moteurs Diesel destinés à la propulsion

des véhicules [En ligne]. Journal officiel des Communautés européennes [consulté le 20/07/2015]. Disponible: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31988L0077&from=fr>

7. WHO. Air Quality Guidelines : Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide [En ligne]. Copenhague : World Health Organization; 2006. 484 p. [consulté le 20/07/2015]. Disponible: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf

8. Henschel S, Atkinson R, Zeka A, Le Tertre A, Analitis A, Katsouyanni K, et al. Air pollution interventions and their impact on public health. *International journal of public health*. 2012;57(5):757-68.

9. Ségala C, Martin S. Analyse des études épidémiologiques évaluant l'impact sanitaire de mesures de réduction de la pollution. Revue élaborée dans le cadre du Programme Pluridisciplinaire de REcherche sur la QUALité de l'air en Ile de France (PREQUALIF), financé par l'ADEME/Primequal [A paraître]. 2014.

10. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *Journal of the American Medical Association*. 2001;285(7):897-905.

11. Peel JL, Klein M, Flanders WD, Mulholland JA, Tolbert PE, Committee HEIHR. Impact of improved air quality during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on multiple cardiovascular and respiratory outcomes. *Research report (Health Effects Institute)*. 2010(148):3-23; discussion 5-2333.

12. Lee JT, Son JY, Cho YS. Benefits of mitigated ambient air quality due to transportation control on childhood asthma hospitalization during the 2002 Summer Asian Games in Busan, Korea. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2007;57(8):968-73.

13. Huang W, Zhu T, Pan X, Hu M, Wang T, Jia Y, et al. Changes in heart rate variability in the cardiovascular elderly Beijing residents during the Beijing Olympics International Society for Environmental Epidemiology; Dublin2009.

14. Lin W, Huang W, Zhu T, Hu M, Brunekreef B, Zhang Y, et al. Acute respiratory inflammation in children and black carbon in ambient air before and during the 2008 Beijing Olympics. *Env Health Pers*. 2011;119(10):1507-12.

15. Wu S, Deng F, Niu J, Huang Q, Liu Y, Guo X. Exposures to PM_{2.5} components and heart rate variability in taxi drivers around the Beijing 2008 Olympic Games. *The Science of the total environment*. 2011;409(13):2478-85.

16. Li Y, Wang W, Kan H, Xu X, Chen B. Air quality and outpatient visits for asthma in adults during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *Science of the Total Environment*. 2010;408(5):1226-7.

17. Li Y, Wang W, Wang J, Zhang X, Lin W, Yang Y. Impact of air pollution control measures and weather conditions on asthma during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *International journal of biometeorology*. 2011;55(4):547-54.

18. Huang W, Zhu T, Pan X, Hu M, Lu SE, Lin Y, et al. Air pollution and autonomic and vascular dysfunction in patients with cardiovascular disease: interactions of systemic inflammation, overweight, and gender. *American journal of epidemiology*. 2012;176(2):117-26.

19. Rich DQ, Kipen HM, Huang W, Wang G, Wang Y, Zhu P, et al. Association between changes in air pollution levels during the Beijing Olympics and biomarkers of inflammation and thrombosis in healthy young adults. *Jama*. 2012;307(19):2068-78.

20. Zhang J, Zhu T, Kipen H, Wang G, Huang W, Rich D, et al. Cardiorespiratory biomarker responses in healthy young adults to drastic air quality changes surrounding the 2008 Beijing Olympics. *Research report*. 2013(174):5-174.

21. Yuan Z, Chen Y, Zhang Y, Liu H, Liu Q, Zhao J, et al. Changes of plasma vWF level in response to the improvement of air quality: an observation of 114 healthy young adults. *Annals of hematology*. 2013;92(4):543-8.

22. Mu L, Deng F, Tian L, Li Y, Swanson M, Ying J, et al. Peak expiratory flow, breath rate and blood pressure in adults with changes in particulate matter air pollution during the Beijing Olympics: a panel study. *Environmental research*. 2014;133:4-11.
23. Rich DQ, Liu K, Zhang J, Thurston SW, Stevens TP, Pan Y, et al. Differences in Birth Weight Associated with the 2008 Beijing Olympic Air Pollution Reduction: Results from a Natural Experiment. *Environ Health Perspect*. 2015.
24. Lin H, Zhang Y, Liu T, Xiao J, Xu Y, Xu X, et al. Mortality reduction following the air pollution control measures during the 2010 Asian Games. *Atmospheric Environment*. 2014;91(0):24-31.
25. Jia Y, Stone D, Wang W, Schrlau J, Tao S, Simonich SL. Estimated reduction in cancer risk due to PAH exposures if source control measures during the 2008 Beijing Olympics were sustained. *Environ Health Perspect*. 2011;119(6):815-20.
26. Burr ML, Karani G, Davies B, Holmes BA, Williams KL. Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions. *Occupational and environmental medicine*. 2004;61(3):212-8.
27. MacNeill SJ, Goddard F, Pitman R, Tharme S, Cullinan P. Childhood peak flow and the Oxford Transport Strategy. *Thorax*. 2009;64(8):651-6.
28. Hasunuma H, Ishimaru Y, Yoda Y, Shima M. Decline of ambient air pollution levels due to measures to control automobile emissions and effects on the prevalence of respiratory and allergic disorders among children in Japan. *Environ Res*. 2014;131:111-8.
29. Currie J, Walker R. Traffic congestion and infant health: Evidence from E-Zpass. *Am Econ J Appl Econ*. 2011;3(1):65-90.
30. Tonne C, Beevers S, Armstrong B, Kelly F, Wilkinson P. Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities. *Occupational and environmental medicine*. 2008;65(9):620-7.
31. Tonne C, Beevers S, Kelly FJ, Jarup L, Wilkinson P, Armstrong B. An approach for estimating the health effects of changes over time in air pollution: An illustration using cardio-respiratory hospital admissions in London. *Occupational and environmental medicine*. 2010;67(6):422-7.
32. Yorifuji T, Kawachi I, Kaneda M, Takao S, Kashima S, Doi H. Diesel vehicle emission and death rates in Tokyo, Japan: a natural experiment. *The Science of the total environment*. 2011;409(19):3620-7.
33. Boogaard H, Fischer PH, Janssen NA, Kos GP, Weijers EP, Cassee FR, et al. Respiratory effects of a reduction in outdoor air pollution concentrations. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2013;24(5):753-61.
34. Wu WT, Tsai PJ, Yang YH, Yang CY, Cheng KF, Wu TN. Health impacts associated with the implementation of a national petrol-lead phase-out program (PLPOP): evidence from Taiwan between 1981 and 2007. *The Science of the total environment*. 2011;409(5):863-7.
35. Peters J, Hedley AJ, Wong CM, Lam TH, Ong SG, Liu J, et al. Effects of an ambient air pollution intervention and environmental tobacco smoke on children's respiratory health in Hong Kong. *International Journal of Epidemiology*. 1996;25(4):821-8.
36. Wong CM, Lam TH, Peters J, Hedley AJ, Ong SG, Tam AYC, et al. Comparison between two districts of the effects of an air pollution intervention on bronchial responsiveness in primary school children in Hong Kong. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 1998;52(9):571-8.
37. Hedley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: An intervention study. *Lancet*. 2002;360(9346):1646-52.
38. Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: An intervention study. *Lancet*. 2002;360(9341):1210-4.
39. Dockery DW, Rich DQ, Goodman PG, Clancy L, Ohman-Strickland P, George P, et al. Effect of air pollution control on mortality and hospital admissions in Ireland. Research report (Health Effects Institute). 2013(176):3-109.

40. Johnston FH, Hanigan IC, Henderson SB, Morgan GG. Evaluation of interventions to reduce air pollution from biomass smoke on mortality in Launceston, Australia: retrospective analysis of daily mortality, 1994-2007. *BMJ (Clinical research ed)*. 2013;346:e8446.
41. Noonan CW, Ward TJ, Navidi W, Sheppard L. A rural community intervention targeting biomass combustion sources: effects on air quality and reporting of children's respiratory outcomes. *Occupational and environmental medicine*. 2012;69(5):354-60.
42. Pope CA, 3rd, Rodermund DL, Gee MM. Mortality effects of a copper smelter strike and reduced ambient sulfate particulate matter air pollution. *Environ Health Perspect*. 2007;115(5):679-83.
43. Pope CA, 3rd. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *American journal of public health*. 1989;79(5):623-8.
44. Parker JD, Mendola P, Woodruff TJ. Preterm birth after the Utah valley steel mill closure: A natural experiment. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2008;19(6):820-3.
45. Pope Iii CA, Schwartz J, Ransom MR. Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. *Archives of Environmental Health*. 1992;47(3):211-7.
46. Peters A, Breitner S, Cyrys J, Stölzel M, Pitz M, Wölke G, et al. The influence of improved air quality on mortality risks in Erfurt, Germany. Research report (Health Effects Institute). 2009(137):5-77; discussion 9-7790.
47. Frye C, Hoelscher B, Cyrys J, Wjst M, Wichmann HE, Heinrich J. Association of lung function with declining ambient air pollution. *Env Health Pers*. 2003;111(3):383-7.
48. Sugiri D, Ranft U, Schikowski T, Kramer U. The influence of large-scale airborne particle decline and traffic-related exposure on children's lung function. *Env Health Pers*. 2006;114(2):282-8.
49. Sajjadi S, Bridgman H. Respiratory Hospital Admissions before and after Closure of a Major Industry in the Lower Hunter Region, Australia. *Iranian journal of public health*. 2011;40(3):41-54.
50. Bayer-Oglesby L, Grize L, Gassner M, Takken-Sahli K, Sennhauser FH, Neu U, et al. Decline of ambient air pollution levels and improved respiratory health in Swiss children. *Env Health Pers*. 2005;113(11):1632-7.
51. Schindler C, Keidel D, Gerbase MW, Zemp E, Bettschart R, Brandli O, et al. Improvements in PM10 exposure and reduced rates of respiratory symptoms in a cohort of Swiss adults (SAPALDIA). *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2009;179(7):579-87.
52. Laden F, Schwartz J, Speizer FE, Dockery DW. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2006;173(6):667-72.
53. Dominici F, Peng RD, Zeger SL, White RH, Samet JM. Particulate air pollution and mortality in the United States: Did the risks change from 1987 to 2000? *American Journal of Epidemiology*. 2007;166(8):880-8.
54. Pope CA, 3rd, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *The New England journal of medicine*. 2009;360(4):376-86.
55. Correia AW, Pope CA, 3rd, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. Effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2013;24(1):23-31.
56. Gauderman WJ, Urman R, Avol E, Berhane K, McConnell R, Rappaport E, et al. Association of improved air quality with lung development in children. *N Engl J Med*. 2015;372(10):905-13.
57. Lin S, Jones R, Pantea C, Ozkaynak H, Rao ST, Hwang S-A, et al. Impact of NOx emissions reduction policy on hospitalizations for respiratory disease in New York State. *J Expos Sci Environ Epidemiol*. 2013;23(1):73-80.
58. Cesaroni G, Boogaard H, Jonkers S, Porta D, Badaloni C, Cattani G, et al. Health benefits of traffic-related air pollution reduction in different socioeconomic groups: the effect of low-emission zoning in Rome. *Occupational and environmental medicine*. 2012;69(2):133-9.

59. Le Tertre A, Henschel S, Atkinson R, Analitis A, Zeka A, Katsouyanni K, et al. Impact of legislative changes to reduce the sulphur content in fuels in Europe on daily mortality in 20 European cities: an analysis of data from the Aphekom project. *Air Qual Atmos Health*. 2013;6(4).
60. Li YR, Gibson JM. Health and air quality benefits of policies to reduce coal-fired power plant emissions: a case study in North Carolina. *Environmental Science & Technology*. 2014;48(17):10019-27.
61. Tang D, Wang C, Nie J, Chen R, Niu Q, Kan H, et al. Health benefits of improving air quality in Taiyuan, China. *Environment international*. 2014;73:235-42.
62. Li Y, Crawford-Brown DJ. Assessing the co-benefits of greenhouse gas reduction: health benefits of particulate matter related inspection and maintenance programs in Bangkok, Thailand. *The Science of the total environment*. 2011;409(10):1774-85.
63. Johansson C, Burman L, Forsberg B. The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmospheric Environment*. 2009;43(31):4843-54.
64. Andre PA, Veras MM, Miraglia SG, Saldiva PH. Lean diesel technology and human health: a case study in six Brazilian metropolitan regions. *Clinics (Sao Paulo, Brazil)*. 2012;67(6):639-46.
65. Berman JD, Fann N, Hollingsworth JW, Pinkerton KE, Rom WN, Szema AM, et al. Health benefits from large-scale ozone reduction in the United States. *Environ Health Perspect*. 2012;120(10):1404-10.
66. Lindsay G, Macmillan A, Woodward A. Moving urban trips from cars to bicycles: impact on health and emissions. *Australian and New Zealand journal of public health*. 2011;35(1):54-60.
67. Boldo E, Linares C, Lumbreras J, Borge R, Narros A, Garcia-Perez J, et al. Health impact assessment of a reduction in ambient PM(2.5) levels in Spain. *Environment international*. 2011;37(2):342-8.
68. Anenberg SC, Schwartz J, Shindell D, Amann M, Faluvegi G, Klimont Z, et al. Global air quality and health co-benefits of mitigating near-term climate change through methane and black carbon emission controls. *Environ Health Perspect*. 2012;120(6):831-9.
69. Hutter HP, Kundi M, Moshhammer H, Shelton J, Kruger B, Schicker I, et al. Replacing fossil diesel by biodiesel fuel: expected impact on health. *Archives of environmental & occupational health*. 2015;70(1):4-9.
70. Rojas-Rueda D, de Nazelle A, Teixido O, Nieuwenhuijsen MJ. Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: a health impact assessment study. *Environment international*. 2012;49:100-9.
71. Rojas-Rueda D, de Nazelle A, Teixido O, Nieuwenhuijsen MJ. Health impact assessment of increasing public transport and cycling use in Barcelona: a morbidity and burden of disease approach. *Preventive Medicine*. 2013;57(5):573-9.
72. Likhvar VN, Pascal M, Markakis K, Colette A, Hauglustaine D, Valari M, et al. A multi-scale health impact assessment of air pollution over the 21st century. *The Science of the total environment*. 2015;514:439-49.
73. Viana M, Fann N, Tobias A, Querol X, Rojas-Rueda D, Plaza A, et al. Environmental and Health Benefits from Designating the Marmara Sea and the Turkish Straits as an Emission Control Area (ECA). *Environ Sci Technol*. 2015;49(6):3304-13.
74. Fann N, Roman HA, Fulcher CM, Gentile MA, Hubbell BJ, Wesson K, et al. Maximizing Health Benefits and Minimizing Inequality: Incorporating Local-Scale Data in the Design and Evaluation of Air Quality Policies. *Risk Analysis*. 2011;31(6):908-22.
75. Institut de Veille Sanitaire. Mesures de réduction de la pollution atmosphérique: quelle efficacité sanitaire? *Extrapol*. 2004 décembre 2004:32.
76. Filleul L, Medina S, Cassadou S. Urban particulate air pollution: from epidemiology to health impact in public health. *Rev Epidemiol Sante Publique*. 2003;51(5):527-42.
77. Blanchard M, Borrelli D, Chardon B, Declercq C, Fabre P, Host S, et al. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Concepts et méthodes [En ligne]. Saint-Maurice :

Institut de Veille Sanitaire; 2008. 35 p. [consulté le 20/07/2015]. Disponible: http://www.invs.sante.fr/publications/2008/eis_pollution_urbaine/

78. Ung A, Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq C, Blanchard M, et al. Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? Guide méthodologique [En ligne]. Saint-Maurice : Institut de Veille Sanitaire; 2013. 47 p. [consulté le 20/07/2015]. Disponible: <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Guides/Comment-realiser-une-evaluation-de-l-impact-sanitaire-de-la-pollution-atmospherique-urbaine>

79. Guzzo J-C. Etude des effets à court terme sur la santé d'une source locale de pollution atmosphérique. Approche épidémiologique [En ligne] [En ligne]. Saint-Maurice: Institut de Veille Sanitaire; 1996. [modifié le ; cité le 01/06/2015]. Disponible: http://www.invs.sante.fr/display/?doc=publications/pol_atmo1/index.html

80. Kim Y, Myung W, Won HH, Shim S, Jeon HJ, Choi J, et al. Association between air pollution and suicide in South Korea: a nationwide study. PloS one. 2015;10(2):e0117929.

81. Bakian AV, Huber RS, Coon H, Gray D, Wilson P, McMahon WM, et al. Acute air pollution exposure and risk of suicide completion. Am J Epidemiol. 2015;181(5):295-303.

82. WHO. À quels problèmes de santé les bébés prématurés sont-ils confrontés? [En ligne] [En ligne]. Genève: WHO; 2013. [modifié le ; cité le 11 mai 2015]. Disponible: http://www.who.int/features/qa/preterm_health_challenges/fr/

83. Invernizzi G, Ruprecht A, Mazza R, De Marco C, Močnik G, Sioutas C, et al. Measurement of black carbon concentration as an indicator of air quality benefits of traffic restriction policies within the ecopass zone in Milan, Italy. Atmospheric Environment. 2011;45(21):3522-7.

84. Janssen N, Gerlofs-Nijland M, Lanki T, Salonen R, Cassee F, Hoek G, et al. Health Effects of Black Carbon [En ligne]. Copenhague : World Health Organization; 2012. [consulté le 20/07/2015]. Disponible: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf

85. Ragettli MS, Tsai MY, Braun-Fahrlander C, de Nazelle A, Schindler C, Ineichen A, et al. Simulation of population-based commuter exposure to NO(2) using different air pollution models. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014;11(5):5049-68.

86. Cartier Y, Benmarhnia T, Brousselle A. Tool for assessing health and equity impacts of interventions modifying air quality in urban environments. Evaluation and Program Planning. 2015;53:1-9.

87. Rivera-Gonzalez LO, Zhang Z, Sanchez BN, Zhang K, Brown DG, Rojas-Bracho L, et al. An assessment of air pollutant exposure methods in Mexico City, Mexico. Journal of the Air & Waste Management Association. 2015;65(5):581-91.

88. Wang W, Primbs T, Tao S, Massey Simonich SL. Atmospheric particulate matter pollution during the 2008 Beijing olympics. Environmental Science and Technology. 2009;43(14):5314-20.

89. WHO. Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhague : Worl Health Organization; 2011. 106 p. [consulté le 20/07/2015]. Disponible: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888/en/

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Jeux sportifs									
Jeux d'Asie 2010	Lin et al. 2014 [24]	Guangzhou, (Chine), Nov-Déc 2010 Contrôle : 3 années précédentes	Résidents de 2 districts de Guangzhou, Chine	[PM ₁₀], [NO ₂], [SO ₂]	Mortalité (non- accidentelle, cardiovasculaire MCV, respiratoire MR)	Etude écologique (séries temporelle s)	Pendant les jeux ↓ de PM ₁₀ de 9,2% ↓3,3% NO ₂ (ns) ↓4,2% SO ₂ (ns)	Pendant les jeux : ↓ Mortalité non- accidentelle de 22,8% ↓ MCV de 26,1% ↓ MR de 24,1%	Pas de preuve que la ↓ de mortalité soit due aux changements des niveaux de pollution
Jeux- Olympiques de Pékin	Rich et al. 2015 [23]	Pékin, Chine 8/8/08– 24/09/08 Contrôle: mêmes dates 2007/2009	Naissances à termes dans 4 districts de Pékin (n=83 672)	[PM _{2.5}], [NO ₂], [SO ₂], [CO]	Poids à la naissance	Etude transversal e répétée	Baisses des niveaux de polluants présentées graphique ment	8 ^{ème} mois de grossesse vécu pendant JO: ↑ 23g du poids de naissance	
Jeux- Olympiques de Pékin	Mu et al. 2014 [22]	Pékin, Chine, 2008, Avant, pendant et après les JO	201 habitants de Pékin, Chine (< 65 ans)	[PM ₁] [PM _{2.5}] [PM ₇], [PM ₁₀]	Débit expiratoire de pointe (DEP), Fréquence respiratoire (FR), Pression artérielle (PA), Fréquence cardiaque	Etude de panel	Entre avant/pend ant les JO : ↓ de PM de plus de 50%	Avant/pendant les JO : DEP(♀: ↑ de 17,2% et ♂: ↑ de 13,4% FR (♀: ↓ de 4 % ♂: ↓ 3 %) ns pour le reste	
Jeux- Olympiques de Pékin	Yuan et al. 2013 [21]	Pékin, Chine, 2008 6 périodes du 10/06 au 31/10/08: 2 Avant, 2 pendant et 2 après les JO	Etudiants non-fumeurs en bonne santé de Pékin (n=114)	Air Pollution Index	[vWF] plasmatique stratifiée sur âge, sexe et groupe sanguin et génotypes du gène codant le vWF	Etude de panel	Entre avant et pendant les JO (stade1/sta de 4): ↓ de l'API d'environ 28%	Entre avant et pendant les JO (stade1/stade 4): ↓ d'environ 16%	Des niveaux trop élevés de vWF sont associés à des troubles CV

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Jeux Olympiques de Pékin	Rich et al. 2012 [19]	Pékin, Chine, 2008 Aucun contrôle 6 périodes du 02/06 au 31/10/08: 2 Avant, 2 pendant et 2 après les JO	Habitants de Pékin non-fumeurs, sans problème CV, hépatique, rénal, neurologique ou autres. (n=125)	[PM _{2.5}] avec précisions sur carbone élémentaire, carbone organique et sulfate, [NO ₂], [SO ₂], [CO], [O ₃]	[protéine C-réactive], [fibrinogène], [facteur de von Willebrand], [CD40], [sélectines P] et nombre de globules blancs, fréquence cardiaque et pression artérielle.	Etude de panel	Entre avant et pendant les JO : ↓ 27% [PM _{2.5}] ↓ 36% [C élémentaire] ↓ 22%[carbone organique] ↓ 13%[sulfate] ↓ 43% [NO ₂], ↓ 60% [SO ₂], ↓ 48% [CO], ↑ de 24% [O ₃]	Entre avant et pendant les JO : ↓ 34% [sélectines P] ↓ 13% [facteur de von Willebrand] Pour les autres indicateurs ↓ ns	[sélectines P] et [facteur de von Willebrand] jouent un rôle dans l'hémostase et les troubles CV.
Jeux Olympiques de Pékin	Lin et al. 2011 [14]	Pékin, Chine, 2008, 5 périodes de 06/2007 à 09/2008	Enfants scolarisés à Pékin (n=36)	[PM _{2.5}], [Black carbon]	Oxyde nitrique exhalé (eNO)	Etude de panel	Avant/pendant les JO : ↓ 70% PM _{2.5} ↓ 64% du BC	Pendant les JO : ↓ eNO de 27% (relation linéaire entre [PM _{2.5}] et eNO)	
Jeux Olympiques de Pékin	Li et al. 2011 [17]	Pékin, Chine, 2008 : du 1 ^{er} au 30/06 (hors JO), du 01/07 au 07/08(pré-JO), du 08/08 au 30/09 (JO)	Habitants adultes de Pékin inscrits au registre des personnes asthmatiques (n=1475)	[PM ₁₀], [PM _{2.5}],[O ₃], [NO ₂], [SO ₂], [NO]	Nombre de patients ayant consulté pour asthme	Etude écologique (séries temporelles)	↓ 45 % [PM ₁₀] ↓ 41 % [PM _{2.5}], ↓ 12,6 [O ₃], ↓ 13,1% [NO ₂], ↓ 36,9% [SO ₂], ↓ 61,8% [NO]	Entre période de référence / pendant les JO : ↓ 42% des consultations pour asthme	Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans la baisse des niveaux de PM et d'O ₃ . ↓ ns des PM en pré-JO).

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Jeux-Olympiques de Pékin	Wu et al. 2011 [15]	Pékin, Chine 2008 (05/2008 à 03/2009) Pas de contrôle	Chauffeurs ♂ de taxi pékinois non-fumeurs (n=14)	[PM _{2,5}] intra-voiture, 29 éléments composants des PM _{2,5}	Variabilité de la Fréquence Cardiaque (VFC)	Etude de panel	Changement de composition des PM entre avant, pendant et après les JO.	L'association entre VFC et [PM _{2,5}] intra-voiture est différente suivant la composition des PM	
Maintien fictif des mesures prises pendant les JO de Pékin 2008	Jia et al. 2011 [25]	Pékin, Chine. 2008, 4 périodes de 07/2008 à 10/2008	Habitants de Pékin	17 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) composants des PM _{2,5}	Risque de développer un cancer des voies respiratoires durant sa vie	EQIS	Entre la période avec mesures et celle sans : de -24% à -78% dans les concentrations de HAP.	Période avec mesures/sans : ↓ de 46% du risque Entre la période des JO et la période « non-olympiques » : ↓ de 49%	

Interventions sur le transport automobile

Interdictions locales de circuler pour les véhicules les plus polluants pour NOx et PM. (1992 et 2001)	Hasunuma et al. 2014 [28]	28 régions japonaises 2 périodes : 1997-2000 2006-2009 Contrôles: régions du Japon où il n'y a pas eu d'intervention	Enfants de 3 ans issus des 28 régions (n= 618 973) 1997 à 2009	[NO ₂], [SPM] (particules en suspension de diamètre <7,5 µm)	Prévalences: asthme, respiration sifflante, bronchite, rhinite allergique, dermatite atopique	Etude écologique mixte	Zones avec intervention : ↓0,70% [NO ₂]/an, ↓1,38% [SPM]/an Zones avec intervention : ↓0,36% [NO ₂]/an, ↓0,55% [SPM]/an	Zones avec intervention: Asthme: ↓0,073%/an respiration sifflante: ↓0,089%/an dermatite: ↓0,564%/an bronchite: ↓0,104%/an Sans intervention: dermatite : ↓0,567%/an	Les résultats sur la santé reposent sur des questionnaires auto-administrés et non sur des diagnostics médicaux.
--	---------------------------	--	--	--	---	------------------------	---	---	--

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Mesures locales de réduction du trafic routier (2010)	Boogaard et al. 2013 [33]	12 zones urbaines et suburbaines au Pays-Bas en 2008 (avant) et 2010 (après) Contrôle : zones suburbaines	640 habitants des 12 zones	[PM ₁₀], [PM _{2.5}], [NO ₂],[NO _x], [Cu], [Fe], [Cr], suie	Capacité Vitale Forcée (CVF), Débit Expiratoire Maximal Médian (DEMM), Volume Expiratoire Forcé (VEF), eNO, résistance des voies aériennes	Etude de cohorte	Après intervention (2010) : ↓ significative pour [NO ₂] et [PM ₁₀] dans toutes les zones (chiffres non présentés)	Après intervention (2010) : ↑ de 6,22% CVF ↑ de 3,47% VEF Pour les autres indicateurs, ↑ ns sauf pour eNO et la résistance des voies aériennes pour lesquelles ↓ ns.	Petite population d'étude qui explique peut-être le fait qu'une grande partie de résultats ne soient pas significatifs
Politique de contrôle des émissions diesel à Tokyo	Yorifuji et al. 2011 [32]	23 quartiers de Tokyo, Japon. Avril 2003 à décembre 2008. 2 périodes avant et après intervention	Habitants de Tokyo (sauf îles) décédés entre avril 2003 et décembre 2008 (n=371 921)	[NO ₂],[PM _{2.5}]	Mortalité (toutes causes, respiratoire <i>dont pneumonie, grippe et BPCO</i> , circulatoire <i>dont infarctus du myocarde, arythmie et maladie cérébro-vasculaire et autres causes</i>)	Etude écologique (séries temporelles)	Entre avant et après l'intervention : - ↓ 12% du [NO ₂] - ↓ 11% du [PM _{2.5}]	Après (04/06-12/08): ↓ 8,5% mortalité cérébro-vasculaire Pour ↑ [NO ₂] de 10µg/m ³ : ↑ 2% de mortalité cérébro-vasculaire. Pour une [PM _{2.5}] de 10µg/m ³ : ↑ 1,6% de mortalité cérébro-vasculaire, ↑ 1,9% de MR.	
Création de deux zones à faibles émissions dans la ville.	Cesaroni et al. 2012 [58]	Rome, Italie 2001-2005	Habitants de Rome de 30 ans et plus vivant à 150 m maximum d'un axe emprunté par plus de 10 000 véhicules par jour (n=264 522)	[NO ₂], [PM ₁₀] dues au trafic	Années de vie gagnées	EQIS	Entre 2001 et 2005 : [NO ₂] : ↓ 0,58 à 0,78 µg/m ³ [PM _{2.5}]: ↓ 0,13 à 0,11 µg/m ³ (parts attribuables à la création des LEZ)	Grâce à la baisse de [NO ₂] : de 685 à 921 années de vie gagnées Grâce à la baisse de [PM ₁₀] : de 130 à 153 années de vie gagnées	Les bénéfiques sur la santé sont plus importants chez les personnes appartenant à un niveau socio-économique élevé et celles vivant dans les LEZ.

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Changements de composition des carburants									
Programme d'élimination du plomb dans le carburant	Wu et al. 2011 [34]	Taiwan 1981-2007	Population de Taiwan (n=23 063 027)	Taux de plomb dans les carburants (g Pb/L)	Mortalité toutes causes, Mortalité suite à de l'hypertension, une maladie cérébro-vasculaire cardiaque, une néphropathie	Etude écologique temporelle	Sur la période 1981-2007 : -↓ d'environ 99% du taux de plomb dans les carburants	Sur la période 1981-2007, mortalité: -↓ 40% toutes causes -↓ 71% cérébro-vasculaire -↓ 48% cardiaque -↓ 82% cause d'hypertension -↓ 19% pour troubles rénaux	Après ajustement, les mortalités toutes causes, cérébro-vasculaire, pour cause d'hypertension, et de néphropathie sont fortement associées à la ↓ du Pb dans les carburants.
Réduction du taux de soufre dans les carburants	Le Tertre et al. 2013 [59]	Europe (20 villes) 1990-2008	Population des 20 villes européennes du projet Aphekom	[SO ₂]	Mortalité prématurée (toutes causes, respiratoire, CV)	EQIS	Entre 1990 et 2007, les niveaux annuels moyens de [SO ₂] ont baissé jusqu'à 75%.	Pour ↑ de 10 µg/m ³ de SO ₂ , ↑ de la mortalité toutes causes, CV et respi de 0,53, 0,49 et 0,72%. Après intervention : 1616 décès toutes causes évités/an, 127 par maladies respi. évités/an et 262 décès CV évités/an	Les relations CR ont été déterminées par les auteurs en amont de l'EQIS.
Chauffage domestique									
Remplacement des poêles à bois dans une zone montagnaise rurale	Noonan et al. 2012 [41]	Libby, Etats-Unis 4 périodes : 2 hivers avant (2003 à 2005) et 2 hivers après (2007 à 2009)	Enfants de Libby, Montana de 1st grade à 8th grade (équivalent du CP à la 4 ^{ème}) (n=920)	[PM _{2.5}]	Prévalence des sifflements, rhumes, bronchites, gripes et infections de la gorge.	Etude de transversal e répétée	Après intervention (hivers 2007-2008 et 2008-2009) : - ↓ de 27,6% [PM _{2.5}]	Après intervention, pour une baisse de 5µg/m ³ : ↓ de 26,7% des sifflements, ↓ de 54,6% des bronchites, ↓ de 25,4% des rhumes, ↓ de 52,3% des gripes, ↓ de 45,1% des infections de la gorge	↓ des taux de réponse au fur et à mesure de l'étude. Pas de lien entre les symptômes et la présence d'un poêle à bois dans le domicile.

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Interdiction de commercialiser, vendre ou distribuer du charbon	Dockery et al. 2013 [39]	12 villes d'Irlande 1981-2004 Contrôle : populations de Midland counties non impactées par l'interdiction	Populations de 27 villes irlandaises (n=3 039 677)	[SO ₂], fumées noires ou BS	Mortalité (toutes causes, respiratoire, CV) Admissions (problème respiratoire, problème CV)	Etude écologique (séries temporelles)	Sur toute les périodes post-intervention : - [BS] selon les villes ↓ de 45 à 70% Pas de tendance marquée pour le SO ₂	Après : Mortalité toutes causes et CV: ↓ peu marquée Mortalité respi : selon les villes ↓ de 3 à 9% Admissions pour problème CV : ↓ de 3 à 4% Admissions pour problème respi : ↓ ns	Les admissions à l'hôpital sont sous enregistrées, les résultats sont à utiliser avec précaution.
Campagne d'éducation, renforcement des réglementations, remplacement des appareils de chauffage au bois) dès juin 2001	Johnston et al. 2013 [40]	Launceston et Hobart, Australie 1994-2007 Contrôle : Ville de Hobart	67 000 habitants de Launceston et 148 000 habitants de Hobart	[PM ₁₀]	Mortalité (toutes causes, CV et respiratoire)	Etude écologique (séries temporelles)	Entre avant et après l'intervention : ↓ 13% [PM ₁₀]an ↓ 39% [PM ₁₀] pendant l'hiver	Chez les ♂ : ↓ de 11,4% de la MTC, ↓ de 17,9% de la MCV, ↓ de 22,8% de la MR En hiver (♀+♂) : ↓ MCV 19,6%, (ns) ↓ MR 27,9% (ns) Pas de changement pour Hobart	Petite population d'étude qui explique la faible puissance statistique de l'étude.
Fermeture d'usine									
Fermeture d'une aciérie	Sajjadi et al 2011. [49]	Lower Hunter, Australie 2 périodes : - 3,5 ans avant (1996-1999) et -- 3,5 ans après (2001-2004) la fermeture de l'aciérie	Population de la région du Lower Hunter (n≈470 000)	Pas de mesures des niveaux de pollution.	Nombre d'admissions à l'hôpital pour problème respiratoire (tout problèmes, asthme, BPCO)	Etude écologique	On part de l'hypothèse que les niveaux de PM, NO ₂ et SO ₂ ont diminué suite à la fermeture de l'usine.	Entre avant et après la fermeture : - ↓ 11,7% d'admissions - ↓ 37% d'admissions pour asthme - ↑ 30% des admissions pour BPCO chez les 65 ans et +	Les effets sont plus marqués dans les zones les plus proches de l'aciérie. Résultats incohérents pour les BPCO peut être dus au changement de la définition pour le diagnostic de la maladie.

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Interventions sur de multiples sources									
Politiques de contrôles des émissions de sources fixes et mobiles	Gauderman et al. 2015 [56]	Californie du Sud (E-U), 3 périodes 1994-1998, 1997-2001, 2007-2011	Enfants de 11 à 15 ans (n=2120)	[NO ₂], [O ₃] [PM _{2.5}], [PM ₁₀], [PM _{2.5-10}]	Volume expiratoire maximal seconde (VEMS), Capacité vitale forcée (CVF)	Etude de cohorte	De 1994 à 2011 : ↓ 12,67µg/m ³ de PM _{2.5} ↓ 8,7µg/m ³ de PM ₁₀ ↓ 28,1µg/m ³ de NO ₂ ↓ 11,0 µg/m ³ d'O ₃	↑VEMS de 91,4mL pour ↓ 14,1ppm de NO ₂ ↑65,5 mL pour ↓ 8,7µg/m ³ de PM ₁₀ ↑65,5mL pour ↓12,6µg/m ³ de PM _{2.5}	
Politique nationale de réduction de la pollution atmosphérique	Correia et al. 2015 [55]	545 comtés des Etats-Unis, 2000-2007	Habitants des 545 comtés (n= ?)	[PM _{2.5}]	Espérance de vie	Etude écologique mixte	↓ 0,22µg/m ³ PM _{2.5} par an	<u>Population de zones où >200pers./mile²</u> ↑ espérance de vie de 0,22 ans pour ↓10µg/m ³ . <u>Population urbaine</u> : ↑ espérance de vie de 0,95 ans	Effectif de la population d'étude non précisé. Effets sur la santé plus marqués chez les ♀.
Politique régionale de réduction des émissions de NO _x	Lin et al. 2013 [57]	Etat de New York, Etats-Unis étés de 1997 à 2006 Contrôle : Etés 1997 à 2000	Habitants de l'état de New York	[O ₃]	A l'hôpital : Nombre de cas d'asthme, de bronchite chronique, d'emphysème, de BPCO et pour les enfants de bronchite aiguë et de bronchiolite	Etude écologique mixte	Entre avant et après les mesures : ↓[O ₃] 5%,	↓ de 5,7 à 11,1% des admissions à l'hôpital pour cause respiratoire (NS)	Effets observés différents selon les caractéristiques sociodémographiques.
Fermetures d'usine, réductions des émissions liées au charbon, désulfuration des carburants	Tang et al. 2014 [61]	Taiyuan, Chine 2001 à 2010 Aucun contrôle	Habitants de Taiyuan (n= 3,344 millions)	[PM ₁₀]	Mortalité, incidence bronchites chroniques, Nombre de visites en ambulatoire, de passages aux urgences et d'hospitalisations	EQIS	↓ de PM ₁₀ de 55% (de 196µg/m ³ en 2001 à 89µg/m ³ en 2010	Entre 2001 et 2010 :- 2810 décès prématurés -951 bronchites chroniques, -141 457 visites en ambulatoire, - 969 passages aux urgences et 31810 hospitalisations	

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Politique de réduction des émissions des centrales électriques au charbon	Li et al. [60]	Caroline du Nord, Etats-Unis de 2002 à 2012	Habitants de Caroline du Nord	Emissions de SO ₂ , [PM _{2.5} sulfate]	Mortalité liée aux PM _{2.5} sulfate (toutes causes, cardiopulmonaire, cancer du poumon)	EQIS	Entre 2002 et 2012 ↓ émission s SO ₂ de 88,4% ↓ de [PM _{2.5} sulfate] de 60,1%	Entre 2002 et 2012 -1700 décès toutes causes dont -970 dus à un problème cardiopulmonaire et -210 cancers du poumon	

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Les interventions projetées									
Programme d'inspection et maintenance des véhicules diesel et des motos.	Li et al. [62]	Bangkok, Thaïlande 2008-2015 Référence : pas de mise en place du programme	Habitants de Bangkok et des provinces périphériques Thaïlande (n= 12 millions)	[PM ₁₀]	Décès évités, de bronchites chroniques, d'admissions à l'hôpital pour problème respiratoire, admissions pour problème cardiovasculaire, visites aux urgences, crise d'asthme, symptômes respiratoires aigus, jours d'activité restreinte	EQIS	- En 2015, ↓ d'environ 13% des niveaux de [PM ₁₀] attendus s'il n'y avait pas le programme	En 2015 : -↓ 913 décès -↓ 9865 bronchites chroniques -↓ 890 admissions pour problème respiratoire -↓ 787 admissions pour problème CV -↓ 6166 visites aux urgences -↓37924 crises d'asthme -↓ 46567904 symptômes respiratoires -↓ 9003128 jours d'activité restreinte	Seules les PM ₁₀ sont prises en compte alors que le programme impacte les émissions provenant des transports.
Politique nationale d'abaissement des valeurs standards d'[O ₃]	Berman et al. [65]	Etats-Unis, 3 périodes (01/05 au 30/09 de 2005 2006 et 2007)	Habitants des Etats-Unis	[O ₃]	Nombre de décès prématurés annuels, Symptômes respiratoires aigus annuels, Nombre de jours d'école perdus annuels	EQIS	- <u>Norme=150</u> µg/m ³ [O ₃] ↓1,9 µg/m ³ - <u>Norme=140</u> :[O ₃]↓4,1 µg/m ³ - <u>Norme=120</u> :[O ₃] ↓11,4 µg/m ³	<u>A150</u> : entre – 1410 et -2480 décès prématurés, pour <u>70</u> : de – 2450 à - 4130, <u>A 140</u> de – 5210 à – 7990. <u>A 120</u> : - 3M de symptômes respiratoires aigus, - 1M de jours	Effets différents selon les relations concentration-réponse utilisées. Hypothèse d'une exposition homogène de la population.

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Report de 3 ans de la mesure sur la composition des carburants et sur les émissions des véhicules (Cleaner Diesel technologies)	de André et al. [64]	Curitiba, Sao Paulo, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Recife, Porto Alegre (Brésil) 2009-2040 Pas de contrôle	Population des six villes du Brésil (n=46 811 100)	[PM _{2.5}]	Admissions pour problème respiratoire/cardiovasculaire dans les systèmes publics et privés Mortalité toutes causes	EQIS	Sur la période 2009-2040 : -↓ d'environ 75% des émissions de PM _{2.5} (pas de présentation des concentrations attendues)	Sur la période 2009-2040 : - ↑ 18549 hospitalisations dans le public -↑ 14638 hospitalisations dans le privé -↑13984 décès	
Réduction du taux de soufre dans les carburants pour bateaux	Viana et al. [73]	Mer de Marmara, détroits turques 2013-2020	Population turque proche de la mer de Marmara (n=24 millions)	[PM _{2.5}], [PM ₁₀] émis par les bateaux, [SO ₂]	Mortalité toutes causes, admissions à l'hôpital pour problème CV ou respiratoire	EQIS	En 2020 : ↓[PM ₁₀ émis par les bateaux] de 67% ([PM _{2.5}] inclus dans les PM ₁₀) ↓[SO ₂] de 96%	Pour PM ₁₀ , PM _{2.5} et SO ₂ : Chaque année : respectivement : 205 ,460, 390 et admissions en moins à l'hôpital. 30 décès liés au SO ₂ évités.	
Mise en place de l'ensemble des mesures technologiquement réalisables de réduction des émissions	Likhvar et al. [72]	Monde, Europe, Ile-de-France 2010-2050	Habitants du monde entier	[PM _{2.5}], [O ₃]	Mortalité CV, respiratoire	EQIS	<u>2010-2050</u> Monde : ↓49%[PM _{2.5} (2050), ↓15%[O ₃] (2030) Europe ↓66%[PM _{2.5} IDF ↓69%[PM _{2.5}], ↓13% [O ₃] (2030)	Monde :(2030) ↓1,5 millions de décès CV par an Europe :(2050)↓8% décès CV ↓0,3% de décès respiratoires IDF :(2050)↓ 16% décès CV ↓1,3% de décès respiratoires	

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Remplacement diesel fossile par du biodiesel	Hutter et al. [69]	Vienne, Autriche, 2015 Contrôle : Mois de janvier 2007	Résidents de Vienne et de 37 sites au nord de l'état du Burgenland (Autriche)	[NO ₂], [PM _{2.5}] [PM ₁₀]	Mortalité (toutes causes, CV, respiratoire)	EQIS	Scénario B10 : ↓ 5% de PM _{2.5} , ↑ 10% NO ₂ Scénario B100 : ↓ 10% de PM _{2.5} ↑ 25% NO ₂	Chaque année, ↑Mortalité toutes causes, cardiovasculaire et respiratoire	
Réduction du trafic automobile (remplacement de 40% des trajets en voiture par le vélo et les transports publics)	Rojas-Rueda et al. [71]	Barcelone, Espagne 2009	Habitants de de l'agglomération de Barcelone (n= 3 231 458)	[PM _{2.5}]	Mortalité, prévalence infections des voies respiratoires inférieures (IVRI), maladies CV(MCV), blessures mineures et graves, cancers du sein, du côlon, naissances prématurées et à faibles poids (FPN)	EQIS	Pas de données sur estimation de la réduction des PM2.5 dans l'article	Chaque année : <u>Voyageurs</u> : -0,3 cas de FPN, -1,1 naissances prématurées, -0,6 MCV et -0,2 IVRI <u>Pop. Générale</u> : -4 FPN, -3 naissances prématurées, -0,6 MCV et -0,6 IVRI	
Réduction du trafic automobile (remplacement des trajets en voiture par le vélo et les transports publics)	Rojas-Rueda et al. [70]	Barcelone, Espagne 2009 Contrôle (période 2009)	Habitants de de l'agglomération de Barcelone (n=3 231 458)	[PM _{2.5}]	Mortalité toutes causes Espérance de vie	EQIS	Remplacement 40% des trajets intra-muros: ↓ 0,64% [PM _{2.5}] Remplacement 40% des trajets dont le début/fin extra-muros: ↓ 1,16% [PM _{2.5}]	Remplacement 40% des trajets intra-muros: -76,15 décès/an, 6,5 mois de vie gagnés (voyageurs), 2,28 jours (pop générale) Remplacement 40% des trajets dont le début/fin extra-muros: -40 décès/an, 2,8 mois de vie gagnés (voyageurs), 4,11 jours (pop générale)	Expositions différentes chez les "voyageurs" et le reste de la population. Les principaux bénéfices s'observent chez les voyageurs car l'activité physique influence plus les résultats que la ↓ de la [PM _{2.5}].

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Mesures mondiales de réduction des émissions de méthane et de black carbon	Anenberg et al. [68]	Monde, de 2005 à 2030	Habitants du monde entier	[PM _{2.5}], [O ₃]	Années de vie perdues (AVPD) (liée aux PM _{2.5} , et liée à l'O ₃) Mortalité (liée aux PM _{2.5} , et liée à l'O ₃)	EQIS	Entre 2005 et 2030 : ↓ de 0,22 à 0,27 μg/m ³ [PM _{2.5}] annuelle ↓ de 3,92 à 5,66 μg/m ³ [O ₃] annuelle	2005 à 2030 (scénario restrictif) : ↓ de 1,93M à 2,42M de décès liés aux PM _{2.5} , ↓ de 0,12M à 0,3M de décès liés à l'O ₃ , ↓ de 16,2M à 20,5M AVPD liées aux PM _{2.5} , ↓ de 1,06M à 2,81M AVPD liées à l'O ₃	Plus de 80% des bienfaits sur la santé sont attendus en Asie.
Politiques fictives de réduction de la pollution de l'air	Boldo et al. [67]	Espagne 2004-2011	Population d'Espagne (n= ?)	[PM _{2.5}]	Mortalité toutes causes (chez les 30 ans et plus et chez les 25-74 ans) (effets à long-terme)	EQIS	↓ hétérogène des PM _{2.5} sur tout le territoire. Les ↓ les plus fortes sont dans les grandes villes.	-↓ 1720 (0,5%) décès par an chez les 30 ans et plus -↓ 1450 (1,25%) décès chez les 25-74 ans	Utilisation de 2 fonctions dose-réponse tirées de 2 études (d'où le choix des 2 groupes d'âge).

Intervention	Auteurs Année	Lieu Période	Population	Indicateurs pollution	Indicateurs sanitaires	Type d'étude	Résultats pollution	Résultats santé	Commentaires
Réductions des émissions (sources fixes et mobiles)	Fann et al. [74]	Détroit, Etats-Unis 2002-2020	Population de Détroit	[PM _{2.5}], [O ₃]	Mortalité (30-99 ans), Hospitalisations pour asthme (<65 ans)	EQIS	Chez la population vulnérable : ↓ entre 0,5 et 1,1 µg/m ³ / personne de PM _{2.5}	130 décès évités (contre 71 pour le scénario Statuquo) 16 hospitalisations pour asthme évitées (contre 6,8)	
Remplacement des trajets < 7 km en voiture par le vélo	Lindsay et al. [66]	Nouvelle-Zélande	Néo-zélandais de 18 à 64 ans vivant en zone urbaine en 2001 (n= 2,7 millions)	Emissions de NO _x , PM ₁₀ et CO (en tonnes)	Décès évités/ an, de jours d'activité restreinte/an et d'admissions pour problème cardiaque et/ou respiratoire	EQIS	Remplacement de 5% des trajets en voiture : -↓ 1449 tonnes des émissions de CO/an -↓ 161 tonnes de NO _x /an -↓ 9,3 tonnes de PM ₁₀ /an	Remplacement de 5% des km faits en voiture par le vélo : - 5,6 décès évités, - 7574 jours d'activité restreinte évités, ↓ de 2, 8 admissions pour problème cardiaque et/ou respiratoire	L'effectif de la population n'est pas précisé. Les indicateurs de pollution ne sont pas clairement présentés.

Études d'interventions sur la qualité de l'air : quels effets sur la santé ?

Revue de la littérature (1987-2015)

La pollution atmosphérique est responsable chaque année de 3,7 millions de décès prématurés dans le monde. Le nombre d'interventions visant à améliorer la qualité de l'air est croissant et il est nécessaire de documenter les impacts sanitaires de ces mesures pour améliorer la prévention.

Une revue de la littérature a été réalisée pour recenser les études mesurant les effets sur la santé d'interventions visant à diminuer la pollution atmosphérique. Ce travail a également permis de déterminer les étapes à considérer avant de mettre en place une étude de ce type. Cette revue de littérature s'est basée sur deux revues de la littérature récentes, et sur les études publiées depuis 2011. Les articles inclus dans cette revue traitent de sept types d'interventions : celles impactant le trafic automobile, le chauffage domestique, les grandes manifestations sportives, les changements de composition des carburants, les fermetures d'usines et les interventions sur des sources multiples. Une autre catégorie d'articles inclut des scénarios de réduction de la pollution de l'air. L'analyse de la littérature a mis en évidence non seulement l'existence d'une grande variabilité dans la nature des interventions mais aussi dans les protocoles d'étude.

Les études épidémiologiques sont les seules à même de prouver l'effet de l'intervention sur la santé. La grande majorité de ces études font état d'améliorations de l'état de santé suite aux différentes interventions.

Les évaluations quantitatives d'impact sanitaire (EQIS) sont mises en œuvre lors d'une intervention pour quantifier un impact sanitaire lorsqu'une étude épidémiologique n'est pas envisageable. Les EQIS sont également utilisées pour étudier les bénéfices attendus de scénarios d'actions visant à réduire les niveaux de pollution.

Il n'existe pas de méthode idéale qui conviendrait à l'étude de toute intervention sur la pollution atmosphérique. Chacune présente ses avantages et ses limites qu'il convient de minimiser autant que possible.

Outre les bénéfices sanitaires découlant directement de la réduction des niveaux de pollution atmosphérique, ce travail montre également qu'il est utile de réfléchir aux répercussions directes et indirectes, positives ou négatives en termes de santé, que pourrait avoir la mise en œuvre d'une action. Les résultats de cette revue de littérature devraient encourager les décideurs à entreprendre des démarches favorables à l'amélioration de la qualité de l'air.

Mots clés : pollution atmosphérique, revue de littérature, effets sur la santé d'études d'interventions

Intervention Studies On Air Quality: What Are the Effects on Health?

Literature review (1987-2015)

Air pollution is responsible each year for 3.7 million premature deaths worldwide. The number of interventions aimed at improving air quality is increasing and it is necessary to document the health impacts of these measures. A literature review was conducted to identify studies measuring the health effects of interventions aimed at reduce air pollution. This work also identified the steps to consider before setting up this type of studies. This literature review includes two recent literature reviews and studies published since 2011. The publications included in this review identified seven types of interventions: those impacting traffic, biomass combustion, sport events, changes in fuel composition, factory closures, interventions on multiple sources, and scenarios reducing air pollution. This review has shown a great variability of interventions and studies that analyze health effects. Epidemiological studies are the only ones able to demonstrate the effect on health of an intervention. Most of them indicate health status improvements following the interventions. Quantitative health impact assessments (QHIA) are implemented to quantify the health impacts when an epidemiological study is not feasible. The EQIS are also used to study the expected benefits of scenarios of actions to reduce pollution levels. There is no ideal method suitable for the study of any intervention on air pollution. Each has its advantages and limitations that should be minimized as much as possible. This work also shows that it is necessary to consider all possible consequences, positive or negative, of the implementation of an action. Despite their limitations, the results of this literature review should encourage policymakers to take action to improve air quality.

Key words : literature review, air pollution interventions, health impacts

Citation suggérée :

Duchesne L., Medina S. Études d'intervention sur la qualité de l'air : quels effets sur la santé? Revue de la littérature (1987-2015). Saint-Maurice : Santé publique France ; 2016. 43 p.

Disponible à partir de l'URL : <http://www.santepubliquefrance.fr>

SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

12 rue du Val d'Osne

94415 Saint-Maurice Cedex France

Tél. : 33 (0)1 41 79 67 00

Fax : 33 (0)1 41 79 67 67

www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 1958-9719

ISBN-NET : 979-10-289-0281-0

Réalisé par la Direction de la communication, Santé publique France
Dépôt légal : août 2016