

Interventions sur la pollution atmosphérique : brève vue d'ensemble*

Susann Henschel (susannhenschel@gmx.de)¹, Sylvia Medina², Patrick Goodman¹

1/ Dublin Institute of Technology (DIT), Dublin, Irlande
2/ Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, France

* Article traduit de l'anglais

Résumé / Abstract

Contexte et objectifs – Le fait de résider à proximité des grands axes routiers et la pollution de l'air due au trafic ont été associés à des effets néfastes pour la santé. Cette revue de la littérature a pour objectif de donner une vue d'ensemble des études d'intervention les plus pertinentes, publiées en anglais, évaluant l'impact sanitaire de changements de la qualité de l'air spécifiquement dus à des interventions sur le trafic ou le transport routier. Les interventions ont été définies comme étant des événements visant à réduire la pollution de l'air, ou des réductions de cette pollution survenant de façon secondaire, à partir de 1990.

Résultats – Les études publiées montrent de façon convergente qu'un certain nombre d'interventions sont associées à des effets bénéfiques sur la santé, principalement par une réduction de la mortalité et/ou de la morbidité cardiovasculaire ou respiratoire.

Conclusions – Ces observations soulignent les bénéfices sanitaires et financiers de l'élaboration et de la mise en œuvre de politiques efficaces dans l'Union européenne pour réduire, directement ou indirectement, la pollution atmosphérique associée au trafic routier, et d'en assurer le respect au fil du temps.

Air pollution interventions: A brief review

Background & Aims – Living near major roads and traffic-related air pollution has been linked to adverse health effects. This review aims to present an overview on the most relevant, published intervention/accountability studies in English assessing the health impact of changes in air quality specifically due to traffic/transport related interventions. Interventions were defined as events aimed at reducing air pollution or where reductions occurred as a side effect, from 1990 onwards.

Results – There is consistent published evidence that a number of these interventions have been associated with health benefits, mostly by way of reduced cardiovascular or respiratory mortality and or morbidity.

Conclusions – These findings underscore the health and monetary benefits from drafting and implementing effective EU policies that directly or indirectly reduce traffic-related air pollution, and ensuring compliance with them over time.

Mots-clés / Keywords

Pollution de l'air, trafic, études d'interventions, impact sanitaire / Air pollution, traffic, interventions, accountability studies, health impact

Contexte et objectifs

Une revue de la littérature relative aux études d'intervention sur la pollution de l'air a été conduite, afin d'identifier les types d'interventions et les approches utilisées pour évaluer les effets sanitaires associés [1].

Des relations entre le fait de résider à proximité d'axes routiers majeurs et/ou la pollution atmosphérique associée au trafic routier, et des effets sanitaires indésirables, ont clairement été mises en évidence [2-4]. De plus, on a pu constater un effet positif sur la santé d'un déménagement de zones à forte pollution atmosphérique vers des zones à pollution et trafic plus faibles [5-7].

Les travaux présentés ici donnent une vue d'ensemble des études d'intervention les plus pertinentes évaluant l'impact sanitaire de changements dans la qualité de l'air spécifiquement dus aux interventions associées au trafic et/ou au transport routier, publiées en anglais depuis 1990. Certaines de ces interventions ne sont pas des interventions au sens strict du terme, mais peuvent être des effets non planifiés, imputables à des changements politiques, économiques ou à d'autres changements sociétaux [1]. Cette revue n'est pas une présentation exhaustive de toutes les interventions associées au trafic routier existantes. Une recherche systématique dans PubMed, Google Scholar, ISI Web of KnowledgeSM, HEI Publication Database et

Science Direct[®] a été menée. Des critères d'inclusion ont été appliqués pour sélectionner les publications pertinentes en distinguant trois types d'interventions : (i) sources multiples, (ii) trafic, (iii) Jeux olympiques. Une étude bibliographique complète couvrant une gamme d'interventions plus large a été publiée par ailleurs [1].

Sources d'émission multiples

Il existe plusieurs cas documentés où des sources de pollution locales multiples, provenant de différents secteurs, ont été supprimées ou ont subi des changements suite à des modifications politiques, légales ou économiques, et qui permettent d'évaluer l'effet de cette suppression ou de ce changement sur la qualité de l'air, la morbidité et la mortalité [8]. Cependant, il est souvent difficile d'attribuer avec certitude les bénéfices aux interventions. En effet, les changements dans la qualité de l'air présentent de multiples aspects et ne sont pas exclusivement associés au transport routier.

Réduction de la teneur en soufre des carburants à Hong Kong, 1990

La limitation de la teneur en soufre des carburants à 0,5% en poids a été mise en application à Hong Kong en 1990 pour les centrales électriques et les véhicules. Un an après l'intervention, les taux

moyens de dioxyde de soufre (SO₂) avaient diminué de 53% dans l'ensemble de la ville et de 80% dans le district fortement pollué de Kwai Tsing [9]. Cette baisse s'est maintenue pendant plus de cinq ans. Une réduction des décès durant la saison froide a été observée dès la première année post-intervention. Par rapport aux valeurs prédites, des diminutions plus élevées ont été observées pour la mortalité annuelle toutes causes (2,1%) et les mortalités respiratoire (3,9%) et cardiovasculaire (2,0%). En revanche, aucun effet n'a été observé sur les décès dus aux cancers ou à d'autres causes. Le gain en espérance de vie par année d'exposition à des niveaux de contaminants plus faibles a été estimé à 20 jours pour les femmes et 41 jours pour les hommes [9].

Wong et coll. [10] ont évalué la santé respiratoire d'enfants vivant d'une part dans un district fortement pollué et, d'autre part, dans un district modérément pollué. Ils ont constatés que le bénéfice de l'intervention était plus grand pour les enfants de la zone polluée que pour ceux de la zone moins polluée, qui présentaient de meilleures valeurs bronchiques initiales. Ces observations sont cohérentes avec celles publiées par Peters et coll. [11].

Réunification allemande, 1990

La réunification de la République démocratique allemande (« Allemagne de l'Est ») et de la République fédérale allemande (« Allemagne de l'Ouest ») en

1990 s'est accompagnée de changements importants dans l'environnement politique et les structures socio-économiques [1]. Entre autres changements, le pays a notamment connu une évolution progressive et globale de la composition de sa flotte de véhicules et une augmentation générale du nombre total de véhicules (en particulier diesel). Parallèlement, le nombre de motocyclettes a diminué (-83%) [12].

Les modifications de la composition des carburants et de la flotte, les changements des structures industrielles et l'amélioration du contrôle des émissions ont conduit à une diminution des taux de polluants. Ebel et coll. [12] rapportent ainsi des baisses de 58% pour les TSP (*total suspended particules*), de 74% pour les PM_{2,5}, de 50% pour l'ion sulfate SO₄²⁻ et de 91% pour le SO₂ à Erfurt (Allemagne de l'Est) entre 1991 et 1998. On note cependant une augmentation des particules ultrafines [12;13]. Ces observations ont été corroborées par Suguri et coll. [14] en 2006, qui ont observé que les niveaux de pollution atmosphérique en Allemagne de l'Est étaient devenus similaires à ceux de l'Allemagne de l'Ouest. Ils ont également relevé une diminution des moyennes annuelles de TSP d'environ 43% dans cinq villes d'Allemagne de l'Est.

Peters et coll. [13] ont évalué l'impact à court terme de l'amélioration de la qualité de l'air sur la mortalité journalière à Erfurt, de 1990 à 2000. Ils décrivent une association à court terme retardée entre mortalité journalière et taux de dioxyde d'azote (NO₂), monoxyde de carbone (CO), particules ultrafines et ozone (O₃). Ces résultats ont été confirmés par Breitner et coll. [15].

En outre, Suguri et coll. ont montré qu'en 1991, les enfants âgés de six ans vivant en Allemagne de l'Est avaient une fonction pulmonaire moins bonne que celle des enfants d'Allemagne de l'Ouest. En 1997, cette différence avait disparu, en même temps que la différence de concentration des TSP. Ils ont aussi observé un effet négatif de l'exposition à la pollution liée au trafic routier sur la fonction pulmonaire [14]. Ces résultats sont cohérents avec les observations d'études antérieures [16-18].

Politiques européennes relatives aux émissions atmosphériques

L'Union européenne (UE) a progressivement appliqué des mesures législatives en vue d'améliorer la qualité de l'air en réduisant les émissions provenant de différents secteurs. L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) [19] a publié une évaluation de l'impact de plusieurs de ces mesures en les comparant avec un scénario dans lequel elles n'étaient pas appliquées. Des réductions significatives des émissions, en particulier de CO (-80%), composés organiques volatils non méthaniques (-68%), oxydes d'azote (-40%) et PM_{2,5} (-60%) ont ainsi été décrites en 2005, suite à l'application des directives relatives au transport, tandis que la consommation d'énergie dans ce secteur avait augmenté d'environ 20% pendant la période d'étude. Des changements dans les niveaux d'O₃ ont été observés, avec un profil plus irrégulier et des diminutions dans la plupart des régions, sauf en Allemagne, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni, où ils ont augmenté.

Le rapport AEE n° 8/2010 [19] indique que les mesures de réduction diminuent l'impact sanitaire du secteur du transport routier (en termes d'années de vie perdues) de 13% et 17% pour, respectivement, les PM_{2,5} et l'O₃. Ces chiffres sont basés sur le calcul de la moyenne de l'ensemble des pays membres de l'AEE comparée au scénario sans politique de réduction [1].

Mise en œuvre d'un règlement européen pour réduire la teneur en soufre dans certains combustibles liquides

Une analyse sur 20 villes européennes a été conduite pour évaluer l'impact de la législation de l'UE (directive du Conseil 93/12/CEE [20] et ses versions amendées [21;22]) visant à réduire la teneur en soufre de certains carburants et ses conséquences sur la qualité de l'air, en se focalisant sur le SO₂, la mortalité et les coûts financiers associés.

L'analyse des données de qualité de l'air indique une tendance générale à la baisse des niveaux de fond de SO₂ sur la période d'étude dans toutes les villes européennes étudiées, cohérente avec les observations d'une diminution sensible du SO₂ ambiant en Europe et en Amérique du Nord [23-25]. Il n'y a pas eu de changement brusque des concentrations en SO₂ après la mise en application des directives. En revanche, une diminution progressive des niveaux de SO₂ a été observée. Pour les 20 villes étudiées, une baisse globale d'environ 66% des niveaux de SO₂ ambiant a été observée en comparant la période avant octobre 1994 (période pré-directive) et celle après l'année 2000.

L'analyse des données sanitaires ne met pas en évidence de changement de pente de la courbe dose-réponse SO₂-mortalité en comparant les périodes avant et après mise en vigueur des directives du Conseil. Cette observation est cohérente avec une courbe dose-réponse linéaire jusqu'à des concentrations très faibles [26]. La réduction de mortalité estimée par l'étude est uniquement associée à une diminution des niveaux de SO₂. Sur l'ensemble de la période d'étude, l'analyse montre qu'une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de SO₂ est associée à une augmentation de la mortalité toutes causes (0,53%), respiratoire (0,49%) et cardiovasculaire (0,72%) [26].

À partir de l'année 2000, comparativement à la période pré-directive, on estime que les réductions des niveaux de SO₂ ont permis d'éviter 2 212 décès par an, correspondant à un coût financier de 191,6 millions d'euros [27].

Initiatives associées au trafic routier

Les initiatives relatives au trafic routier visant à en modifier la densité et/ou la composition de la flotte de véhicules, permettent d'étudier simultanément l'impact sur la pollution atmosphérique locale et sur la santé publique [28].

Péage urbain de Londres, 2003

Le 17 février 2003, Londres (Royaume-Uni) a institué un péage urbain dans le but de réduire la congestion du trafic dans le centre-ville sur une zone d'environ

22 km², en faisant payer un droit de péage pour les véhicules à quatre roues entrant dans cette zone du lundi au vendredi entre 7h et 18h [29]. D'autres mesures ont été prises pour améliorer le trafic, comme des améliorations du réseau de bus, des voies piétonnes et des pistes cyclables. Après un an, les encombrements ont pu être réduits de 30% [30]. Tonne et coll. [31] ont modélisé l'impact du péage urbain de Londres sur la pollution atmosphérique et la mortalité associées au trafic routier. Ils ont observé une nette variabilité des taux de pollution dans différentes parties de la ville et ont décrit une diminution globale des oxydes d'azote (NO_x), avec une baisse plus importante dans les zones défavorisées par rapport à la zone de péage. Cependant, Kelly et coll. [32] ont conclu que, si des signaux faibles et négligeables de changement de la qualité de l'air ont été observés, globalement aucun effet net du péage urbain sur les concentrations de polluants atmosphériques n'a pu être mis en évidence.

Tonne et coll. [31] ont estimé les années de vie gagnées (AVG) pour 100 000 habitants, conformément aux diminutions des niveaux de NO₂ dans leur modèle. Elles sont de 26 AVG pour l'agglomération londonienne, de 183 AVG pour les résidents dans la zone de péage, ces derniers représentant une très faible proportion de la population londonienne, et de seulement 18 AVG pour les zones restantes. Globalement, ces observations indiquent un impact très faible du péage urbain sur les niveaux de pollution atmosphérique associés au trafic et sur la santé publique.

Tonne et coll. ont également examiné les associations entre les changements de NO_x et les admissions à l'hôpital pour causes cardiorespiratoires, de 2001 à 2004 [33]. Ils ont mis en évidence une association significative entre les admissions pour bronchiolite et les niveaux de NO_x, en ajustant sur la dépendance spatiale au niveau de l'arrondissement, mais avec une variation spatiale significative [1].

Essai de péage urbain à Stockholm, 2006

Un essai de péage urbain a été mis en œuvre à Stockholm (Suède), du 3 janvier au 31 juillet 2006, sur une zone du centre-ville d'approximativement 30 km² [34]. Les frais de péage étaient échelonnés selon l'heure, entre 7h et 18h30, le tarif le plus élevé correspondant aux heures de pointe. Parallèlement, les transports publics ont été développés et renforcés, afin d'augmenter leur capacité et leur fréquence [35]. Les principaux objectifs de l'essai ont été atteints, en particulier l'effet sur l'amplitude du flux de trafic de part et d'autre de la zone de péage aux heures payantes. Ce dernier s'est stabilisé à une valeur inférieure d'environ 22% au trafic de 2005 [34].

Johansson et coll. [36] ont comparé les niveaux de pollution atmosphérique dans le centre-ville en 2006, avec et sans péage. Ils ont observé des réductions de 10% pour les NO_x, 7,6% pour les PM₁₀ totales et 10% pour la fraction de PM₁₀ provenant des pots d'échappement. En utilisant les NO_x comme marqueurs des émissions dues au trafic routier, ils ont calculé que l'impact sur la santé publique s'élèverait à 206 AVG pour 100 000 habitants pour

l'agglomération de Stockholm sur dix ans, si la diminution du niveau d'exposition se maintenait. Ces résultats sont très proches des estimations de Tonne et coll. [31] pour Londres.

L'amélioration due au péage urbain a été perçue comme positive par la majorité du public, perception confirmée par un référendum sur une proposition visant à rendre le système permanent [1;35].

« Ecopass » à Milan, 2008

Invernizzi et coll. [37] ont examiné l'impact sur la qualité de l'air local de l'instauration en 2008 du règlement « Ecopass » de restriction du trafic à Milan (Italie). Ce règlement, qui concernait une zone relativement restreinte du centre historique de la ville, d'une surface 8,2 km², imposait l'achat d'un ticket d'entrée pour les véhicules les plus polluants. Après sa mise en application, des réductions significatives de noir de carbone ont été observées. En revanche, aucun changement des niveaux des PM₁, PM_{2,5} et PM₁₀ n'a été relevé. Les observations des auteurs soulignent l'importance de l'utilisation d'une mesure appropriée de la pollution atmosphérique afin d'évaluer l'efficacité de différentes interventions sur la qualité de l'air [37]. L'impact de cette intervention sur la santé publique n'a pas été étudié [1].

Jeux olympiques

Jeux olympiques d'été, Atlanta, 1996

Lors des Jeux olympiques d'Atlanta (États-Unis), en 1996, des mesures ont été prises pour réduire les embouteillages, tout en mettant en place un réseau de transports en commun plus fonctionnel : augmentation de la flotte de bus, transports publics fonctionnant 24 heures sur 24, horaires de travail flexibles, etc.

Friedman et coll. [38] ont observé des améliorations de la qualité de l'air, associées à une diminution du nombre des consultations aux urgences et des hospitalisations pour asthme. Cependant, ces observations ont été contestées par Peel et coll. en 2010 [39], qui soulignent que des facteurs de confusion importants n'avaient pas été pris en compte dans l'étude originale.

Jeux olympiques d'été, Pékin, 2008

Les Jeux olympiques et paralympiques de Pékin (Chine) en 2008 ont fait l'objet de plusieurs études visant à évaluer les effets sanitaires de la réduction des embouteillages et de l'amélioration de la qualité de l'air. La comparaison entre la période pré-olympique et la période olympique a mis en évidence des améliorations des niveaux de pollution atmosphérique. On estime cependant que les conditions météorologiques prévalant pendant les Jeux ont contribué à hauteur de 40% à cette amélioration [40].

Li et coll. [41] ont décrit une réduction significative des consultations pour asthme de l'adulte au cours des Jeux, tandis que Hou et coll. [42] ont observé que l'exposition humaine aux PM₁₀ et les coûts financiers sanitaires associés étaient plus faibles pendant la période olympique que durant les

périodes pré- et post-olympiques. Huang et coll. [43] ont décrit des améliorations de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) chez 43 résidents âgés, précédemment diagnostiqués comme présentant des maladies cardiovasculaires. Des résultats similaires ont été présentés par Wu et coll. [44] lors de l'évaluation de la VFC chez 11 conducteurs de taxi jeunes et sains, tandis que Zhang et coll. [45] ont relevé des améliorations aux niveaux respiratoire et cardiovasculaire.

Discussion et conclusion

Les données et les méthodes utilisées dans les analyses pour les différentes études sont très variables, ce qui limite la possibilité de comparaison directe des résultats. *A posteriori*, il n'est pas toujours possible d'évaluer complètement une intervention, car cela dépend du financement, des données disponibles, etc. Globalement, cette étude bibliographique montre que les différentes interventions, quelle que soit leur nature, permettent de réduire effectivement les niveaux de pollution atmosphérique. Les études montrent de façon étayée qu'un certain nombre d'interventions ont des effets bénéfiques sur la santé, principalement *via* une réduction de la mortalité et/ou de la morbidité cardiovasculaire ou respiratoire [1].

Ces résultats mettent en évidence les bénéfices sanitaires et financiers de l'élaboration et de la mise en œuvre de politiques efficaces dans l'UE pour réduire directement ou indirectement la pollution atmosphérique associée au trafic routier, et d'en assurer le respect au fil du temps [2].

Afin de permettre une comparaison plus détaillée des résultats d'évaluation d'impact sanitaire de différentes études d'intervention, des guides standardisés sont nécessaires. Cependant, il est clair qu'il n'existe pas d'approche unique adaptée à tous les cas. L'hétérogénéité de la nature des interventions et la disponibilité des données peuvent être des facteurs limitants lors de la comparaison des résultats. Il est donc préférable de promouvoir une évaluation prospective des études d'intervention. En attendant, nous recommandons (i) l'utilisation de zones témoins (zones dans lesquelles aucune intervention n'a été mise en œuvre) le cas échéant, (ii) l'utilisation complète de toutes les données disponibles, (iii) l'utilisation d'une fenêtre temporelle appropriée pour l'évaluation, et (iiii) l'utilisation de plusieurs approches de modélisation pour accroître la confiance à accorder aux résultats [1].

Remerciements

Cette étude a été financée en partie par le projet Aphekom (contrat de subvention n° 2007105) et nous remercions le réseau collaboratif Aphekom pour sa très précieuse contribution, en particulier Richard Atkinson, Ariana Zeka, Alain Le Tertre, Antonis Analitis, Klea Katsouyanni, Olivier Chanel, Mathilde Pascal et Bertil Forsberg.

Références

[1] Henschel S, Atkinson R, Zeka A, Le Tertre A, Analitis A, Katsouyanni K, Chanel O, *et al.* Air pollution interventions and their impact on public health. *Int J Public Health*. 2012;57(5):757-68.
[2] Aphekom Summary Report, Aphekom – Summary report of the Aphekom project 2008-2011. 2011. Disponible à : <http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/home>

[3] Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*. 2002;360(9341):1203-9.

[4] Salam MT, Islam T, Gilliland FD. Recent evidence for adverse effects of residential proximity to traffic sources on asthma. *Curr Opin Pulm Med*. 2008;14(1):3-8.

[5] Avol EL, Gauderman WJ, Tan SM, London SJ, Peters JM. Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;164(11):2067-72.

[6] Gan WQ, Tamburic L, Davies HW, Demers PA, Koehoorn M, Brauer M. Changes in residential proximity to road traffic and the risk of death from coronary heart disease. *Epidemiology*. 2010;21(5):642-9.

[7] Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Schneider J, ed. Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2005. Disponible à : <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/health-effects-of-transport-related-air-pollution>

[8] Pope CA 3rd. Accountability studies of air pollution and human health: where are we now and where does the research go next? Proceedings of an HEI Workshop on Further Research to Assess the Health Impacts of Actions Taken to Improve Air Quality. Communication 15. 2010: Boston, MA.

[9] 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

[10] Wong CM, Lam TH, Peters J, Hedley AJ, Ong SG, Tam AY, *et al.* Comparison between two districts of the effects of an air pollution intervention on bronchial responsiveness in primary school children in Hong Kong. *J Epidemiol Community Health*. 1998;52(9):571-8.

[11] Peters J, Hedley AJ, Wong CM, Lam TH, Ong SG, Liu J, Spiegelhalter DJ. Effects of an ambient air pollution intervention and environmental tobacco smoke on children's respiratory health in Hong Kong. *Int J Epidemiol*. 1996; 25(4):821-8.

[12] Ebel S, Brauer M, Cyrus J, Tuch T, Kreyling WG, Wichmann HE, Heinrich J. Air quality in postunification Erfurt, East Germany: associating changes in pollutant concentrations with changes in emissions. *Environ Health Perspect*. 2001;109(4):325-33.

[13] Peters A, Breitner S, Cyrus J, Stölzel M, Pitz M, Wölke G, *et al.* The influence of improved air quality on mortality risks in Erfurt, Germany. *Res Rep Health Eff Inst*. 2009;(137):5-7;discussion 79-90.

[14] Sugiri D, Ranft U, Schikowski T, Krämer U. The influence of large-scale airborne particle decline and traffic-related exposure on children's lung function. *Environ Health Perspect*. 2006;114(2):282-8.

[15] Breitner S, Stölzel M, Cyrus J, Pitz M, Wölke G, Kreyling W, *et al.* Short-term mortality rates during a decade of improved air quality in Erfurt, Germany. *Environ Health Perspect*. 2009;117(3):448-54.

[16] Frye C, Hoelscher B, Cyrus J, Wjst M, Wichmann HE, Heinrich J. Association of lung function with declining ambient air pollution. *Environ Health Perspect*. 2003; 111(3):383-7.

[17] Heinrich J, Hoelscher B, Wichmann HE. Decline of ambient air pollution and respiratory symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161(6):1930-6.

[18] Krämer U, Behrendt H, Dolgner R, Ranft U, Ring J, Willer H, *et al.* Airway diseases and allergies in East and West German children during the first 5 years after reunification: time trends and the impact of sulphur dioxide and total suspended particles. *Int J Epidemiol*. 1999; 28(5):865-73.

[19] European Environment Agency. Impact of selected policy measures on Europe's air quality. EEA Report No 8/2010. Copenhagen: EEA, 2011. Disponible à : <http://www.eea.europa.eu/publications/impact-of-selected-policy-measures>

[20] Council Directive 93/12/EEC of 23 March 1993 relating to the sulphur content of certain liquid fuels. Disponible à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31993L0012:en:NOT>

[21] Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC. Disponible à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0070:en:NOT>

- [22] Council Directive 1999/32/EC of 26 April 1999 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels and amending Directive 93/12/EEC. Disponible à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0032:EN:HTML>
- [23] Environmental Protection Agency, U.S. Sulfur Dioxide. National Trends in Sulfur Dioxide Levels. 2012 ; Disponible à : <http://www.epa.gov/airtrends/sulfur.html>
- [24] Working group of the European Commission. SO2 Position paper. Final – November 1997. Disponible à : http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_so2.pdf
- [25] WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide – Global update 2005. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. Disponible à : http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/
- [26] Le Tertre A, *et al.* Comparing health impacts before and after a strategy to reduce air pollution in Europe – The Apekom Project. 2012. (Unpublished manuscript)
- [27] Chanel O, Henschel S, Goodman P, Ananlitis A, Atkinson R, Le Tertre A, *et al.* Monetary assessment of the implementation of an EC regulation on SO₂ in 20 European cities of the Apekom project. 2012. (Manuscript submitted for publication).
- [28] van Erp A, Cohen A. HEI's Research Program on the Impact of Actions to Improve Air Quality: Interim Evaluation and Future Directions. Communication 14. 2009: Boston, MA.
- [29] TfL. Central London Congestion Charging. Impacts Monitoring. Fifth Annual Report. London: Transport for London, 2007. Disponible à : <http://www.tfl.gov.uk/roadusers/congestioncharging/6722.aspx>
- [30] TfL. Central London Congestion Charging. Impacts Monitoring. Second Annual Report. London: Transport for London, 2004. Disponible à : <http://www.tfl.gov.uk/roadusers/congestioncharging/6722.aspx>
- [31] Tonne C, Beevers S, Armstrong B, Kelly F, Wilkinson P. Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities. *Occup Environ Med.* 2008;65(9):620-7.
- [32] Kelly F, Armstrong B, Atkinson R, Anderson HR, Barratt B, Beevers S, *et al.* HEI Health Review Committee. The London low emission zone baseline study. *Res Rep Health Eff Inst.* 2011;(163):3-79.
- [33] 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. *Occup Environ Med.* 2010;67(6):422-7.
- [34] Eliasson J. Lessons from the Stockholm congestion charging trial. *Transport Policy.* 2008;15(6):395-404.
- [35] Eliasson J, Hultkrantz L, Nerhagen L, Smidfelt Rosqvist L. The Stockholm congestion – charging trial 2006: Overview of effects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice.* 2009;43(3):240-50.
- [36] Johansson C, Burman L, Forsberg B. The effects of congestions tax on air quality and health. *Atmospheric Environment.* 2009;43(31):4843-54.
- [37] Invernizzi G, Ruprecht A, Mazza R, De Marco C, Mocnik 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.
- [38] 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. *JAMA.* 2001;285(7):897-905.
- [39] Peel JL, Klein M, Flanders WD, Mulholland JA, Tolbert PE. HEI Health Review Committee. Impact of improved air quality during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on multiple cardiovascular and respiratory outcomes. *Res Rep Health Eff Inst.* 2010;(148):3-23; discussion 25-33.
- [40] Wang W, Primbs T, Tao S, Simonich SL. Atmospheric particulate matter pollution during the 2008 Beijing Olympics. *Environ Sci Technol.* 2009;43(14):5314-20.
- [41] 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. *Sci Total Environ.* 2010;408(5):1226-7.
- [42] Hou Q, An XQ, Wang Y, Guo JP. An evaluation of resident exposure to respirable particulate matter and health economic loss in Beijing during Beijing 2008 Olympic Games. *Sci Total Environ.* 2010;408(19):4026-32.
- [43] 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. ISEE 2009 Conference abstract, 2009, Dublin.
- [44] Wu S, Deng F, Niu J, Huang Q, Liu Y, Guo X. Association of heart rate variability in taxi drivers with marked changes in particulate air pollution in Beijing in 2008. *Environ Health Perspect.* 2010;118(1):87-91.
- [45] Zhang J, Zhu T, Huang W, Kipen H, Wang G, Rich D, *et al.* The Beijing HEART Study: Study hypotheses and preliminary results. ISEE Conference abstract, 2009, Dublin.