

Jean-Marc Yvon, Caroline Huchet-Kervella
Institut de veille sanitaire (InVS), Cire Rhône-Alpes

- Une **réduction de la pollution** atmosphérique peut permettre un **bénéfice sanitaire** non négligeable.
- Il est essentiel de **réduire les niveaux de fond**, c'est-à-dire la pollution de tous les jours liée notamment aux **particules**, pour améliorer la qualité et l'espérance de vie des habitants.

Caractéristiques de la zone d'étude

- 10 communes ;
- 135 000 habitants ;
- 100 km².

Sources : CORINE Land Cover, 2006 ;
IGN-BDTopo, 2011 ; IGN-GéoFLA, 2011 ;
InVS, 2014.

CONTEXTE

Qu'est ce que la pollution atmosphérique ?

La pollution atmosphérique est un **mélange complexe de composés**. Deux types de polluants sont distingués. Les polluants primaires sont directement émis par une source (voitures, industries...). Les polluants secondaires comme l'ozone sont formés dans l'atmosphère par réactions chimiques. Des polluants qualifiés d'indicateurs représentent globalement la pollution atmosphérique. Les plus classiquement surveillés sont les particules fines de diamètre inférieur à 10 μm (PM_{10}) ou à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), l'ozone, le dioxyde d'azote (NO_2) et le dioxyde de soufre (SO_2). En Rhône-Alpes, leur surveillance est assurée par l'Association agréée de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) Air Rhône-Alpes.

Quels sont les effets de la pollution atmosphérique sur la santé ?

Les connaissances actuelles, issues des études épidémiologiques, biologiques et toxicologiques disponibles, permettent d'affirmer que l'exposition à la pollution atmosphérique a des effets importants sur la santé. Bien que le risque associé à cette pollution soit faible au niveau individuel, le fait que l'ensemble de la population soit exposé en continu constitue une **préoccupation majeure de santé publique** [1-3].

Il convient de distinguer deux types d'impact de l'exposition à la pollution atmosphérique sur la santé :

- les **impacts à court terme** qui surviennent dans des délais brefs (quelques jours) et qui sont à l'origine de troubles tels que : irritations oculaires ou des voies respiratoires, crises d'asthme, **exacerbation de troubles cardio-vasculaires et respiratoires** pouvant conduire à une hospitalisation, et dans les cas les plus graves au décès ;
- les **impacts à long terme** qui surviennent dans des délais de 1 à 10 ans et qui peuvent être définis comme la contribution de l'exposition à la pollution atmosphérique au **développement ou à l'aggravation de maladies chroniques** telles que : cancers, pathologies cardiovasculaires et respiratoires, troubles neurologiques, troubles du développement, etc.

L'ensemble des études montre que l'**impact à long terme** de l'exposition à la pollution atmosphérique sur la santé est **beaucoup plus important** que l'impact à court terme au niveau de son poids pour la santé publique.

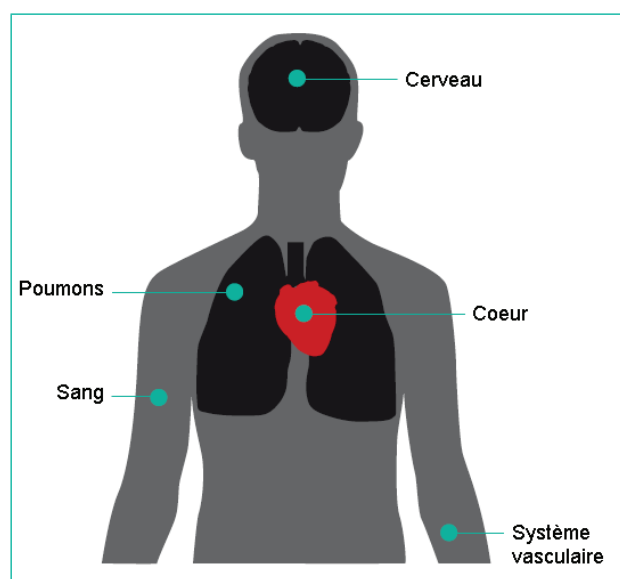
La pollution de l'air se traduit ainsi par une dégradation de l'état de santé et du bien être, et par une diminution significative de l'espérance de vie.

Les études n'ont pas mis en évidence, à l'échelle de la population, de seuil protecteur en deçà duquel aucun impact sanitaire ne pourrait être observé. Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont ainsi observés dès les niveaux de concentration les plus faibles et en l'absence de pics de pollution.

Enfin, certaines catégories de la population sont plus vulnérables que d'autres aux effets d'une exposition à la pollution atmosphérique : les enfants, les personnes âgées, les personnes souffrant de pathologies chroniques respiratoires (asthme, allergie respiratoire, bronchite chronique) et cardio-vasculaires (insuffisances coronariennes et cardiaques).

FIGURE 2 I

Principaux organes cibles de la pollution atmosphérique



POURQUOI ÉVALUER L'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ?

L'Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine (EIS-PA) a pour objectif de quantifier les bénéfices sanitaires (mortalité et séjours hospitaliers) et économiques qui pourraient être obtenus localement si les niveaux de pollution étaient réduits.

C'est un **outil d'aide à la décision** pour l'élaboration des politiques de gestion du risque sanitaire lié à la pollution atmosphérique par les **décideurs locaux**.

C'est aussi un **outil de sensibilisation et d'information** sur les effets de la pollution atmosphérique pour le **grand public**.

MÉTHODE

Principes d'une EIS-PA

La méthode des EIS-PA repose sur l'application des **relations concentration-réponse**, issues d'études épidémiologiques menées à grande échelle, à des données d'exposition à la pollution de l'air et des données sanitaires locales.

L'EIS-PA a été réalisée selon la méthode décrite dans le guide méthodologique mis à jour par l'Institut de veille sanitaire (InVS) en 2013 [4]. Cette méthode se décline en 4 étapes (figure 3).

Les polluants sélectionnés pour la réalisation d'une EIS-PA sont ceux pour lesquels le lien de causalité est bien établi et pour lesquels il existe une relation concentration-réponse qui fait suffisamment consensus au niveau de la communauté scientifique.

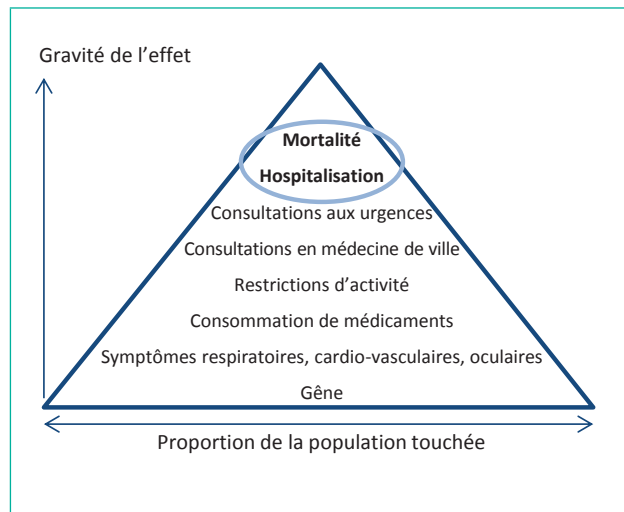
Ainsi ont été sélectionnés :

- pour les **effets court terme** : l'impact des PM_{10} et de l'ozone sur les hospitalisations pour causes cardiovasculaires et respiratoires ;
- pour les **effets long terme** : l'impact des $PM_{2,5}$ sur la mortalité totale et cardiovasculaire.

Les indicateurs sanitaires sélectionnés et disponibles en routine correspondent aux **effets les plus graves de la pollution**. Ils se composent des hospitalisations et de la mortalité. De ce fait, les résultats sous-estiment l'impact total de la pollution atmosphérique (figure 4).

FIGURE 4 I

Pyramide des effets sanitaires de la pollution atmosphérique

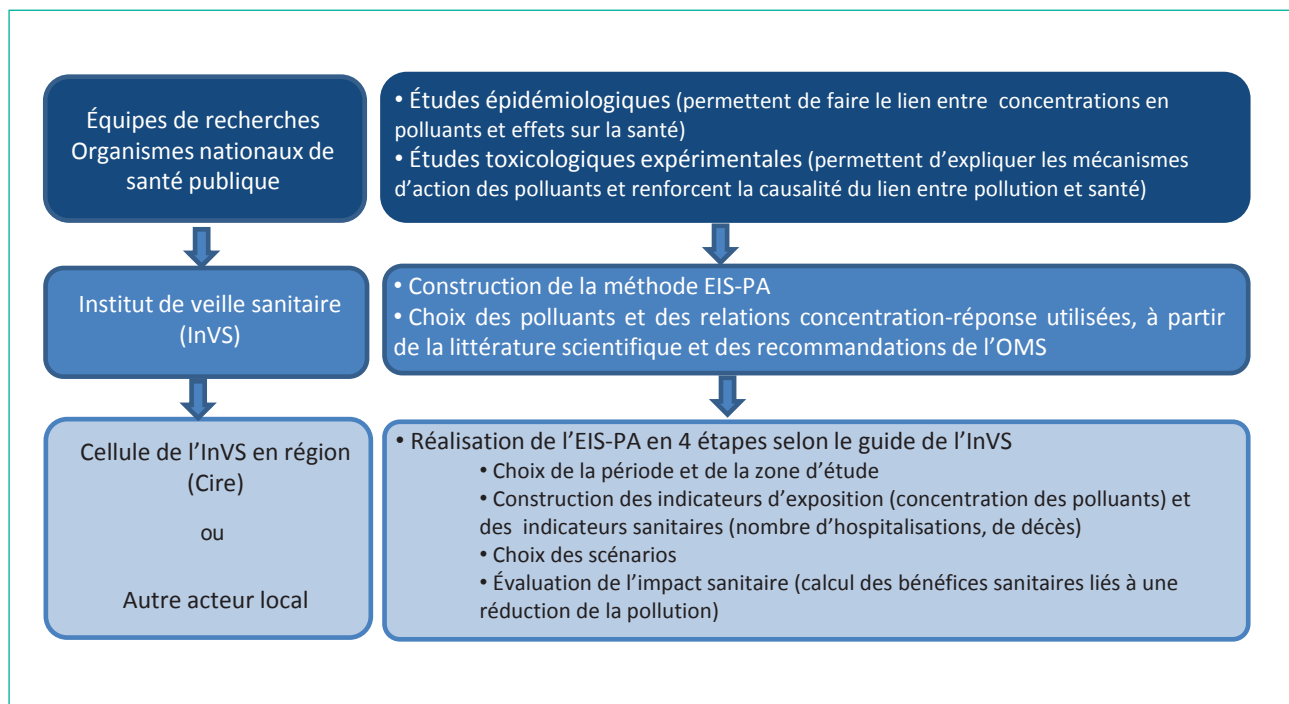


Des scénarios de diminution de la pollution sont proposés (exemple : atteinte d'une valeur particulière). Le principe de l'EIS-PA est ensuite de calculer les bénéfices sanitaires qui seraient obtenus si ces scénarios étaient réalisés.

Ces bénéfices sanitaires peuvent être ensuite traduits en **bénéfices économiques potentiels**. Ce calcul prend en compte les dépenses de santé, le coût de l'absentéisme, les coûts associés à la perte du bien-être, à la qualité et l'espérance de vie.

FIGURE 3 I

Principe des évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique



Période d'étude

La période d'étude retenue porte sur 3 années, de **2009 à 2011**. Elle a été choisie en fonction des dernières données de santé disponibles et consolidées (hospitalisations, mortalité).

Zone d'étude

La zone d'étude (figure 1 et tableau 1) est composée de 10 des 13 communes de la communauté de l'agglomération d'Annecy. Ces communes répondent au critère de continuité urbaine et de niveau de pollution globalement homogène. En 2010, elles représentaient 97 % de la population de la communauté d'agglomération.

I TABLEAU 1 I

Caractéristiques de la zone d'étude d'Annecy

Nombre de communes	10
Population qui vit et travaille dans la zone (%)	96
Superficie (km ²)	95
Nombre d'habitants (Insee 2010)	135 000
Densité (habitants/km ²)	1 411
Population de moins de 15 ans (%)	16
Population de plus de 65 ans (%)	17

Données de santé

Le nombre annuel d'**hospitalisations (causes respiratoires et cardiaques)** ainsi que le nombre annuel de **décès (toutes causes et pour des causes respiratoires et cardio-vasculaires)** ont été recueillis pour les années 2009 à 2011.

Concernant l'hospitalisation, les données du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) ont été utilisées. La requête a porté sur 3 établissements situés dans la zone d'étude (site d'Annecy du Centre hospitalier (CH) Annecy Genevois, clinique d'Argonay, clinique générale d'Annecy) et 1 établissement hors de la zone d'étude (site de Saint-Julien-en-Genevois du CH Annecy Genevois). L'ajout de ce dernier s'explique par sa fréquentation significative par les habitants de la zone d'étude pour les pathologies recherchées.

Les données de mortalité ont été transmises par le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc) de l'Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale).

Données de qualité de l'air

Sources de pollution

Le tableau 2 présente la répartition des principales sources de pollution particulaire dans la zone d'étude estimée par Air Rhône-Alpes.

I TABLEAU 2 I

Principales sources de pollution pour les particules dans la zone d'étude d'Annecy

	PM ₁₀	PM _{2,5}
Résidentiel	36 %	43 %
Transport	38 %	37 %
Industrie	22 %	17 %
Agriculture	1 %	1 %
Tertiaire	3 %	2 %
	100 %	100 %

Stations de mesures utilisées

Pour les **PM_{2,5}** et les **PM₁₀**, les données de la station urbaine d'Annecy Loverchy ont été recueillies (moyennes journalières).

Pour l'**ozone**, les données de la station urbaine d'Annecy Loverchy et de la station périurbaine d'Annecy Novel ont été recueillies (maxima journaliers de la moyenne glissante sur 8 heures).

Traitement des données et indicateurs de pollution

Pour chaque polluant, au minimum 93 % des données étaient présentes. Un calcul de correction des valeurs manquantes a été appliqué.

Les indicateurs pour les particules (PM_{2,5} et PM₁₀) sont constitués des moyennes annuelles des valeurs journalières.

Pour l'ozone, les calculs sont effectués directement avec les valeurs journalières recueillies.

Choix des scénarios (tableau 3)

Le **scénario 1** quantifie le nombre de décès et d'hospitalisations évités si les **objectifs** de qualité de l'air définis par l'OMS étaient respectés [6]. Il est étudié pour les trois polluants sélectionnés.

Compte-tenu du poids en terme de santé publique des effets long terme des $PM_{2,5}$, un **scénario 2** est étudié pour ce polluant. Il vise à estimer les bénéfices sanitaires d'une baisse de $5 \mu g/m^3$ de la valeur annuelle moyenne.

I TABLEAU 3 I			
Scénarios de diminution des expositions à la pollution atmosphérique			
Indicateur		Scénario	Expression des résultats
Court terme	PM_{10}	Scénario 1 : Diminution de la moyenne annuelle à la valeur guide de l'OMS soit $20 \mu g/m^3$	Décès évités/an Hospitalisations respiratoires et cardiaques évitées/an
	Ozone	Scénario 1 : Écrêtage de tous les maxima journaliers sur 8h dépassant $100 \mu g/m^3$	Décès évités/an Hospitalisations respiratoires évitées/an (chez les plus de 15 ans)
Long terme	$PM_{2,5}$	Scénario 1 : Diminution de la moyenne annuelle à la valeur guide de l'OMS soit $10 \mu g/m^3$	Décès, chez les plus de 30 ans, évités/an Hospitalisations cardiaques évitées/an
		Scénario 2 : Diminution de $5 \mu g/m^3$ de la moyenne annuelle	Gain d'espérance de vie à 30 ans

RÉSULTATS

Indicateurs sanitaires

I TABLEAU 4 I	
Indicateurs de mortalité et morbidité (moyenne annuelle), zone d'étude d'Annecy, 2009-2011	
Événements sanitaires	Moyenne annuelle
Mortalité totale (≥ 30 ans)	968
Mortalité cardiovasculaire (≥ 30 ans)	251
Mortalité non accidentelle (tous âges)	904
Hospitalisations cardiaques (tous âges)	1 116
Hospitalisations respiratoires (tous âges)	1 353
Hospitalisations respiratoires (≥ 15 ans)	912

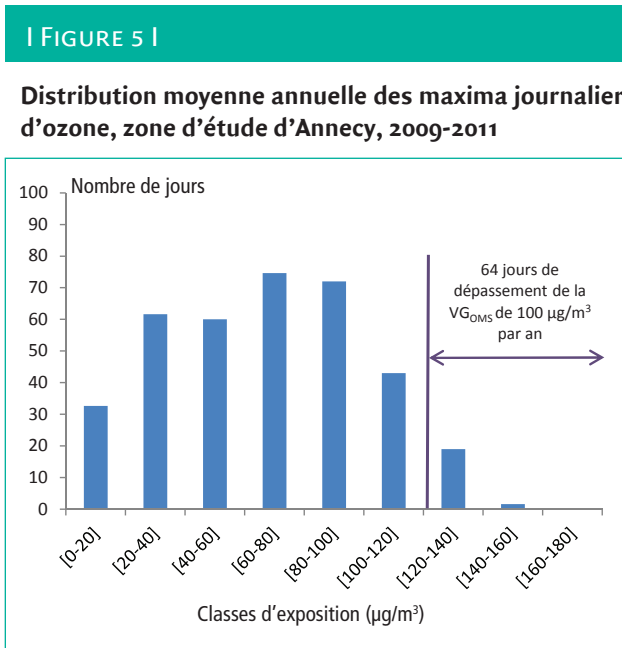
Indicateur de pollution : particules fines

Les **concentrations moyennes annuelles** estimées sont supérieures aux valeurs guides de l'OMS à la fois pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$ (tableau 5).

I TABLEAU 5 I		
Exposition moyenne annuelle aux particules, zone d'étude d'Annecy, 2009-2011		
Polluant	Moyenne annuelle ($\mu g/m^3$)	Valeur guide de l'OMS ($\mu g/m^3$)
$PM_{2,5}$	22,8	10
PM_{10}	30,2	20

Indicateur de pollution : ozone

La valeur de $100 \mu g/m^3$ en maxima journalier des moyennes glissantes sur 8 heures (valeur guide OMS) est dépassée 192 jours au total pour les 3 années d'étude, soit 1 jour sur 6 en moyenne (figure 5).



BÉNÉFICES SANITAIRES

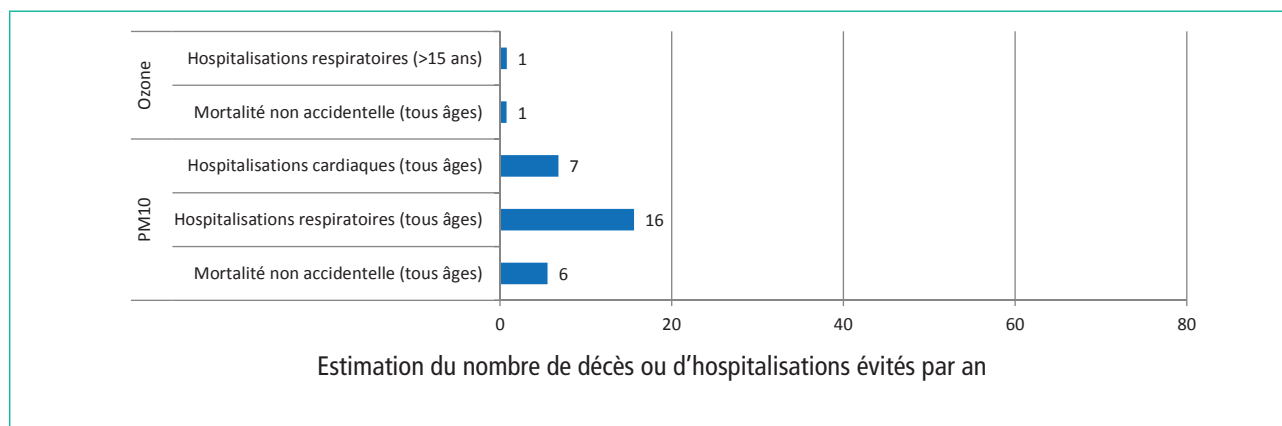
Court terme (figure 6)

La diminution des PM_{10} jusqu'à la valeur guide de l'OMS permettrait d'éviter 7 décès par an et 23 hospitalisations respiratoires ou cardiaques. L'ensemble permettrait un bénéfice estimé à 560 000 euros par an.

Pour l'**ozone**, les bénéfices attendus par le respect de la valeur cible OMS seraient de 1 hospitalisation respiratoire pour les plus de 15 ans et de 1 décès évité par an. Le gain économique est estimé à environ 70 000 euros par an.

I FIGURE 6 I

Estimation du bénéfice sanitaire obtenu si les niveaux d'ozone et de PM_{10} étaient ramenés aux valeurs guides préconisées par l'OMS, zone d'étude d'Annecy, 2009-2011



Long terme (figure 7)

Scénario 1 : respect de la valeur guide de l'OMS pour les $PM_{2,5}$

L'estimation du bénéfice sanitaire obtenu, si le niveau moyen annuel en $PM_{2,5}$ était ramené à $10 \mu g/m^3$, serait de **70 décès évités** par an pour les personnes âgées de plus de 30 ans (soit 7 % des décès annuels toutes causes des plus de 30 ans) dont la moitié pour cause cardiovasculaire.

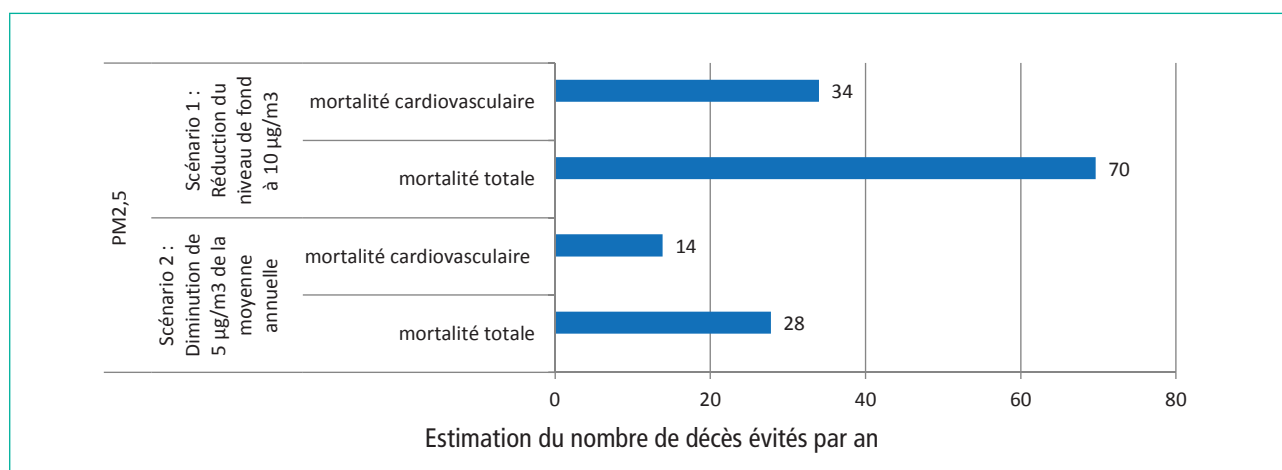
Ceci correspond à une espérance de vie gagnée de 11 mois pour cette population de la zone d'étude. Le bénéfice économique de la mortalité évitée est estimé à 115 millions d'euros par an.

Scénario 2 : Diminution de $5 \mu g/m^3$ de la valeur annuelle moyenne en $PM_{2,5}$

Cette diminution de la pollution permettrait d'éviter **28 décès** par an (soit 3 % des décès annuels toutes causes des plus de 30 ans). L'espérance de vie gagnée alors à 30 ans serait de **4 mois**. Le gain économique de la mortalité évitée avec ce scénario serait de 46 millions d'euros par an.

I FIGURE 7 I

Estimation du bénéfice sanitaire obtenu si le niveau moyen annuel de $PM_{2,5}$ était abaissé selon deux scénarios, zone d'étude d'Annecy, 2009-2011



DISCUSSION

La zone d'étude regroupe la grande majorité des communes et de la population de la communauté de l'agglomération d'Annecy. La population de la zone d'étude se déplace très majoritairement dans la zone d'étude. Il a été vérifié avec Air Rhône-Alpes le caractère globalement homogène de la pollution atmosphérique sur la zone d'étude. Pour la construction de l'indicateur de pollution ozone, les données des deux stations de fond existantes sur la zone d'étude ont été exploitées. Pour les particules (PM_{10} ou $PM_{2,5}$), la construction des indicateurs a reposé sur les données de la station urbaine de Loverchy.

Une période d'étude de 3 ans a été retenue. Elle est suffisamment longue pour être représentative de la situation habituelle sur la zone d'étude tout en vérifiant l'absence d'événements climatiques ou sanitaires particuliers sur cette période. Sur la question de l'influence éventuelle de la pandémie grippale A(H1N1) de 2009, la comparaison des données sanitaires sur les trois années d'étude montre qu'il n'y a pas de différence significative notamment pour les hospitalisations pour cause respiratoire.

Cette évaluation qui étudie uniquement les événements de santé les plus graves (décès et hospitalisations) **ne reflète qu'une partie de l'impact de la pollution**. Les autres événements sanitaires plus bénins (maladies respiratoires aiguës, toux, allergies, crises d'asthme, irritations, etc.) mais touchant une proportion beaucoup plus importante de la population (figure 4) ne sont pas pris en compte.

L'évaluation réalisée ne permet pas non plus d'appréhender les inégalités d'exposition au sein de la population d'étude. Le projet Aphekom a permis de montrer qu'habiter à proximité du trafic routier est un facteur majorant dans le développement de l'asthme chez les enfants et des pathologies chroniques chez les plus de 65 ans [1-3].

Les oxydes d'azote n'ont pas été retenus parmi les polluants étudiés alors que ce sont des polluants très suivis au niveau réglementaire [6]. Ils sont un bon marqueur du trafic routier. Cependant, le niveau de confiance dans les relations concentration-réponse issues des études publiées a été jugé trop faible et les effets observés trop corrélés avec ceux des PM_{10} . Cette position est néanmoins susceptible d'évoluer avec les dernières connaissances scientifiques qui confirment les effets sanitaires propres non négligeables du dioxyde d'azote notamment sur le long terme [5].

La valorisation économique du bénéfice sanitaire qui porte sur les décès évités prend en compte la valeur statistique d'une vie. Cette notion est propre à une société donnée. En effet, le calcul prend en compte le ressenti et la capacité à payer de la société pour valoriser financièrement une vie. Les méthodologies utilisées peuvent être différentes selon les publications scientifiques. Cependant, ce type d'estimation reconnue par la communauté scientifique est couramment utilisée quelle que soit la cause du décès anticipé, par exemple : les accidents de la route.

L'évolution régulière de la méthodologie des EIS-PA basée elle-même sur l'évolution des connaissances scientifiques ne permet pas la comparaison de cette étude avec les études antérieures menées dans la région Rhône-Alpes. D'autre part, la taille et la composition de la population de la zone d'étude ne permettent pas non plus de comparer directement les bénéfices sanitaires estimés dans d'autres EIS-PA menées selon la même méthodologie.

Les **résultats de l'EIS** doivent être considérés comme des **ordres de grandeur** et non comme des chiffres exacts. En effet, la méthode utilisée présente des limites, notamment dues à la construction des indicateurs de santé et de qualité de l'air ainsi qu'à la transposition des relations concentration-réponse construites dans un contexte urbain qui n'est pas strictement identique au contexte de la zone d'étude.

CONCLUSION

Des bénéfices sanitaires potentiels notables

Les niveaux de pollution de fond sur la zone d'étude de l'agglomération d'Annecy sont supérieurs aux valeurs guides de l'OMS pour les années 2009 à 2011.

Les bénéfices d'une diminution des niveaux des particules les plus fines ($PM_{2,5}$) à la valeur guide de l'OMS sur cette zone d'étude permettraient d'éviter près de **70 décès chaque année**, correspondant à un gain économique attendu d'environ 115 millions d'euros par an.

Cependant, les résultats de cette étude sous-estiment ces bénéfices en ne prenant en compte ni les passages aux urgences ni les pathologies traitées en médecine ambulatoire (allergies, asthme, irritations oculaires...) qui peuvent être liés à la pollution atmosphérique et touchent une part plus importante de la population.

Cette étude illustre aussi que le **gain sanitaire associé à une diminution de l'exposition chronique est plus important que le gain sanitaire associé à une diminution de l'exposition à court terme**. Ainsi, il importe plus d'agir au quotidien sur la pollution de fond, notamment particulière, qu'uniquement lors des épisodes de pics de pollution.

Ces résultats confirment l'intérêt de la mise en œuvre d'actions pour réduire l'exposition de la population à la pollution atmosphérique notamment à l'échelon local.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Aphekom. Summary report of the Aphekom project 2008-2011. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2011. 12 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.aphekom.org/c/document_library/get_file?uuid=e711dffa-8b6f-4712-a794-b73fcf351572&groupId=10347
- [2] Declercq D, 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. 36 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.invs.sante.fr/content/download/45027/200318/version/1/file/rapport_aphekom.pdf
- [3] Medina S, Pascal M. Résumé des résultats du projet Aphekom 2008-2011. Des clefs pour mieux comprendre les impacts de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Europe. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2012. 6 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.invs.sante.fr/content/download/45028/200326/version/1/file/plaquette_aphekom.pdf
- [4] Ung A, Pascal M, Corso M, Chanel O, Declercq D, Blanchard M, *et al.* Comment réaliser une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ? Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2013. 47 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.invs.sante.fr/content/download/57569/234625/version/3/file/guide_evaluation_impact_sanitaire_pollution_atmospherique_urbaine.pdf
- [5] WHO Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project. First results. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. 33 p. Disponible à partir de l'URL : http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
- [6] OMS. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air: particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Synthèse de l'évaluation des risques. Mise à jour mondiale 2005. Genève: OMS; 2006. 25 p. Disponible à partir de l'URL : http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_fre.pdf?ua=1

Remerciements

Le Cire Rhône-Alpes tient à remercier :

- l'Agence régionale de santé (ARS) Rhône-Alpes, Air Rhône-Alpes ;
- Magali Corso, Mathilde Pascal et Myriam Blanchard de l'Institut de veille sanitaire (InVS).

Mots clés : évaluation d'impact sanitaire, pollution atmosphérique, particules, ozone, Annecy

Citation suggérée :

Yvon J-M, Huchet-Kervella C. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération d'Annecy, 2009-2011. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2015. 8 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>