

Analyse économique des impacts sanitaires dans le cadre de l'élaboration du PREPA

SIMONE SCHUCHT¹

ELSA REAL¹

FLORIAN COUVIDAT¹

LAURENCE ROUIL¹

JEAN-MARC BRIGNON¹

NADINE ALLEMAND²

GUILLAUME LE CLERCQ³

DAVID FAYOLLE³

¹ INERIS

Parc technologique ALATA

BP2

Verneuil-en-Halatte

France

<simone.schucht@ineris.fr>

<elsa.ream@ineris.fr>

<florian.couvidat@ineris.fr>

<laurence.rouil@ineris.fr>

<jean-marc.brignon@ineris.fr>

² CITEPA

42, rue de Paradis

75010 Paris

France

<nadine.allemand@citepa.org>

citepa.org>

³ AJBD

21, rue Bergère

75009 Paris

France

<guillaume.leclercq@ajbd.fr>

<david.fayolle@ajbd.fr>

Tirés à part :

S. Schucht

Résumé. Dans le cadre du projet « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA » (Programme national de réduction des émissions de polluants atmosphériques financé par le ministère de l'Écologie en France), une évaluation multicritère a été appliquée à une cinquantaine de mesures de réduction des émissions issues de tout secteur économique. Le PREPA s'inscrit dans les obligations de la directive sur les plafonds nationaux d'émissions [1, 2] qui fixent des engagements de réduction des émissions atmosphériques des oxydes d'azote (NOx), particules fines (PM_{2,5}), du dioxyde de soufre (SO₂), de l'ammoniac (NH₃) et des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) aux horizons 2020 et 2030 pour chaque État membre. L'article présente l'approche mise en œuvre pour un des critères d'évaluation multicritère : l'évaluation économique des impacts sanitaires. À partir d'informations sur les réductions d'émissions associées à chaque mesure, leur contribution à l'amélioration de la qualité de l'air a été simulée à l'aide du modèle CHIMERE et l'exposition de la population française aux polluants atmosphériques calculée. En combinant ces données avec des fonctions concentration-réponse, les effets sanitaires évités grâce aux mesures ont ensuite été calculés à l'aide du modèle ARP-FR. Les bénéfices correspondant aux effets évités ont également été comparés aux coûts directs des mesures étudiées. L'étude a permis d'identifier de nombreuses mesures dont le bilan bénéfices/coûts est positif. La mise en œuvre des mesures PREPA sélectionnées par décision politique devrait permettre de réduire les coûts sanitaires de la pollution atmosphérique de 40 % en 2030 par rapport à 2010.

Mots clés : pollution atmosphérique ; effets sanitaires ; monétarisation ; analyse coûts-bénéfices ; qualité de l'air

Abstract

Economic analysis of health impacts in the National Air Pollution Control Programme

As part of the project on "Decision support for developing the National Air Pollution Control Programme" (financed by the French Environment Ministry), a multi-criteria assessment was applied to some 50 emission reduction measures for all sectors of the economy. These Programmes are an obligation under the EU National Emission Ceilings Directive [1, 2], which sets air pollution emission reduction obligations for NOx, PM_{2.5}, SO₂, NH₃, and NMVOC for each Member State for 2020 and 2030. The article presents the approach implemented for one criterion of the multi-criteria assessment: the economic evaluation of health impacts. Using information on the emission reductions associated with each of the measures, we simulated their contribution to improved air quality with the CHIMERE model and then calculated the French population's exposure to the air pollutants. By combining these data with concentration-response functions in the ARP-FR model, the health effects avoided by each measure were calculated. The corresponding health benefits were also compared with the direct costs of the measures examined. The study identified numerous measures with a positive benefit/cost ratio. Implementation of

Pour citer cet article : Schucht S, Real E, Couvidat F, Rouil L, Brignon JM, Allemand N, Le Clercq G, Fayolle D. Analyse économique des impacts sanitaires dans le cadre de l'élaboration du PREPA. *Environ Risque Sante* 2018 ; 17 : 393-400. doi : 10.1684/ers.2018.1199

the measures selected by political decision for the French Programme should reduce health costs from air pollution by 40 % in 2030 compared to 2010.

Key words: atmospheric pollution; health effects; monetization; cost-benefit analysis; air quality.

Contexte

La qualité de l'air en France est un enjeu d'actualité aussi bien du point de vue de l'intérêt sociétal que réglementaire.

L'intérêt sociétal se manifeste par la sensibilité du public et des médias aux conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique, ces derniers communiquant régulièrement sur la mortalité prématurée liée aux particules fines (PM_{2,5}), sur les pics de pollution ou encore les « points chauds » (par exemple, vallée de l'Arve). En effet, la pollution de l'air induit des impacts significatifs sur la santé humaine, en termes de morbidité, mortalité et bien-être [3-7]. Ces impacts sanitaires ont des conséquences économiques importantes en termes de coûts de la maladie pour le système de soins et les entreprises et de consentement à payer pour éviter de la souffrance et la mortalité prématurée [8-11]. Il est estimé que la pollution de l'air était, en France en 2010, d'environ 430 000 années de vies perdues dues à l'exposition chronique de la population aux PM_{2,5}, et d'environ 2 300 morts prématurées dues à l'exposition aiguë à l'ozone (O₃) [12].

Côté réglementaire, des dépassements des valeurs limites pour les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5} et le dioxyde d'azote (NO₂), ainsi que des valeurs cibles pour l'O₃, définies dans la directive sur la qualité de l'air [13], continuent à se produire. La Commission européenne a lancé des démarches précontentieuses à l'encontre des autorités françaises, avec des avis motivés pour différentes zones en France pour les PM₁₀ et le NO₂. La France ne respecte pas non plus le plafond d'émission pour les oxydes d'azote (NOx) imposé à partir de 2010 par la directive sur les plafonds nationaux d'émissions [1].

Le Programme national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) s'adresse à ces deux aspects réglementaires. L'obligation de l'établissement, de l'adoption et de la mise en œuvre de programmes nationaux de lutte contre la pollution atmosphérique est inscrite dans la directive européenne concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques [2]¹. Cette directive, qui définit des engagements de réduction des émissions atmosphériques anthropiques (en %) pour 2020 et 2030 par rapport à 2005 pour les cinq polluants atmosphériques (dioxyde de

soufre [SO₂], NOx, composés organiques volatils non méthaniques [COVNM], ammoniac [NH₃] et PM_{2,5}), décrit également les objectifs de ces programmes. Chaque État membre doit envisager des mesures de réduction des émissions pour tous les secteurs de l'économie (agriculture, énergie, industrie, transport, chauffage domestique, engins mobiles non routiers, solvants, etc.) et ainsi contribuer au double objectif de respecter :

- les objectifs nationaux de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PM_{2,5}, SO₂, NOx, NH₃ et COVNM) ;
- les objectifs en matière de qualité de l'air (concentrations dans l'air ambiant de PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ et O₃).

C'est dans ce contexte, que le ministère de la Transition Énergétique et Solidaire² (MTES) a commandé l'étude « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA » à un groupement de prestataires³.

Le déroulement du projet était le suivant :

- identification, par le groupement de prestataires en concertation avec le MTES, d'un ensemble de mesures de réduction des émissions ;
 - évaluation selon une grille multicritère de ces mesures (individuellement ainsi que regroupées en des scénarios multi-mesures) ;
 - présentation des résultats dans une série de consultations de parties prenantes et restitution de tous les résultats (septembre 2014 – juillet 2016) ;
- sélection, dans un processus politique, des mesures de réduction des émissions atmosphériques à retenir pour le texte réglementaire PREPA ;
- évaluation dite « ex ante », par le groupement de prestataires, du scénario comprenant les mesures retenues à l'horizon 2020 et 2030 pour le PREPA (début 2017) ;
- publication d'un décret [14] fixant les objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques et d'un arrêté [15] établissant le PREPA (mai 2017).

Cet article présente l'évaluation économique des impacts sanitaires de mesures de réduction des émissions atmosphériques mises en œuvre dans le cadre du projet

² Le Bureau de la qualité de l'air (BQA) de la Direction générale énergie climat (DGEC) du ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES).

³ Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Énergies Demain et AJBD (cabinet d'étude et de conseil spécialisé dans le domaine de l'environnement).

¹ Elle représente la révision de la directive 2001/81/CE sur les plafonds nationaux d'émissions [1].

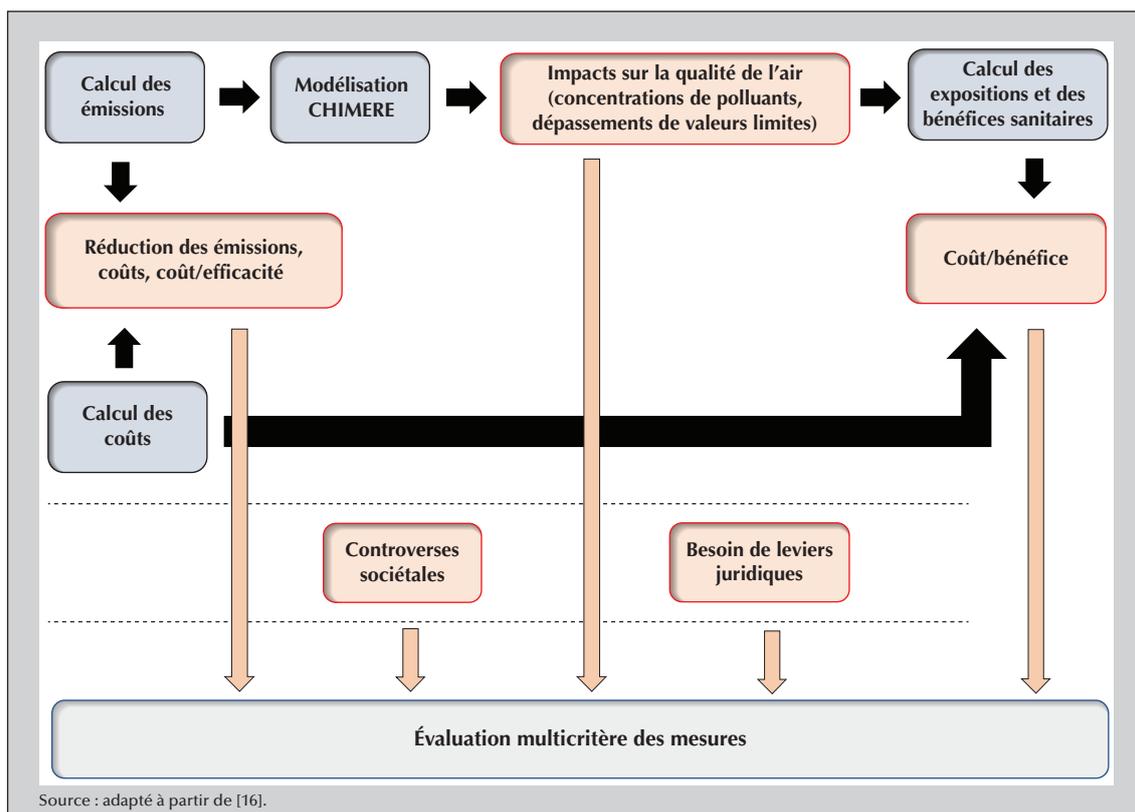


Figure 1. Caractérisation multicritère des mesures de réduction des émissions.

Figure 1. Multi-criteria characterisation of emission reduction measures.

« Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA », ainsi que quelques résultats de l'analyse à titre d'exemple.

Méthodes

Dans le cadre du projet « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA », l'évaluation économique des impacts sanitaires de la pollution de l'air constituait un critère d'évaluation parmi d'autres. L'ensemble des calculs (sur fond gris), des critères (sur fond orange) et les flux d'analyse sont schématisés dans la *figure 1*. En complément des critères habituels (coûts des mesures, effets sur la qualité de l'air et la santé), l'évaluation tient compte d'autres aspects pertinents pour la faisabilité des réductions d'émissions : l'acceptabilité sociétale des mesures et l'éventuel besoin de leviers juridiques [16-19].

Le potentiel de réduction des émissions associées à chaque mesure analysée ainsi que les coûts de ces mesures ont été déterminés à partir de données d'inventaires d'émissions et de données techniques et économiques spécifiques. Le modèle de qualité de l'air CHIMERE [20] a ensuite été appliqué pour calculer les

impacts de chacune des mesures sur la qualité de l'air, notamment sur les dépassements de valeurs limites locales et sur l'exposition de la population française aux polluants atmosphériques. Les impacts sanitaires d'une exposition de la population française aux concentrations de PM_{2,5}, d'O₃ et de NO₂ ont été quantifiés et monétarisés à l'aide du modèle ARP-France⁴ qui met en œuvre les méthodologies développées dans le cadre du programme *Clean Air For Europe*⁵ (CAFE) et de l'étude de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)/Europe « *Health Risks of Air Pollution in Europe* » (HRAPIE) [21]. Dans une approche coûts-bénéfices, les effets sanitaires évités ont également été comparés aux coûts des mesures étudiées.

Il a été choisi d'évaluer le programme français PREPA avec des méthodes directement comparables à celles utilisées pour l'évaluation de la directive 2016/2284/UE au niveau européen [12, 22]. Pour cela, les approches d'estimation des coûts de réduction des émissions et

⁴ ARP a été développé par M. Holland et J. Spadaro, *Ecometrics Research and Consulting* (EMRC).

⁵ <https://www.eea.europa.eu/themes/air/links/research-projects/clean-air-for-europe-programme-cafe>

Tableau 1. Indicateurs d'impacts sanitaires avec leurs fonctions concentration-réponse et valeurs monétaires unitaires.

Table 1. Health impact indicators with associated concentration-response functions and monetary unit values.

Indicateurs d'effets sanitaires	Polluants	Unité	Fonctions concentration-réponse (risque relatif)	Valeurs monétaires unitaires utilisées (en € de 2013)	
Mortalité aiguë (tous âges) VOLY médiane	O ₃	Années de vie perdues	1,0029, IC 95 % 1,0014 à 1,0043 pour 10 µg.m ³	66 286	
Admissions à l'hôpital pour causes respiratoires (> 64 ans)		Cas	1,0044, IC 95 % 1,0007 à 1,0083 pour 10 µg.m ³	2 550	
Admissions à l'hôpital pour causes cardiovasculaires (> 64 ans)			1,0089, IC 95 % 1,0050 à 1,0127 pour 10 µg.m ³	2 550	
Journées d'activité restreinte mineure (tous âges)		Jours	1,0154, IC 95 % 1,0060 à 1,0249 pour 10 µg.m ³	48	
Mortalité chronique (tous âges) VOLY médiane	PM _{2.5}	Années de vie perdues	1,062, IC 95 % 1,040 à 1,083 pour 10 µg.m ³	66 286	
Mortalité infantile (0-1 an) VSL médiane		Morts prématurées	1,04, IC 95 % 1,02 à 1,07 pour 10 µg.m ³	1 878 288	
Bronchite chronique (27 ans et +)		Cas	1,117, IC 95 % 1,040 à 1,189 pour 10 µg.m ³	61 576	
Bronchite infantile (6 - 12 ans)			1,08, IC 95 % 0,98 à 1,19 pour 10 µg.m ³	675	
Admissions à l'hôpital pour causes respiratoires (tous âges)			1,0019, IC 95 % 0,9982 à 1,0402 pour 10 µg.m ³	2 550	
Admissions à l'hôpital pour causes cardiovasculaires (> 18 ans)		1,0091, IC 95 % 1,0017 à 1,0166 pour 10 µg.m ³	2 550		
Journées d'activité restreinte (tous âges)		Jours	1,047, IC 95 % 1,042 à 1,053 pour 10 µg.m ³	106	
Journées avec des symptômes d'asthme (enfants 5-19 ans)			1,028, IC 95 % 1,006 à 1,051 pour 10 µg.m ³	48	
Journées de travail perdues (15-64 ans)			1,046, IC 95 % 1,039 à 1,053 pour 10 µg.m ³	149	
Bronchite infantile (5 - 14 ans)			1,021, IC 95 % 0,99 à 1,06% pour 1 µg.m ³	675	
Admissions à l'hôpital pour causes respiratoires (tous âges)		NO ₂	Cas	1,018, IC 95 % 1,0115 à 1,0245 pour 10 µg.m ³	2 550
Mortalité chronique (tous âges) VOLY médiane			Années de vie perdues	1,055, IC 95 % 1,031 à 1,08 pour 10 µg.m ³	66 286

VOLY : value of life year ; VSL : value of statistical life.

d'évaluation des effets sanitaires ont été calées sur celles utilisées en Europe.

Concernant l'évaluation des effets sanitaires, les choix méthodologiques pris dans CAFE et HRAPIE et appliqués au PREPA comprennent des fonctions concentration-réponse, liant des niveaux d'exposition aux polluants à des impacts sanitaires spécifiques, ainsi que des indicateurs monétaires et leurs valeurs. Le *tableau 1* synthétise les indicateurs sanitaires pris en compte (entre parenthèses les classes d'âge de population pour lesquelles des fonctions concentration-réponse ont été développées sur la base d'études épidémiologiques), le polluant à la source des impacts, l'unité des impacts, les fonctions concentration-réponse utilisées ainsi que les valeurs monétaires par unité d'impact.

Les valeurs monétaires tiennent compte de coûts marchands (par exemple, prises en charges sanitaires) et non marchands (par exemple, années de vie perdues). Les coûts non marchands utilisés pour la mortalité se basent sur des évaluations contingentes (préférences déclarées) dans lesquelles les individus (un échantillon représentatif d'une population hétérogène) ont été questionnés sur leur consentement à payer pour des mesures qui modifient le risque de décès [8, 18].

Les impacts sanitaires quantifiés sont des effets chroniques ou aigus⁶ de l'exposition de la population

⁶ Effets aigus : effets dus aux variations d'expositions de quelques jours ; effets chroniques : effets dus aux variations d'expositions de plus long terme, parfois durant toute la vie.

aux concentrations des PM_{2,5}, de l'O₃ et du NO₂, en termes de morbidité et de mortalité.

La mortalité chronique peut être exprimée soit en termes d'années de vie perdues, soit en termes de morts prématurées. Les années de vie perdues sont monétarisées par l'indicateur VOLY (*value of life year*), les morts prématurées par l'indicateur VSL (*value of statistical life*). Un argument en faveur de l'utilisation de l'indicateur des années de vie perdues est le fait que ces dernières sont calculées en tenant compte de l'âge auquel le décès se produit et de l'espérance de vie à l'âge du décès, alors que l'indicateur des morts prématurées calculera toujours une mort prématurée additionnelle, indépendamment de la durée de raccourcissement de vie par la pollution de l'air (ex : trois mois ou 10 ans).

Dans les analyses menées actuellement pour la Commission européenne, le deuxième indicateur est également utilisé, notamment parce que dans la méthodologie CAFE des études de consentement à payer ont été menées pour estimer la valeur d'une VSL et non de VOLY [11, 23]. La valeur d'une VOLY a été calculée à partir de ces estimations de VSL. Pour les deux indicateurs, des valeurs moyennes et médianes des estimations de consentement à payer sont disponibles. La monétarisation des effets sanitaires pour l'élaboration du PREPA se base sur des calculs de la mortalité (pour toute la population) en termes d'années de vie perdues avec monétarisation par le VOLY et l'utilisation de la valeur médiane et correspond donc à la fourchette basse des évaluations menées en Europe [12, 22].

En cohérence avec les recommandations de l'OMS, tous les aérosols constituant les PM_{2,5} sont considérés comme présentant le même degré de nocivité, indépendamment de leur source et de leur composition chimique. En effet, une quantification précise des effets de composants individuels des particules fines n'est pas encore possible en l'état actuel des connaissances [20, 24, 25].

D'avantage de détails sur le modèle ARP-FR, son utilisation, les sources bibliographiques pour les indicateurs d'effets sanitaires et les calculs sont fournis dans [16, 18, 26, 27].

Résultats

La contribution à la réduction des effets sanitaires et la performance coûts-bénéfices d'une cinquantaine de mesures de réduction des émissions issues de tous les secteurs économiques ont ainsi pu être évaluées. Ces mesures et leurs résultats en termes de bénéfices sanitaires, de coûts et de bénéfices nets (calculés comme bénéfices sanitaires moins coûts) en 2020 sont présentés dans la *figure 2*. Dans la figure, les mesures relevant de la réglementation existante (déjà adoptées mais pas nécessairement mises en œuvre) sont

présentées sur fond bleu. Les mesures additionnelles (ne faisant pas partie de la réglementation adoptée au moment de la réalisation de l'étude) sont présentées sur fond vert. Un certain nombre de mesures s'adressant en premier lieu à la réduction des gaz à effet de serre et s'inscrivant plutôt dans une politique climatique ont été évaluées par rapport à leurs effets (co-bénéfices) sur la qualité de l'air. Les coûts de ces mesures n'ont pas été pris en compte dans l'analyse car ils sont considérés comme étant plutôt associés à la politique énergie et climat. Ces mesures sont présentées sur fond orange dans la figure.

L'étude a identifié des mesures dont les bénéfices sanitaires sont estimés comme dépassant les coûts (bénéfice net positif) et d'autres pour lesquelles les coûts excèdent les bénéfices sanitaires (bénéfice net négatif).

À titre d'exemple pour le secteur agricole [19], la mesure « remplacement de l'urée par d'autres engrais minéraux » (mesure AGR12_{MA}), conduit à des bénéfices sanitaires supérieurs au coût additionnel⁷ de la mesure. En effet, étant donné que l'urée présente un pouvoir émissif de NH₃ supérieur à celui des autres engrais minéraux, sa substitution permet, à dose d'azote épandu constante, de réduire les émissions d'ammoniac et donc la formation de nitrate d'ammonium qui représente des aérosols secondaires. Cela réduit de façon importante les niveaux de concentrations de particules fines et les effets sanitaires associés. Le coût additionnel est limité à la différence des prix entre les engrais. En revanche, une mesure comme « l'évacuation des fientes de poules pondeuses en cages par tapis avec séchage forcé » (mesure AGR15_{MA}) représente un investissement important pour des réductions des émissions de NH₃ faibles, avec donc de faibles effets sur la formation de particules fines et la santé. Pour cette mesure, les coûts sont estimés être supérieurs aux bénéfices sanitaires.

Concernant le résultat peu favorable pour la mesure « pénétration des véhicules hybrides et électriques » (mesure TR3_{ME}), il convient de noter qu'il s'explique, entre autres, par les choix pris relatifs au calcul des réductions d'émissions d'un côté et des bénéfices de l'autre côté. Les réductions d'émissions attribuées à une mesure sont calculées par rapport à une mesure de référence. Ici, la mesure de référence est représentative de la situation en 2020, avec un parc de véhicules présentant une part plus importante de véhicules équipés par la Norme Euro 6 que le mix technologique actuel. Or, le potentiel de réductions d'émissions de polluants atmosphériques au-delà des réductions d'émissions déjà

⁷ Dans des études coûts-efficacité et coûts-bénéfices, les effets et coûts attribuables à une mesure donnée sont généralement calculés par rapport à une mesure de référence. Ces études s'intéressent donc aux réductions d'émissions et aux coûts en plus (additionnels) de ceux obtenus par la technique de référence.

Secteurs	Mesures analysées		Bénéfices sanitaires (*)	Coûts	Bénéfice net
			En 2020 en million € (€ de 2013)		
Mesures dans le secteur industriel et production d'énergie	PROC-IC1 _{ME SO2 NOx PM}	Arrêté du 26 août 2013 relatif aux installations de combustion de puissance > 50 MWth	349	176	173
	PROC-IC2 _{ME SO2 NOx PM}	Décret du 2 mai 2013 portant transposition des dispositions générales et du chapitre II de la directive IED pour les procédés énergétiques (VLE annexe V ou valeurs hautes NEA MTD)	2	45	-43
	PROC-IC3 _{ME SO2}	Décret du 2 mai 2013 portant transposition des dispositions générales et du chapitre II de la directive IED pour le raffinage de pétrole (valeurs hautes NEA MTD)	0	82	-82
	PROC-IC4 _{ME SO2 NOx PM}	Arrêté du 26 août 2013 pour les installations de combustion de puissance 20 à 50 MW et arrêté du 25 juillet 1997 modifié pour celles de 2 à 20 MW	1 006	228	778
	PROC-IC5 _{MA SO2 NOx PM}	Application de valeurs intermédiaires entre valeurs basses et hautes des NEA MTD pour les procédés énergétiques et le raffinage de pétrole	8	51	-43
Mesures dans les transports	TR1 _{ME}	Normes Euro 5 et V relatives aux véhicules légers et aux véhicules utilitaires	1 594	229	1 365
	TR2 _{ME}	Normes Euro 6 et VI relatives aux véhicules légers et aux véhicules utilitaires	2 186	565	1 621
	TR3 _{ME}	Pénétration des véhicules hybrides et électriques	18	587	-569
	TR4 _{MA}	Étape Euro 6c avec cycle <i>Real Driving Conditions</i>	4	129	-125
	TR5 _{MA}	Règlement n°168/2013 du 15 janvier 2013 relatif aux véhicules à 2 ou 3 roues	0,5	9	-8
	TR6 _{MA}	Renouvellement en véhicules à faibles émissions d'une part des véhicules des flottes publiques	2	14	-11
	TR7 _{MA}	Restriction de circulation en cas de dépassement des seuils d'alerte de qualité de l'air en zones urbaines	0	-31	31
	TR8 _{MA}	Promotion du développement des transports en commun urbains propres	6	312	-307
	TR9 _{MA}	Augmentation des taxes sur les carburants	408	-1 417	1 826
	TR10 _{MA}	Limitation de l'accès en centres villes aux véhicules les plus polluants (ZCR)	275	-107	383
	TR11 _{MA}	Limitation des émissions de l'abrasion des freins	282	693	-411
Mesure relative au transport combiné	TC1 _{MA}	Développement du transport combiné rail - route	3	-97	100
Mesures pour les engins mobiles non routiers de l'industrie et de l'agriculture	THR1 _{ME}	Phases III B et IV des règlements engins mobiles non routiers de l'agriculture et de l'industrie	505	596	-91
	THR2 _{MA}	Proposition de règlement pour les moteurs à combustion interne destinés aux EMNR du 25/09/2014	3	5	-2
Mesures pour le résidentiel et le tertiaire	RT1 _{ME CO2}	Résidentiel - Aides au parc privé : rénovation et systèmes de chauffage	356	0	356
	RT2 _{ME CO2}	Résidentiel - Rénovation parc social	20	0	20
	RT3 _{ME CO2}	Résidentiel et tertiaire - Réglementations thermiques des constructions neuves	3	0	3
	RT4 _{ME CO2}	Tertiaire - Rénovations et changements de système tendanciel	23	0	23
	RT5 _{ME CO2}	Chauffage urbain - fond chaleur changement du mix énergétique	50	0	50
	RT6 _{MA}	Nouvelles exigences Flamme verte/hypothèses basses	252	-25	277
	RT7 _{MA}	Nouvelles exigences Flamme verte/hypothèses hautes	531	-18	549
	RT8 _{MA CO2}	Résidentiel - Obligation de rénovation thermique lors des ravalements de façade et de toiture	118	0	118
	RT10 _{MA CO2}	Résidentiel - Objectif de 500 000 rénovations annuelles lourdes/an	256	0	256
	RT11 _{MA CO2}	Tertiaire - Décret d'obligation de rénovation tertiaire à horizon 2020 et renforcement à horizon 2030	3	0	3
	RT12 _{MA CO2}	Tertiaire - Rénovation de l'ensemble du parc public	8	0	8
RT13 _{MA CO2}	Tertiaire - Objectif de -60% de consommation du tertiaire à horizon 2050	11	0	11	
Mesures pour l'agriculture	AGR11 _{MA}	Interdiction totale du brûlage des résidus de cultures aux champs	15	0	15
	AGR12 _{MA}	Remplacement de l'urée par d'autres engrais	380	9	370
	AGR13 _{MA}	Augmentation du temps passé au pâturage (+20j)	55	-24	79
	AGR14 _{MA}	Alimentation bi-phase en élevages porcins	4	0	4
	AGR15 _{MA}	Lavage d'air des bâtiments d'élevages porcins	3	3	1
	AGR16 _{MA}	Évacuation fréquente des déjections – raclage en V	2	11	-9
	AGR17 _{MA}	Évacuation fréquente des déjections – Évacuation gravitaire tous les 15j	9	0	9
	AGR18 _{MA}	Couverture des fosses à lisier haute technologie	7	22	-15
	AGR19 _{MA}	Couverture des fosses à lisier basse technologie	8	0	8
	AGR110 _{MA}	Épandage des lisiers par pendillards	5	0,9	4
	AGR111 _{MA}	Épandage des lisiers par injection	9	0,8	8
	AGR112 _{MA}	Incorporation post-épandage des lisiers et/ou fumiers immédiate	278	83	195
	AGR113 _{MA}	Incorporation post-épandage des lisiers et/ou fumiers dans les 12h	116	81	35
	AGR114 _{MA}	Incorporation post-épandage des lisiers et/ou fumiers dans les 24h	69	57	12
	AGR115 _{MA}	Évacuation des fientes de poules pondeuses en cages par tapis avec séchage forcé avant stockage	9	28	-19
	AGR116 _{MA}	Raclage des lisiers de bovins au bâtiment	3	405	-402
	AGR117 _{MA}	Brumisation dans les bâtiments porcins	3	71	-68

Figure 2. Résumé des résultats en termes de bénéfices sanitaires et de coûts (exprimés en millions € de 2013) des mesures analysées dans l'étude « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA ».

Figure 2. Summary of the health benefit and cost results (expressed in € million, price base 2013) of the measures analysed in the “Decision support for developing the PREPA” project.

atteignables par la mesure Euro 6 est relativement limité. En revanche, cette mesure contribuera sans doute à des fortes réductions des émissions de gaz à effet de serre, dont les bénéfices n'ont toutefois pas été quantifiés dans le projet (hors périmètre de l'étude). Leur prise en compte dans un calcul bénéfices-coûts améliorera forcément le rapport coûts-bénéfices de la mesure TR3_{ME}.

Les informations complémentaires expliquant les hypothèses et donc les résultats pour toutes les mesures PREPA sont présentées de façon détaillée dans [16, 17].

Suite au processus politique de concertation et de sélection finale des mesures additionnelles à mettre en œuvre dans le cadre du PREPA, l'évaluation des effets sanitaires a été appliquée au scénario regroupant ces mesures inscrites dans l'arrêté [15]⁸, à l'horizon 2020 et 2030. Cette analyse dite « *ex ante* » [28] estime que la mise en œuvre de l'ensemble des mesures prises en compte dans le PREPA permettrait d'atteindre des coûts sanitaires annuels liés à la pollution de l'air en 2030 qui s'élèveraient à 23,5 milliards d'euros (exprimés en euros de 2013) par rapport à 40 milliards d'euros en 2010 (-40 %). Ceci correspond à des coûts évités (bénéfices) d'environ 17 milliards d'euros/an en 2030 par rapport à 2010⁹. Il s'agit ici d'une estimation basse des bénéfices sanitaires. Les raisons en sont :

- un calcul avec les années de vies perdues comme indicateur pour la mortalité chronique (valeurs plus faibles que pour les morts prématurées) ;
- un calcul avec des valeurs médianes pour la mortalité (plus faibles que les valeurs moyennes) ;
- une prise en compte de seulement 66 % de la mortalité chronique liée au NO₂ afin de minimiser tout risque de double comptage¹⁰.

Par ailleurs, d'autres bénéfices liés à la réduction de la pollution atmosphérique (réduction de la salissure et de la corrosion des bâtiments et matériaux, réduction des effets sur les cultures et écosystèmes) n'ont pas été monétarisés dans cette analyse, ni les bénéfices liés à une réduction des gaz à effet de serre.

⁸ Le scénario comporte également d'autres mesures existantes qui n'ont pas été évaluées dans le cadre du projet et qui ne sont pas inscrites dans l'arrêté PREPA mais dans d'autres plans (mesures liées à la Stratégie nationale bas carbone par exemple).

⁹ Par ailleurs, à titre d'exemple, la réduction de l'exposition de la population aux particules fines permettrait d'éviter, en 2030, par rapport à 2010, 180 000 années de vie perdues, presque 5 millions de journées de travail perdues, 12 000 cas de bronchite chronique ou encore 59 000 cas de bronchite infantile.

¹⁰ Selon HRAPIE, un double comptage entre mortalité chronique attribuée au NO₂ d'un côté et aux PM_{2,5} de l'autre pourrait aller jusqu'à 33 %.

Conclusion

L'étude a permis de comparer, pour chaque secteur d'activité ainsi qu'entre secteurs, différentes mesures de réduction des émissions par rapport à différents critères d'évaluation et leur performance globale appréciée par une grille d'analyse multicritère. Des scénarios regroupant différentes combinaisons des mesures analysées ont également été évalués par rapport à leur capacité à réduire les émissions pour atteindre les plafonds d'émissions et à améliorer la qualité de l'air. Ces résultats ont été utilisés dans le processus de consultation des parties prenantes mis en place et de prise de décision politique pour l'élaboration du PREPA.

L'approche d'évaluation des bénéfices sanitaires appliquée est cohérente avec celle utilisée dans l'évaluation des directives au niveau européen dans lesquelles le PREPA s'inscrit. Malgré le fait que l'évaluation des bénéfices sanitaires soit basée sur des indicateurs conduisant à une estimation plutôt basse de ces bénéfices, d'importants bénéfices sanitaires, atteignables grâce à la mise en place de mesures additionnelles de réduction des émissions, ont été identifiés. ■

Remerciements et autres mentions

Les auteurs du projet « Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA » comprennent, en plus des co-auteurs du présent article, Simon Mariani (Énergies Demain), Jean-Marc André, Romain Bort, Sandra Dulhoste, Anaïs Durand, Céline Gueguen, Édith Martin, Étienne Mathias et Laetitia Nicco (CITEPA), ainsi qu'Antoine Chauv, Jérôme Drevet, Sophie Hubin, Myriam Merad et Charline Pennequin (INERIS).

Financement : ce projet a été financé par le Marché MEDDE 1100025000 relatif à l'appui pour l'élaboration du futur programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques ; **liens d'intérêts** : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

1. Directive 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2001 fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques.
2. Directive (EU) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la directive 2003/35/CE et abrogeant la directive 2001/81/CE.
3. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc* 2002 ; 287 (9) : 1132-41.
4. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, *et al.* Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int* 2006 ; 32 (6) : 815-30.

5. Dockery DW, Pope CA, Xu X, et al. An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 1993 ; 329 (24) : 1753-9.
6. Jerrett M, Burnett RT, Pope CA, et al. Long-term ozone exposure and mortality. *N Engl J Med* 2009 ; 360 : 1085-95.
7. Royal College of Physicians (RCP). *Every breath we take: the lifelong impact of air pollution*. Report of a working party. London : Royal College of Physicians, 2016.
8. CGDD. *Rapport de la commission des comptes et de l'économie de l'environnement – Santé et qualité de l'air extérieur*. La Défense, France : MEDDE, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, 2012.
9. CGDD. *Estimation des coûts pour le système de soins français de cinq maladies respiratoires et des hospitalisations attribuables à la pollution de l'air, Commissariat général au développement durable, Économie et documents, 122*. Paris : CGDD, 2015.
10. WHO/OECD. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe – Clean air. In : *Health and wealth*. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, OCDE, 2015.
11. Hurley F, Hunt A, Cowie H, et al. *Methodology for the cost-benefit analysis for CAFÉ. Vol. 2 : Health impact assessment*. Service Contract for Carrying 134 out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Oxon, United Kingdom : 2005.
12. Holland M. *Cost-benefit analysis of final policy scenarios for the EU clean air package, version 2*. Corresponding to IIASA TSAP Report No. 11, version 1. Reading, United Kingdom : EMRC, 2014.
13. Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.
14. Décret n° 2017-949 du 10 mai 2017 fixant les objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques en application de l'article L. 222-9 du Code de l'environnement.
15. Arrêté du 10 mai 2017 établissant le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques.
16. Allemand N, Rouil L, Fayolle D, et al. *Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA, rapport principal, Le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques*. Paris : AJBD, CITEPA, Énergies Demain et INERIS, MEEM, 2016. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-de-reduction-des>
17. Allemand N, Rouil L, Fayolle D, et al. *Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA, annexe C, fiches mesures détaillées, le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques*. Paris : AJBD, CITEPA, Énergies Demain et INERIS, MEEM, 2016. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-de-reduction-des>
18. Allemand N, Rouil L, Fayolle D, et al. *Aide à la décision pour l'élaboration du PREPA, annexe D, méthodologie employée, le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques*. Paris : AJBD, CITEPA, Énergies Demain et INERIS, MEEM, 2016. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-Plan-national-de-reduction-des>
19. Schucht S, Colette A, Brignon J-M, Bessagnet B, Rouil L. *Aide aux décideurs – Évaluation des coûts et des bénéfices sanitaires de politiques de lutte contre la pollution de l'air, Pollution atmosphérique n° 235. Évaluer les bénéfices sanitaires des actions de réduction de la pollution de l'air*. Paris : 2017.
20. Meut L, Bessagnet B, Khvorostyanov D, et al. CHIMERE 2013, a model for regional atmospheric composition modelling. *Geosci Model Dev* 2013 ; 6 : 981-1028.
21. WHO. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project – Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter. In : *Ozone and nitrogen dioxide*. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2013.
22. Amann M, Borken-Kleefeld J, Cofala J, et al. *The final policy scenarios of the EU clean air policy package*. TSAP Report No. 11, Version 1.1a. Laxenburg/Austria : International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2014.
23. Krupnick A, Ostro B, Bull K. *Peer review of the methodology of cost-benefit analysis of the Clean Air for Europe Programme*. Washington DC, US: 2005.
24. Miller B, Hurley F, Shafrir A. *Health impact assessment for the National Emission Ceilings Directive (NECD), methodological issues*. Research report TM/11/03. Edinburgh, United Kingdom: IOM, 2011.
25. WHO. *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP – First results*. Copenhagen, Denmark: Europe WROf, 2013.
26. Schucht S, Colette A, Rao S, et al. Moving towards ambitious climate policies: monetized health benefits from improved air quality could offset mitigation costs in Europe. *Environ Sci Policy* 2015 ; 50 : 252-269.
27. Schucht S. *Avancement des travaux de mise en œuvre du modèle ARP-France*. INERIS, DRC-15-149349-09296A. Verneuil-en-Halatte, France : 2016.
28. CITEPA, INERIS, ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. *Évaluation ex-ante des émissions, concentrations et impacts sanitaires du projet de PREPA*. 2017.