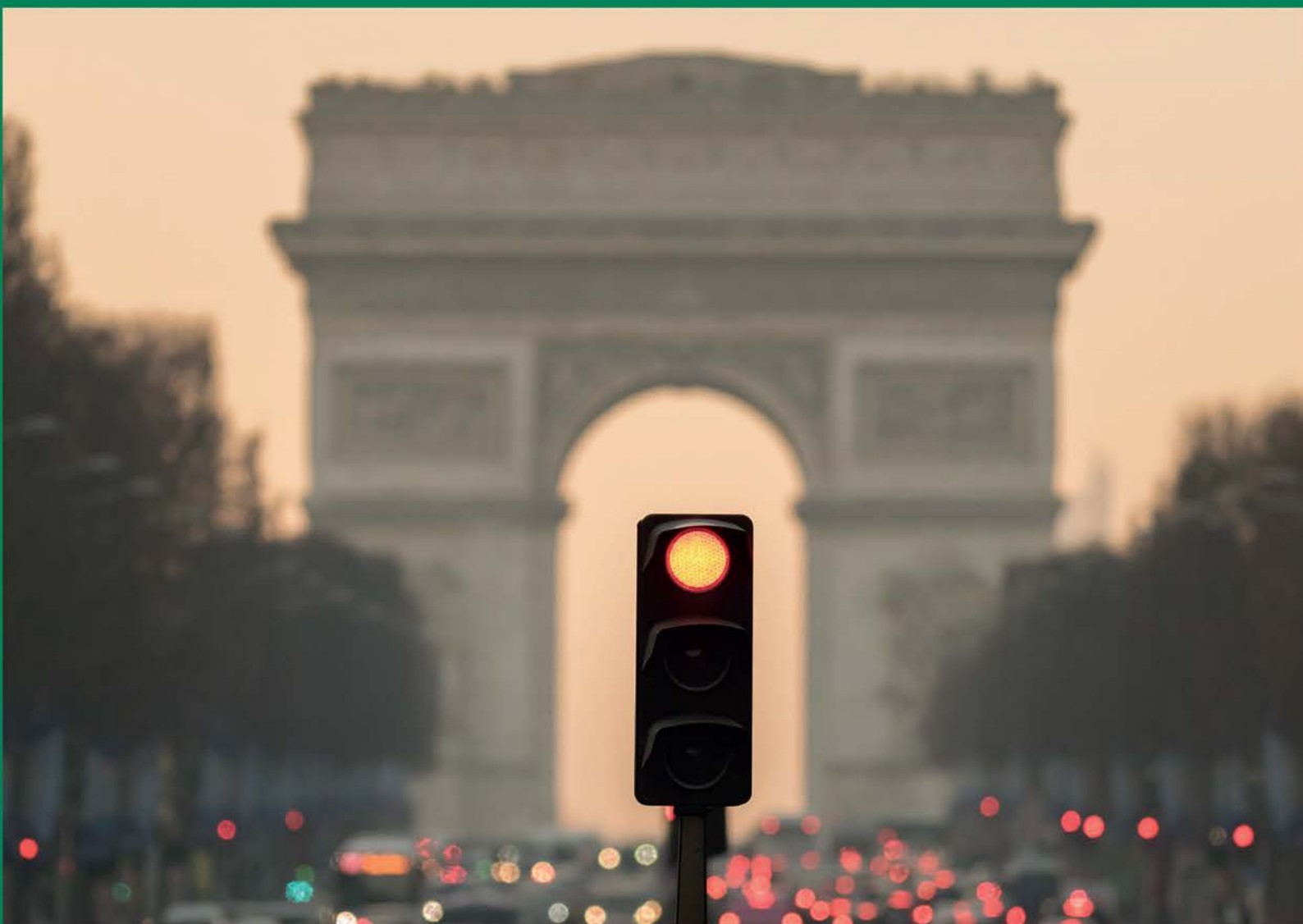


# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

*« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »  
Charles Coquebert, Journal des mines n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)*



## La pollution de l'air

UNE SÉRIE DES  
ANNALES  
DES MINES  
FONDÉES EN 1794

*Publiées avec le soutien  
de l'Institut MinesTélécom*

N° 96  
OCTOBRE 2019

UNE SÉRIE DES  
**ANNALES  
DES MINES**  
FONDÉES EN 1794

**RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT**

ISSN : 1268-4783  
Série trimestrielle • n°96 - octobre 2019

**Rédaction**

Conseil général de l'Économie (CGEJET), Ministère de  
l'Économie et des Finances  
120, rue de Bercy - Télédocus 797 - 75572 Paris Cedex 12  
Tél : 01 53 18 52 68  
<http://www.annales.org>

**François Valérian**

Rédacteur en chef

**Gérard Comby**

Secrétaire général

**Delphine Mantienne**

Secrétaire générale adjointe

**Liliane Crapanzano**

Correctrice

**Myriam Michaux**

Webmestre / Maquettiste

**Membres du Comité de Rédaction**

**Pierre Couveinhes**

Président du Comité de rédaction  
Ingénieur général des Mines honoraire

**Paul-Henri Bourrelrier**

Ingénieur général des Mines honoraire, Association  
française pour la prévention des catastrophes naturelles

**Mireille Campana**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Dominique Dron**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Pascal Dupuis**

Chef du service du climat et de l'efficacité énergétique,  
Direction générale de l'énergie et du climat, MTES

**Jérôme Goellner**

Chef du service des risques technologiques,  
Direction générale de la prévention des risques, MTES

**Jean-Luc Laurent**

Ingénieur général des Mines honoraire

**Richard Lavergne**

Conseil général de l'Économie  
Ministère de l'Économie et des Finances

**Didier Pillet**

Ingénieur général des Mines

**Philippe Saint Raymond**

Ingénieur général des Mines honoraire

**Bruno Sauvalle**

Ingénieur en chef des Mines, MINES ParisTech

**Jacques Serris**

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

**Claire Tutenuit**

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EPE)

**François Valérian**

Rédacteur en chef des Annales des Mines

**Photo de couverture :**

Circulation automobile et pollution de l'air sur les  
Champs-Élysées.

Photo © M. Astar/SIPA

**Iconographie**

Christine de Coninck

**Abonnements et ventes**

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20, avenue Édouard Herriot  
92350 LE PLESSIS-ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

[a.brue@cometcom.fr](mailto:a.brue@cometcom.fr)

**Mise en page :** Nadine Namer

**Impression :** Printcorp

**Éditeur Délégué :**

FFE - 15, rue des Sablons 75116 PARIS - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

Fabrication : Aïda Pereira

[aïda.pereira@belvederecom.fr](mailto:aïda.pereira@belvederecom.fr) - 01 53 36 20 46

**Régie publicitaire :** Belvédère Com

**Directeur de la publicité :** Bruno Slama - 01 40 09 66 17

[bruno.slama@belvederecom.fr](mailto:bruno.slama@belvederecom.fr)

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. »  
correspond à des documents ou photographies pour lesquels  
nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées  
infructueuses.

## La pollution de l'air

04

Introduction

Jean-Luc LAURENT

### La pollution de l'air, ses problématiques

05

Présentation générale de la pollution de l'air

Sophie VASLIN-REIMANN

09

Les impacts de la pollution de l'air

Eva LEOZ-GARZIANDIA

13

La réduction des émissions dans l'air des installations industrielles

Jean-Luc PERRIN

17

Impacts de la pollution de l'air sur la santé humaine

Jorge BOCZKOWSKI et Sophie LANONE

22

Les points à renforcer en matière de lutte contre la pollution de l'air

Charlotte LEPITRE

### Les politiques publiques

26

Politiques publiques européennes

Daniel CALLEJA CRESPO

31

Les politiques publiques françaises en matière de lutte contre la pollution atmosphérique

Loïc BUFFARD

36

Quatre ans après, un point sur le « dieselgate »

Cédric BOZONNAT

42

La pollution de l'air intérieur : de la connaissance à l'action

Nadia HERBELOT

46

La pollution de l'air en Chine

Bertrand BESSAGNET

50

Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air : les constats de la Cour des comptes française

Ève DARRAGON, Marie-Ange MATTEI

et Julien MARCHAL

54

Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée

Janusz WOJCIECHOWSKI et Colm FRIEL

59

Les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) au service des collectivités pour la reconquête de la qualité de l'air

Guy BERGÉ

64

Les collectivités, des acteurs clés pour agir en faveur de la qualité de l'air

Nadia HERBELOT

68

Pollution de l'air : ce que veulent les associations

Olivier BLOND

72

Le rôle du MRV dans les inventaires nationaux d'émissions de polluants atmosphériques

Jean-Pierre CHANG et Nadine ALLEMAND

## Enjeux économiques, perspectives techniques, recherche

76

Les enjeux économiques et les coûts de la pollution de l'air

Yves CROZET

81

Des outils réglementaires et fiscaux pour réduire les émissions de polluants atmosphériques de l'industrie

Paul BOUGON et Richard LAVERGNE

86

Chronique d'une réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) dans le secteur du raffinage

Franck CHEVALLIER

90

Les innovations technologiques sont-elles vraiment au service de la qualité de l'air et de la santé des citoyens ?

Caroline VAN RENTERGHEM

94

La surveillance : son organisation, sa métrologie

Tatiana MACÉ

99

Mesure des polluants depuis l'espace

Carole DENIEL et Camille VIATTE

104

État et perspectives de la recherche dans le domaine de la qualité de l'air

Gilles FORET, Isabelle COLL et Patrice COLL

## Hors Dossier

107

Le projet AGREGA : vers un outil pédagogique et ludique pour simuler le marché des granulats en région Île-de-France

Jacques SCHLEIFER, Bruno TESSIER, Isabelle THÉNEVIN, Carole DENEUVE, Christine MALLENS et Laurent GOETHALS

120

Modélisation d'un mix électrique avec stockage d'énergie électrique, mais sans énergie fossile

Ilarion PAVEL

---

127 Traductions des résumés

132 Biographies des auteurs

---

Ce dossier a été coordonné par Jean-Luc LAURENT



# Introduction

Par Jean-Luc LAURENT

Ingénieur général des Mines honoraire

Membre du comité de rédaction de *Responsabilité & Environnement*

La série « Responsabilité & Environnement » des *Annales des Mines* a consacré récemment de nombreux numéros aux sujets énergétiques et au changement climatique, c'était légitime.

Le comité de rédaction de cette série a de fait souhaité renouer avec des thèmes classiques, comme la prévention des pollutions. Compte tenu de l'importance des enjeux en la matière, nous avons retenu la pollution de l'air et choisi de ne pas aborder le volet gaz à effet de serre, largement traité dans des numéros précédents.

L'impact sur la santé humaine et l'économie de la pollution atmosphérique justifie le choix de notre sujet. En effet, c'est de l'ordre de quarante-deux mille décès prématurés par an en France que causerait la pollution de l'air. Son impact économique serait compris entre 20 et 30 milliards d'euros, les chiffres variant selon le polluant examiné et les pathologies qui y sont liées. Ces ordres de grandeur sont confirmés par le rapport public de la Cour des comptes, qui, réalisé à la demande de l'Assemblée nationale, a été rendu en décembre 2015.

En France, malgré une tendance à l'amélioration de la qualité de l'air au cours des vingt dernières années, les valeurs limites ne sont toujours pas respectées dans plusieurs zones de notre pays. La pollution atmosphérique représente aujourd'hui le premier sujet de préoccupation environnementale des Français selon les enquêtes d'opinion dont dispose le ministère chargé de l'Environnement.

Ces éléments confirment l'importance du sujet objet de ce numéro, que nous avons choisi de traiter en trois parties :

- une description des différentes composantes de la pollution de l'air, de son impact sur la santé humaine et des problématiques qu'elle soulève ;
- un exposé des politiques publiques françaises et européennes, de l'action des collectivités locales et du point de vue des associations ;
- un exposé des enjeux économiques, des perspectives techniques et industrielles et, enfin, des perspectives scientifiques.

L'ambition de la première partie est de permettre au lecteur de mieux appréhender les composantes de la pollution de l'air, les diverses conséquences de celle-ci, ses effets sur la santé, les progrès obtenus depuis plusieurs années, ainsi que les efforts restant à faire. Ce sont des scientifiques, des représentants du ministère de la Transition écologique et solidaire, mais également des militants associatifs qui ont été sollicités pour donner au lecteur les références qui lui permettront de mieux comprendre les autres articles.

L'ambition de la deuxième partie est de présenter les politiques publiques européennes et françaises, de donner un éclairage sur la pollution automobile et le sujet de l'air intérieur. Un article expose la méthode de réalisation des inventaires d'émissions. Un exposé sur la situation en Chine permettra de mieux évaluer la situation en Europe. Des membres des Cours des comptes européenne et française ont accepté de nous éclairer en matière d'évaluation des politiques publiques dans ce secteur. Les points de vue des collectivités locales et des associations environnementales viendront compléter cette partie. Une présentation des liens de la pollution de l'air avec les politiques d'urbanisme et de transport viendra clore cette partie.

L'ambition de la troisième et dernière partie est d'apporter un éclairage industriel, économique et scientifique. Le coût de la pollution de l'air nous est exposé par un économiste spécialisé dans ces questions. D'autres articles présentent les différents outils réglementaires et économiques de régulation de cette pollution. Pour le volet industriel, un exemple de réduction importante des émissions par une profession est complété par deux exemples de PME innovantes et un industriel exportant le savoir-faire français en matière de mesure de la pollution de l'air. Les outils français de surveillance, de planification et d'alerte seront également présentés. Ce numéro se termine par deux articles sur les perspectives de recherche en matière de surveillance de la pollution de l'air.

Bonne lecture à tous !

# Présentation générale de la pollution de l'air

Par Sophie VASLIN-REIMANN  
LNE

Le contexte général de la pollution atmosphérique est présenté en introduction de ce chapitre en lien avec les sources de celle-ci.

Les multiples origines de cette pollution sont ensuite évoquées, ainsi que certaines initiatives nationales et internationales mises en place en vue de la réduire.

Avec près de 48 000 décès prématurés chaque année en France, la pollution atmosphérique est le premier sujet de préoccupation environnementale des Français. Les effets des polluants atmosphériques sur la santé sont avérés et la pollution de l'air extérieur a été reconnue comme cancérigène pour l'homme par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Bien qu'il soit complexe de calculer le coût social, économique et sanitaire de cette pollution, de tels calculs sont cependant régulièrement réalisés par des économistes, des épidémiologistes et des spécialistes de l'air. Ainsi, en avril 2013, le Commissariat général au développement durable (CGDD) a estimé le coût des impacts sanitaires associés à la pollution de l'air en France à un montant compris entre 20 et 30 milliards d'euros.

L'air est composé à 78 % d'azote, à 21 % d'oxygène et à 1 % d'autres gaz. D'après la loi LAURE sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, la pollution atmosphérique est « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives excessives. »

La notion de pollution atmosphérique s'applique donc à l'air que nous respirons. Elle concerne uniquement les plus basses couches de l'atmosphère, jusqu'à une altitude de quelques kilomètres au-dessus de la surface et se concentre dans ce que l'on nomme la couche limite. Cette notion de couche limite correspond à la partie de la troposphère impactée par la surface terrestre et au sein de laquelle les polluants peuvent se disperser et se mélanger.

La biosphère produit aussi naturellement des gaz et des particules qui se retrouvent dans l'atmosphère. C'est le cas de l'érosion éolienne, des hydrocarbures émis par la végétation, des productions de gaz provenant des décompositions bactériennes dans les sols et les eaux, des embruns marins souvent porteurs de détergents, etc. Ces sources de constituants sont appelées biogéniques.

Cependant, les activités humaines modifient ces émissions apportant alors une contribution à la pollution atmosphérique par rejet direct de composés gazeux (représentant plus de 95 % des masses globales de polluants rejetés dans l'air) ou de particules nocifs pour l'homme et la biosphère, qui proviennent des diverses activités humaines, industrielles, domestiques, agricoles, des transports, des combustions diverses, etc. Les polluants ainsi émis sont dits d'origine anthropique. Ainsi, l'agriculture modifie l'érosion éolienne et les émissions de gaz comme les oxydes d'azote avec l'utilisation d'engrais azotés qui perturbent le cycle naturel de l'azote.

Les polluants introduits directement dans l'atmosphère, ou qui proviennent de la modification des émissions naturelles de la biosphère, sont appelés des polluants primaires, tels que le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ )... Un grand nombre d'entre eux vont réagir chimiquement, en particulier sous l'effet du rayonnement solaire, et donner de nouveaux constituants ou polluants secondaires, qui sont souvent plus agressifs pour l'environnement que ceux qui leur ont donné naissance. Il y a parmi ces polluants secondaires des acides forts, comme l'acide sulfurique et l'acide nitrique, ainsi que des oxydants puissants comme l'ozone ( $\text{O}_3$ ). L'atmosphère est ainsi le siège d'une intense activité chimique, entre composés qui sont la plupart du temps à l'état de traces infimes. Les concentrations des constituants actifs, qui s'expriment souvent par le rapport de mélange volumique, peuvent être très faibles, de l'ordre de la ppt, c'est-à-dire un volume de polluant pour 1 000 milliards volumes d'air. Elles sont souvent de l'ordre de la ppb (partie pour milliard) ou de la ppm (partie pour million).

## Les polluants atmosphériques

Les principaux polluants atmosphériques sont les suivants :

- Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ )

La pollution atmosphérique au dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) provient principalement de la consommation de combus-

tibles fossiles (fuel, houille, etc.), qui contiennent souvent du soufre. En effet, les impuretés soufrées contenues dans ces combustibles sont oxydées par l'oxygène de l'air pour donner du dioxyde de soufre. La combustion du charbon représente par ailleurs 50 % des émissions globales annuelles de  $\text{SO}_2$ , celle du pétrole de 25 à 30 %. Le dioxyde de soufre contribue à la formation de pluies acides dues à la génération d'acide sulfurique.

- Les oxydes d'azote (dont le  $\text{NO}$ , le  $\text{NO}_2$  et le  $\text{N}_2\text{O}$ )

Les oxydes d'azote sont les formes oxydées de l'azote, telles que l'oxyde d'azote ( $\text{NO}$ ) et le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) : il s'agit des deux principaux gaz analysés dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air, car ils sont à l'origine de pluies acides et de la présence d'ozone dans la troposphère. S'y ajoutent le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et quelques autres encore. Ces gaz contribuent à l'odeur caractéristique de l'air urbain pollué par la circulation. Les oxydes d'azote proviennent, directement ou non, en grande partie de la combustion de combustibles fossiles dans les industries, mais surtout des véhicules automobiles roulant au diesel, dont les émissions d'oxydes d'azote sont diminuées grâce à des pots catalytiques.

- L'ozone ( $\text{O}_3$ )

Sous l'effet du rayonnement solaire, les oxydes d'azote (et, plus particulièrement, le dioxyde d'azote) réagissent avec des hydrocarbures imbrûlés et l'oxygène de l'air et se transforment alors en ozone ( $\text{O}_3$ ). Ce gaz, qui protège notre planète des UV dans la stratosphère, est un polluant dans la troposphère, c'est-à-dire la couche la plus basse de l'atmosphère. En effet, étant un oxydant, l'ozone peut notamment brûler les végétaux les plus sensibles, voire empêcher la photosynthèse. Il peut également amener à la formation de pluies acides. Certes, les teneurs en ozone sont très faibles dans la troposphère (0,03 ppm en moyenne), mais elles peuvent augmenter avec la pollution : la dégradation de la qualité de l'air par l'ozone est donc problématique autour des grandes villes, et le problème s'aggrave en cas de canicule.

- Le monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ )

Le monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) est un gaz dangereux, car il est « invisible » : inodore et incolore, il est très toxique pour les mammifères et peut entraîner la mort. Il se forme à la suite de réactions incomplètes, lorsque la température excède les  $950^\circ\text{C}$  et que la quantité d'oxygène disponible est faible : le  $\text{CO}$  se forme alors au détriment du  $\text{CO}_2$ . Le monoxyde de carbone est principalement produit dans les chaudières et les moteurs thermiques.

- Les composés organiques volatils (COV) et persistants (POP)

Les composés organiques volatils composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, sont principalement issus de l'évaporation de solvants lors de l'application de produits en contenant ou encore de la dégradation de la biomasse.

Cependant, une partie de ces émissions est également issue de la consommation d'hydrocarbures ou des rejets de gaz par les raffineries. Les COV regroupent principalement le benzène, le formaldéhyde et l'isoprène, alors que les POP regroupent les HAP (hydrocarbures aromatiques

polycycliques) issus de la combustion de carburants automobiles, des combustions domestiques ou encore de la production d'énergie dans les centrales fonctionnant au pétrole ou au charbon. Les HAP, tels que le benzo[a]pyrène ou le benzo[a]anthracène sont toxiques, car ils peuvent entraîner des dysfonctionnements cellulaires en altérant l'ARN ou l'ADN, provoquant ainsi des mutations génétiques, voire des cancers. Outre le danger qu'ils représentent pour la santé, les COV interviennent également dans la production d'ozone dans la troposphère.

- Les métaux lourds : plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), cuivre (Cu)...

Ces polluants proviennent essentiellement de la combustion des charbons, des pétroles, des ordures ménagères, mais aussi de la production industrielle (métallurgie...) ; le plomb provenait essentiellement de l'essence, jusqu'à son interdiction en 2000.

- Les particules en suspension

Communément appelées poussières, elles sont issues de la combustion d'énergies fossiles dans les véhicules, les centrales thermiques ou les industries, mais aussi de la combustion du bois. Elles sont classées en quatre catégories :

- Les  $\text{PM}_{10}$  ayant un diamètre inférieur à 10 micromètres : elles sont considérées comme dangereuses puisqu'elles peuvent s'infiltrer dans le corps. Cependant, elles se limitent pour la plupart au nez ou aux bronches.

- Les  $\text{PM}_{2,5}$ , dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres : appelées « particules fines », elles sont issues de la combustion de diesel, notamment dans les véhicules. Ce sont également les plus dangereuses pour la santé, car du fait de leur taille plus faible, elles peuvent pénétrer jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

- Les  $\text{PM}_{1,0}$ , appelées les « particules très fines », dont le diamètre est inférieur à 1,0 micromètre.

- Les  $\text{PM}_{0,1}$ , appelées « particules ultra-fines » ou « nanoparticules », dont le diamètre est inférieur à 0,1 micromètre.

Les particules peuvent être des polluants primaires, lorsqu'elles sont directement émises dans l'atmosphère, ou secondaires lorsqu'elles sont générées à partir d'autres polluant dits « précurseurs ».

- L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ )

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un composé chimique émis par les déjections des animaux et les engrais azotés utilisés pour la fertilisation des cultures. Son dépôt excessif en milieu naturel peut conduire à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux. De plus, il peut se recombinaison dans l'atmosphère avec des oxydes d'azote et de soufre pour former des particules fines ( $\text{PM}_{2,5}$ ).

- Les polluants biologiques

Outre ces polluants classiques, les polluants biologiques, tels que les légionnelles, pollens, moisissures... contribuent également à la mauvaise qualité de l'air ambiant, en particulier lorsqu'ils sont associés à des particules sur lesquelles ils s'adsorbent, augmentant ainsi leur nocivité.

Les principales sources des polluants précités sont les suivantes (source : ADEME, septembre 2018) :

- Transports : 63 % des émissions de NO<sub>x</sub> ;
- Résidentiel : 46 % des émissions de COV ;
- Industrie : 80 % des émissions de SO<sub>2</sub> ;
- Culture (élevage) : 97 % des émissions de NH<sub>3</sub>.

Ces quatre sources sont également responsables des émissions de particules.

## La pollution atmosphérique : des origines multiples

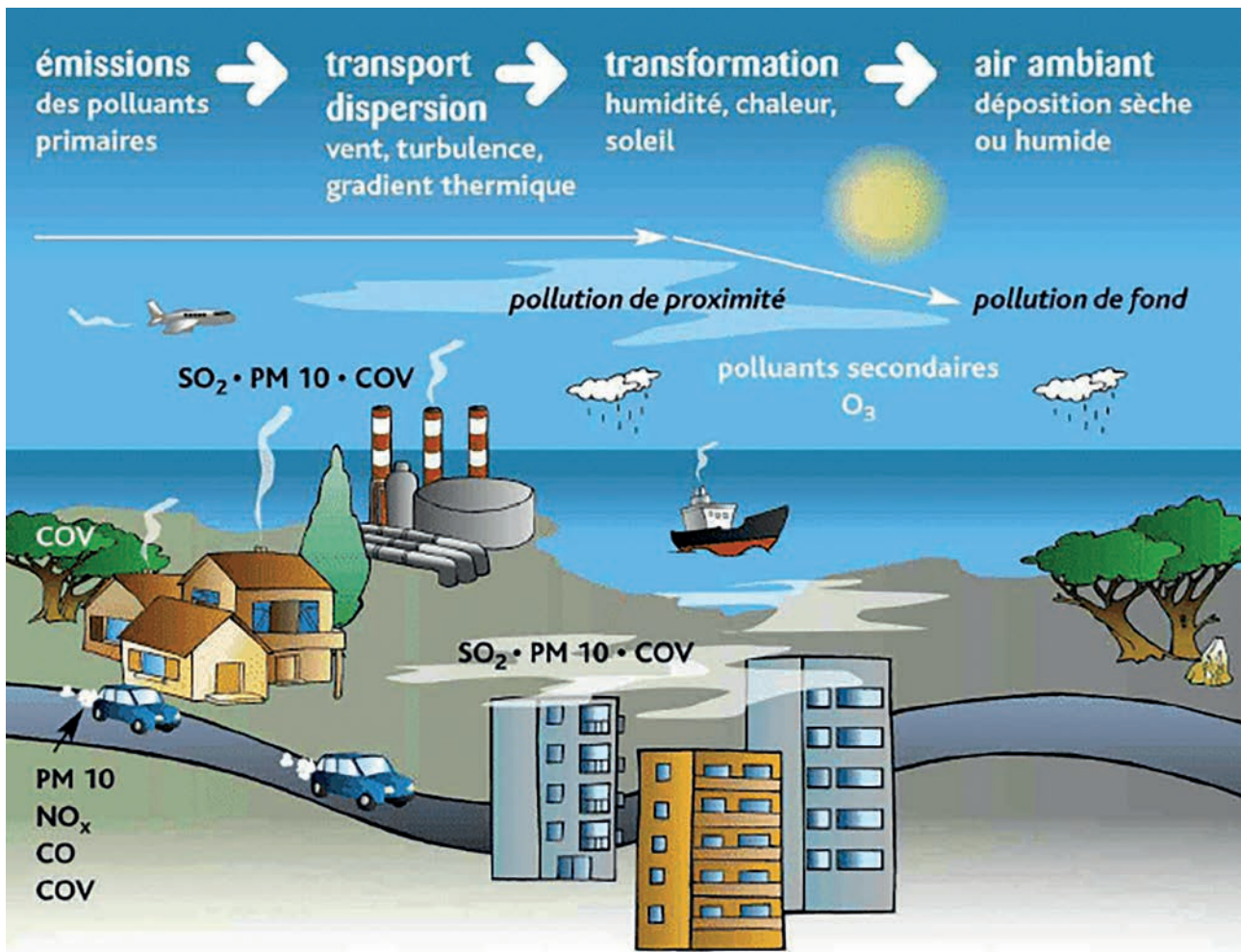
Comme nous venons de le voir, la pollution de l'air est la résultante de multiples facteurs contemporains : croissance de la consommation d'énergie ; développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, des épandages de pesticides en agriculture, etc. Elle sévit certes à son maximum d'intensité en zone urbanisée, non seulement en raison de la concentration des industries et des foyers domestiques, mais aussi à cause de la circulation des véhicules à moteur. Néanmoins, certains polluants sont sujets à une pollution diffuse et contaminent l'ensemble de l'atmosphère, et cela à une échelle globale. Ce sont, en particulier, les rejets de certains gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone, le méthane ou le protoxyde d'azote.

Ainsi, il n'existe pas une unique source de pollution atmosphérique, mais plusieurs : en effet, une activité industrielle ne dégagera pas les mêmes gaz polluants que les transports automobiles.

Cependant, une grande partie de ces polluants est issue de l'activité industrielle de l'homme et de la combustion d'énergies fossiles comme le montre l'image ci-après.

La pollution atmosphérique est surtout observable dans les grandes villes, mais elle varie dans le temps, dans l'espace et dans sa forme, du fait des déplacements de masses d'air au gré des vents et des réactions chimiques qui font apparaître de nouveaux éléments. Ainsi, un rejet de gaz ou de particules provenant d'une usine peut, après déplacement, se retrouver à plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres. La dispersion des polluants et leurs concentrations dans l'atmosphère peuvent fluctuer en fonction de différents paramètres, tels que la variation dans le temps de l'intensité des émissions des différentes activités (en hiver, le chauffage est important), la topographie locale (vallée, bord de mer...), les conditions météorologiques (une atmosphère stable limite la dispersion des polluants et favorise les pics de pollution), ...

Les initiatives locales (incitations financières pour remplacer les vieux appareils de chauffage au bois...) ainsi que les réglementations nationales (vignette Crit'air ; « zéro pesticide »...), européennes (instauration d'une norme Euro sur les rejets gazeux pour les véhicules) et





internationales (Convention de Minamata ; Convention de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (1979)), se multiplient pour combattre cette pollution atmosphérique, les enjeux étant économiques, politiques et sanitaires. Par ailleurs, les citoyens étant de plus en plus sensibilisés aux effets néfastes de cette pollution sur leur santé (asthme, maladies cardiovasculaires, neurologiques, cancers, troubles de la fertilité...) et sur l'environnement (trou dans la couche d'ozone, pluies acides, eutrophisation des milieux aquatiques...), ils réclament des plans d'action efficaces.

Ces plans d'action ont permis la réduction de certains polluants, puisqu'en vingt ans, les émissions et les concentrations dans l'air extérieur du dioxyde de soufre, du monoxyde de carbone, de certains composés organiques volatils et du plomb ont ainsi fortement diminué, et qu'au cours des quinze dernières années, une diminution des concentrations de dioxyde d'azote et de  $PM_{10}$  a pu être constatée en France. Néanmoins, dans plusieurs zones urbaines françaises, les valeurs limites fixées par les directives européennes ne sont pas respectées pour ces polluants. Ce dépassement est d'autant plus préoccupant que l'Organisation mondiale de la santé préconise des valeurs encore inférieures à ces valeurs réglementaires.

Il reste encore beaucoup à faire. En effet, ce problème de la pollution atmosphérique est si complexe et multifactoriel, qu'il ne suffit pas toujours d'identifier les sources des émissions et de mesurer les polluants pour améliorer la qualité de l'air.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier la pollution de l'air intérieur, car nous passons environ 80 % de notre temps dans des lieux fermés, en particulier dans nos logements où la qualité de l'air que l'on respire influe sur notre san-

té et notre confort. Elle peut parfois y être moins bonne qu'à l'extérieur : lorsque l'air intérieur est pollué, il l'est généralement de façon diffuse et continue. Les sources de polluants sont différentes ainsi que les polluants à rechercher, mais les plans d'action à mettre en place sont sans doute plus faciles à construire (renouvellement de l'air, confinement...).

## Références

Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Loi Laure), <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/1996/12/30/96-1236/jo/texte>

ADEME (2018), Guide « Comment respirer un air de meilleure qualité ? ».

AL BARAKEH Z. (2012), « Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs – Méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution », École nationale supérieure des Mines de Saint-Étienne, 17 décembre.

DUCHÉ S. (2014), thèse « La pollution de l'air en région parisienne : exposition et perception sur les sites touristiques », Université Paris Diderot – Paris 7 École doctorale : ED-38224, mars.

<https://atmo-france.org/>

<https://www.citepa.org/fr/>

<http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=2169>

[http://www.aria.fr/pollutant\\_dispersal.php](http://www.aria.fr/pollutant_dispersal.php)

<https://www.encyclopedie-environnement.org/air/les-pollutions-de-lair/>

<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/pollution-sont-differents-types-pollutions-atmospheriques-344/>

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/5-la-pollution-atmospherique/>

[http://www.piaf-archives.org/sites/default/files/bulk\\_media/m08s3/co/m8section3\\_12.html](http://www.piaf-archives.org/sites/default/files/bulk_media/m08s3/co/m8section3_12.html)



# Les impacts de la pollution de l'air

Par Eva LEOZ-GARZIANDIA

Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)

C'est la mise en évidence des effets induits par la pollution atmosphérique qui permet, grâce à une prise de conscience collective, la mise en place de politiques publiques visant à protéger les cibles de la pollution, à savoir la santé humaine et l'environnement, ou, plus largement, les écosystèmes dans leur ensemble. Des nombreuses études nationales et internationales permettent de mieux comprendre les mécanismes d'action de la pollution atmosphérique sur la santé humaine, mais également de chiffrer le nombre de personnes exposées à celle-ci. Les connaissances sur l'impact de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes naturels et agricoles évoluent également et sont sous surveillance, notamment en Europe. En plus des effets observés sur les différents milieux, la pollution atmosphérique a également des conséquences économiques importantes. Enfin, le changement climatique et la pollution de l'air sont étroitement liés. Ainsi, il est nécessaire d'identifier les actions de réduction des émissions s'avérant cobénéfiques dans les deux cas.

## L'état du sujet

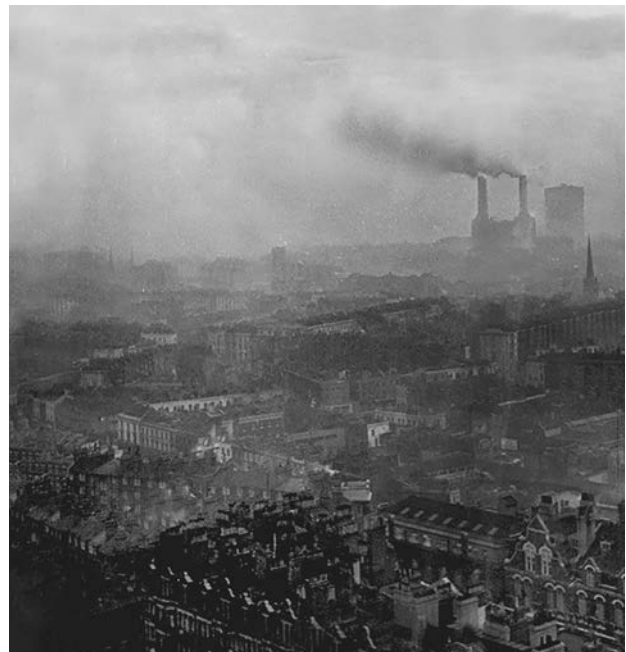
Les effets de la pollution atmosphérique sont divers : ils concernent aussi bien la santé humaine que les écosystèmes naturels (lacs, rivières, forêts, zones agricoles, etc.) et la sauvegarde du patrimoine et des monuments historiques. C'est bien la mise en évidence des effets induits par la pollution atmosphérique, par exemple le fameux *smog* de Londres en 1952 ou les pluies acides qui contaminaient les lacs scandinaves dans les années 1970, qui a permis une prise de conscience collective des enjeux de protection de la santé humaine et des écosystèmes, laquelle s'est traduite par :

- la mise en place des observatoires nationaux et européens de surveillance ;
- la définition des réglementations nationales et internationales imposant des objectifs environnementaux à respecter ;
- la proposition de programmes de recherche pour l'acquisition des connaissances ;
- la mise en œuvre des plans d'action de réduction des émissions et de protection.

En plus des effets observés sur les différents milieux, la pollution atmosphérique a également des conséquences économiques importantes, du fait des pertes induites par les dommages (mortalité, morbidité, baisse des rendements agricoles, baisse d'attractivité des sites touristiques, etc.), et génère une importante perte de bien-être qu'il est cependant difficile de quantifier. La monétarisation des impacts dus à la pollution atmosphérique permet de montrer le coût de l'inaction, de comparer en unité commune les coûts des politiques de lutte contre la pollution atmosphérique avec leurs bénéfices et d'identifier des stratégies « optimales » de réduction de la pollution.

## Impacts sanitaires de la pollution atmosphérique

Nous sommes en décembre 1952, à Londres, un brouillard très dense, appelé *smog*, recouvre la ville durant environ cinq jours. Les consultations dans les hôpitaux augmentent et font état d'environ 150 000 personnes hospitalisées. À l'époque, la surmortalité liée à cet épisode a été estimée à environ 4 000 décès lors de celui-ci et des jours



Le Smog de Londres en décembre 1952 (source : *The Guardian*, <https://www.theguardian.com/environment/gallery/2012/dec/05/60-years-great-smog-london-in-pictures>).  
Photograph: Associated Newspapers/Rex Fea/Rex Features

qui ont suivi. Depuis, des travaux plus récents ont estimé que le nombre de morts prématurées sous l'effet de ce *smog* se serait élevé à 12 000. Cet épisode est considéré comme la pire pollution atmosphérique de toute l'histoire du Royaume-Uni, voire de l'Europe.

Cet événement est une bonne illustration des effets à court terme ainsi que des effets à long terme ou effets chroniques de la pollution atmosphérique. En effet, alors que les effets à court terme se traduisent par des manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques (essoufflement, asthme, etc.) survenant dans des délais brefs (quelques jours, semaines) après l'exposition, les effets à long terme ou chroniques induisent le développement de processus pathogènes au long cours (diminution des fonctions respiratoires, maladies chroniques, cancers, etc.) qui peuvent conduire finalement à un événement morbide ou même au décès.

Les différents effets sanitaires observés sont fonction de la composition chimique des polluants et de leur taille (notamment pour les particules), lesquels peuvent se manifester différemment en fonction des caractéristiques de la cible (âge, sexe, etc.), du mode de vie (tabagisme, etc.), de l'état de santé, mais aussi du degré d'exposition (spatiale et temporelle) et de la dose inhalée. Sans pour autant oublier l'exposition de la population à la pollution par d'autres voies comme l'ingestion et la voie cutanée, cette dernière étant marginale pour ce qui concerne la pollution atmosphérique.

Les différents polluants présents dans l'air, qu'ils soient primaires ou secondaires, peuvent ainsi contribuer à la survenue d'effets sanitaires. Dans le cas de Londres, des travaux scientifiques récents incriminent la présence d'acides forts, comme l'acide sulfurique (composé secondaire formé à partir du dioxyde de soufre issu de la combustion du charbon et des oxydes d'azote issus du transport urbain) dans la survenue des effets néfastes constatés (Wang G. *et al.*, "Persistent sulfate formation from London Fog to Chinese haze", *PNAS*, first published November 14, 2016, <https://doi.org/10.1073/pnas.1616540113>).

De plus, le ministère de la Santé précise que des interactions peuvent se produire entre les polluants chimiques de l'air et d'autres facteurs de risque, tels que les pollens ou la température. Dans un document publié en 2013, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) présente les données disponibles les plus récentes dans ce domaine :

- des études toxicologiques confirment que des effets synergiques (c'est-à-dire plus importants quand les polluants sont présents simultanément que pris séparément) ont été observés, au niveau des tissus biologiques, d'une part, entre les particules ultrafines et des métaux de transition, et, d'autre part, entre les particules et les composés organiques volatils ;
- des interactions entre polluants et température élevée ont aussi été notées : il a, par exemple, été observé que l'impact sanitaire associé à une exposition aux particules et à l'ozone était plus important les jours où les températures étaient particulièrement élevées. Une augmenta-

tion des concentrations en particules ( $PM_{10}$ ) et en ozone a ainsi été associée à une augmentation du nombre total de décès (hors accidents et morts violentes), et du nombre de décès pour causes cardiovasculaires qui est plus important en été qu'en moyenne sur l'année entière. Ce dernier effet peut être dû à des interactions et à une composition particulière du mélange polluant, mais aussi à une exposition plus importante à l'air extérieur en été.

C'est à partir des résultats obtenus lors des études épidémiologiques et toxicologiques que l'OMS définit des lignes directrices relatives à la qualité de l'air visant à dispenser des conseils sur la façon de réduire les effets sanitaires de la pollution de l'air. Ces lignes directrices sont ensuite utilisées comme point de départ par les différents pays afin de définir des objectifs de qualité réglementaires tenant compte de la faisabilité technique, de considérations économiques et autres facteurs politiques et sociaux.

Les experts du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) ont conclu en octobre 2013 que la pollution atmosphérique était cancérigène pour l'homme, elle est de ce fait classée dans le groupe 1 (cancérogène avéré pour l'homme, au même titre que la matière particulaire (ou particules)). Dans le monde, la pollution de l'air intérieur et extérieur serait responsable d'environ 7 millions de décès en moyenne par an (étude de l'OMS, mars 2014). En septembre 2016, l'OMS évaluait à 92 % la population mondiale respirant un air ambiant trop pollué.

En France, l'Agence nationale de santé publique – Santé Publique France (ANSP) – estime que la pollution par les particules fines ( $PM_{2,5}$ ) émises par les activités humaines est à l'origine d'au moins 48 000 décès prématurés par an, ce qui correspond à 9 % de la mortalité en France continentale et à une perte d'espérance de vie à trente ans pouvant dépasser deux ans. Si les effets de cette pollution sont plus importants dans les grandes villes, les villes moyennes et petites ainsi que les milieux ruraux sont aussi concernés.

En 2012, l'étude Aphekom avait déjà mis en évidence que le dépassement de la valeur guide préconisée par l'OMS pour les  $PM_{2,5}$  se traduisait, pour les 25 villes européennes (39 millions d'habitants) étudiées, par près de 19 000 décès prématurés chaque année, dont 15 000 causés par des maladies cardiovasculaires. Le respect de cette valeur guide de l'OMS se traduirait par environ 31,5 milliards d'euros d'économies par an, grâce à la diminution des dépenses de santé, de l'absentéisme et des coûts associés à la perte de bien-être, de qualité et d'espérance de vie. Ainsi, si toutes les communes françaises respectaient la valeur recommandée par l'OMS pour les  $PM_{2,5}$  ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ce sont plus de 17 000 décès qui pourraient être évités chaque année en France ([www.aphekom.org](http://www.aphekom.org)).

Ces résultats soulignent que la pollution de l'air a encore un impact sur la santé publique en France et en Europe, et que la mise en œuvre de réglementations efficaces dans le domaine de la pollution atmosphérique conduirait à des bénéfices sanitaires et monétaires non négligeables. À titre d'exemple, la commission d'enquête du Sénat a

évalué le coût sanitaire annuel de la pollution atmosphérique à 100 milliards d'euros (Rapport n°610 (2014-2015) de Mme Leila Aïchi).

Enfin, l'ANSP précise que l'impact sanitaire prépondérant de la pollution de l'air est dû à l'exposition tout au long de l'année aux niveaux moyens de pollution plutôt qu'aux pics, ainsi l'exposition chronique à la pollution de l'air conduit aux impacts les plus importants sur la santé alors que la part des effets sanitaires attribuables aux pics de pollution demeure très faible.

## Impacts de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes

Lors de la 1<sup>ère</sup> Conférence des Nations Unies sur l'environnement en 1972 à Stockholm, de nouvelles preuves de l'acidification des lacs en Suède sont présentées dans une étude de cas intitulée « Pollution de l'air au-delà des frontières nationales. L'impact sur l'environnement du soufre dans l'air et les précipitations ». De plus, les dépôts atmosphériques de soufre ont été désignés comme responsables du dépérissement de certaines forêts en Allemagne et en Scandinavie. Au niveau européen, la lutte contre ce type de pollution a été organisée au sein de la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière, aujourd'hui appelée Convention Air, mise en place en 1979.

C'est dans ce cadre que s'est développée la notion de charges critiques. Elle est conçue pour établir les niveaux maximum de dépôts de polluants atmosphériques acceptables pour chaque type d'écosystème. Ainsi, lorsque cette charge est dépassée, on considère que les effets nocifs de la pollution (acidification, eutrophisation, dépérissement par l'ozone...) sont significatifs, mais pas irréversibles. La Convention Air a également mis en place des réseaux de surveillance des effets de la pollution sur les écosystèmes, qui permettent de confirmer les diagnostics élaborés à travers la prévision de dépassements de charges critiques et de suivre l'impact des mesures de réduction des émissions mises en œuvre. Le concept de charge critique a ainsi permis l'élaboration de politiques de réduction des émissions, tels que le protocole d'Helsinki sur le soufre de 1985 ou le protocole multipolluants multi-effets de Göteborg adopté en 1999, puis révisé en 2012, qui cible, dans sa version amendée, l'ozone, les particules fines, ainsi que les polluants acidifiants et eutrophisants. On trouve dans la littérature scientifique des calculs de charges critiques appliqués à l'Asie ou aux pays sud-américains. L'acidification des sols et des eaux de surface est en effet de plus en plus visible dans les pays en voie de développement.

De plus, de fortes concentrations de certains polluants atmosphériques peuvent conduire à des nécroses visibles sur les plantes. La pollution de l'air peut également entraîner une réduction de la croissance des plantes, même sans dommages visibles, ou une résistance amoindrie des plantes à certains agents infectieux.

À titre d'exemple, l'ozone – composé secondaire et oxydant puissant de l'atmosphère – réagit directement avec

les composés chimiques présents à la surface des cellules végétales (parois et membranes). Il pénètre dans les feuilles par les stomates (minuscules orifices situés au niveau de l'épiderme des végétaux et servant aux échanges gazeux) et se dégrade instantanément au contact des cellules, entraînant des réactions en chaîne et aboutissant à la mort de celles-ci. Sur les plantes les plus sensibles, les symptômes sont identifiables dans un premier temps par la présence de nécroses foliaires, puis par la chute prématurée des feuilles. Ces pertes foliaires entraînent des diminutions de la croissance et un affaiblissement des plantes, les rendant plus sensibles aux attaques parasitaires (insectes, champignons) et aux aléas climatiques (sécheresse) ([www.onf.fr](http://www.onf.fr)).

Ainsi, il est estimé qu'en Europe, en 2000, la pollution atmosphérique à l'ozone a été à l'origine d'une perte de production de blé d'environ 13 % (Mills et Harmens, septembre 2011). La valeur de cette production perdue, évaluée sur la base des prix de vente, s'élevait à plus de 3 milliards d'euros (plus de 800 millions d'euros en France).

## Impacts de la pollution atmosphérique sur le bâti

La pollution atmosphérique induit également des effets néfastes sur les bâtiments et les monuments historiques. C'est notamment la corrosion due au dioxyde de soufre, le noircissement et l'encroûtement des bâtiments par les particules en grande partie issues de la combustion ainsi que les altérations diverses en association avec le gel, l'humidité et les micro-organismes qui en sont responsables.

Ces manifestations macroscopiques sont la traduction de phénomènes microscopiques résultant de l'interaction des polluants gazeux (essentiellement le dioxyde de soufre) et particulaires (essentiellement les cendres volantes et les suies) et de l'eau (liquide et vapeur) avec les différents substrats constituant les façades des bâtiments (essentiellement la pierre, le ciment, le mortier, le béton et le verre).

En effet, l'observation des façades des bâtiments ou des statues en milieu urbain pollué révèle la présence de zones claires et de zones foncées juxtaposées. Les zones claires sont soumises aux pluies battantes ou ruisselantes et sont



Les effets de la pollution sur l'église Saint-Paul-Saint-Louis, située dans le Marais (Paris), avant et après son nettoyage (Source : [www.cnews.fr](http://www.cnews.fr)).

le siège d'un lessivage, voire d'une érosion par dissolution ; les zones foncées sont celles à l'abri des pluies et sont le siège d'une accumulation de poussières (salissure ou *soiling*) qui, peu à peu, seront cimentées pour former une croûte noire gypseuse (voir Lefevre R. (2004), pour une modélisation des effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux des bâtiments (calcaire, mortier, verre)).

Ce problème reste d'actualité en France malgré la forte diminution de la pollution due au soufre dans les zones urbaines.

## Pollution de l'air et climat

Bien qu'ils puissent apparaître comme deux problèmes très différents, les changements climatiques et la pollution de l'air sont étroitement liés : de sorte que réduire la pollution de l'air par des mesures qui ciblent également les gaz à effet de serre, tels que l'ozone, a également un effet positif sur le climat et, réciproquement, travailler sur la mitigation du climat peut être source de co-bénéfices au regard de la qualité de l'air. La question concernant les liens entre pollution de l'air et changement climatique peut être abordée soit sous l'angle de l'atténuation (politiques de gestion) soit sous celui de l'adaptation (impacts futurs du changement climatique).

Pour ce qui concerne l'atténuation, les sources anthropiques de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques sont souvent les mêmes. Ainsi, les mesures de gestion visant à améliorer la qualité de l'air ou à atténuer le changement climatique auront donc en général des effets mutuels pouvant cependant être cobénéfiques ou

contradictoires, ce qui explique la difficulté de la prise de décision. Cependant, certains polluants atmosphériques contribuent aussi à l'effet de serre (particules, ozone). Ainsi, cibler ces substances permet d'optimiser les cobénéfices. D'autant qu'ils ont souvent une durée de vie dans l'atmosphère inférieure à celle du CO<sub>2</sub>, et pourraient donc avoir un effet plus rapide.

Sur le plan de l'adaptation, le changement climatique conduit à la modification des phénomènes météorologiques régissant l'évolution des polluants dans l'atmosphère. L'été, l'augmentation de la fréquence et/ou de la sévérité des vagues de chaleur renforce la pollution à l'ozone. On parle de pénalité climatique, son importance est à présent bien documentée. Elle est d'autant plus préoccupante qu'elle est du même ordre que l'évolution récente de la pollution à l'ozone malgré des efforts substantiels dans la réduction des émissions. Pour les particules, la situation est plus complexe avec des impacts parfois contradictoires. Comme pour l'ozone, il y a un effet de pénalité climatique : l'assèchement des sols dans le sud de l'Europe favorise la re-suspension de poussières minérales et l'augmentation des températures renforce les émissions de composés organiques volatils biotiques qui contribuent à la formation d'aérosols organiques secondaires (et d'ozone). Mais il y a aussi un bénéfice climatique : l'augmentation des températures conduit à la volatilisation d'une fraction des particules. Les précipitations ont un effet qui conduit soit à une pénalité, soit à un bénéfice suivant les zones géographiques. Le changement climatique tendra aussi à augmenter le risque lié à l'exposition aux pollens, notamment pour l'ambrosie.



# La réduction des émissions dans l'air des installations industrielles

Par Jean-Luc PERRIN

Direction générale de la Prévention des risques/MTES

Les installations industrielles susceptibles de présenter des dangers et inconvénients pour l'environnement sont soumises en France à la législation sur les installations classées. Cette législation est contrôlée par environ 1 600 inspecteurs (personnels techniques), qui instruisent les dossiers d'autorisation et proposent localement au préfet de département les prescriptions destinées à encadrer leur fonctionnement. Ils inspectent régulièrement ces installations et proposent les évolutions des prescriptions éventuellement nécessaires. Ils bénéficient de l'appui des équipes du siège régional de la DREAL et du ministère dans ce travail quotidien. Ils peuvent aussi s'appuyer sur les établissements et agences publics pour des expertises fines. C'est grâce à cette organisation que la réduction des émissions des installations industrielles notamment dans l'air a pu être effectivement mise en œuvre, au travers des investissements des industriels eux-mêmes, en application de la directive sur les émissions industrielles et du règlement sur les pollutions atmosphériques à longue distance et transfrontières. Au début centrée sur l'installation, cette législation évolue pour également encadrer des objets complexes comme les plateformes industrielles et traiter les réductions des dangers et des émissions à cette échelle. La chaîne de l'inspection (depuis le ministère jusqu'aux inspecteurs) permet un traitement local des sujets en cohérence avec les doctrines et plans nationaux.

## Encadrer et contrôler les installations classées pour assurer la protection de l'environnement et limiter, voire réduire les émissions

Les installations industrielles susceptibles de présenter des dangers et inconvénients pour l'environnement sont soumises à la législation sur les installations classées, et, plus particulièrement, à la délivrance d'une autorisation environnementale pour les plus importantes. Si l'origine de la législation sur les installations classées peut être rattachée à l'explosion de la poudrerie de Grenelle en 1794, cette politique a rapidement pris en compte des aspects plus « chroniques », et ce dès la loi du 19 décembre 1917 relative aux établissements dangereux, insalubres ou incommodes. À l'issue d'une procédure d'autorisation environnementale ou d'enregistrement s'appuyant sur une participation du public, un arrêté préfectoral détermine les conditions d'exploitation (dont les mesures de réduction à la source des risques, et les valeurs limites d'émission des polluants pertinents) et, éventuellement, les obligations associées de surveillance de ces émissions ou de nature environnementale.

Deux grandes directives européennes structurent l'encadrement des installations industrielles les plus importantes : la directive sur les émissions industrielles et la directive SEVESO.

## La directive sur les émissions industrielles

La directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED, a pour objectif de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à une prévention et à une réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles.

Adoptée en 2010 et entrée en application au début de l'année 2013, cette directive réunit, en les faisant évoluer, sept directives préexistantes relatives aux émissions industrielles : une directive transversale, la directive 2008/1/CE dite « IPPC » (sur le contrôle et la réduction intégrés de la pollution), et six directives sectorielles.

Ce texte renforce les principes de la directive IPPC, en élargit légèrement le champ d'application et introduit de nouvelles dispositions en matière de remise en état des sols. Ses principes directeurs sont :

- la délivrance d'un permis intégré pour les différentes émissions (eau et air, notamment) ;
- le recours dans l'exploitation des activités concernées aux meilleures techniques disponibles (MTD) définies dans des documents sectoriels européens appelés « BREF » (Best References), lesquels servent de fondement à la définition des valeurs limites d'émission et aux autres conditions de l'autorisation ;
- le réexamen périodique des conditions d'autorisation et



la réalisation régulière d'inspections ;

- la remise en état du site dans un état au moins équivalent à celui décrit dans un « rapport de base », qui décrit l'état du sol et des eaux souterraines avant la mise en service.

L'aspect intégré de la directive est très important pour éviter les transferts de pollution d'un milieu vers un autre : sinon, il serait possible, par exemple, *via* des processus de lavage, de transférer de la pollution du milieu air vers le milieu aquatique. L'intérêt de la directive IED est de mobiliser une approche intégrée, dont les conditions de mise en œuvre sont prises à l'échelle européenne. Les procédés permettant les transferts de pollution n'étant pas reconnus comme MTD, ils ne peuvent être utilisés.

### La directive 2012/18/UE sur la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses, dite SEVESO 3

Le rejet accidentel de dioxine en 1976 sur la commune de Seveso en Italie et ses conséquences humaines, mais aussi environnementales (abattage de plus de quatre-vingt mille têtes de bétail et pollution de nombreuses terres agricoles aux alentours), a incité les États européens à se doter d'une politique commune en matière de prévention des risques industriels majeurs : la directive SEVESO en est aujourd'hui à sa troisième version. Cet accident a fait prendre conscience que les conséquences n'étaient pas simplement des conséquences à court terme, mais qu'elles se prolongeaient dans le temps.

On pourrait penser que la démarche d'analyse technique des potentiels de danger (toxiques, explosifs, thermiques) et des possibles mesures de prévention à la source des accidents majeurs, qui est le fondement même de cette directive, concerne *a priori* assez peu la pollution de l'air.

Il faut cependant garder à l'esprit que si un épisode accidentel est rapide et que son impact s'évalue en premier lieu en termes de morts ou de blessés, il est susceptible d'engendrer également des pollutions chroniques, dont la probabilité et la gravité doivent être limitées, comme les conséquences aiguës, par des mesures de maîtrise des risques. Il s'agit, par exemple, d'avoir des cuvettes de rétention suffisamment étanches pour qu'en cas d'écoulement accidentel d'ampleur, la quantité de matériaux à traiter pour éviter une pollution persistante reste gérable. S'agissant des rejets atmosphériques, il s'agit de prévoir des procédés de neutralisation qui évitent un rejet immédiat et permettent un stockage, sous forme liquide par exemple, dans une aire de stockage de laquelle les rejets pourront ensuite être évacués.

### Instruire le dossier de demande et édicter les prescriptions nécessaires, voire l'instauration d'une surveillance

Lors de l'examen du dossier d'autorisation environnementale, tous les rejets potentiels dans les différents milieux et la production de déchets sont examinés. Cet examen détaillé du processus de production et de ses « sorties », telles qu'elles sont connues au moment du dépôt de la demande, permet de déterminer les prescriptions à respecter.

Elles seront traduites dans l'arrêté préfectoral d'autorisation pris par le préfet de département à l'issue de la procédure. En fonction des enjeux liés à ces différentes émissions, des obligations de surveillance des rejets (aux points d'émission dans l'eau ou dans l'air) sont prescrites. Il arrive également, lorsque cela apparaît nécessaire, qu'une obligation de surveillance de l'environnement soit également prescrite. Elle est alors complémentaire de la surveillance environnementale générale assurée par l'association locale agréée de surveillance de la qualité de l'air.

Selon les polluants ou substances concernés, il n'existe pas toujours de protocole de mesure en continu des émissions. Dans ce cas, des simulations réalisées par l'industriel et validées éventuellement par des experts permettent d'identifier les risques principaux de dépassement des normes sanitaires. Une surveillance aux points de retombées maximales ou représentatifs de l'exposition des riverains peut alors être demandée à l'exploitant. Il convient également de souligner que l'organisation de la police des installations classées permet aux inspecteurs locaux de disposer des compétences de l'ensemble de la chaîne de l'inspection qui remonte jusqu'au niveau national, en passant, bien entendu, par les équipes du siège régional de la DREAL, qui sont spécialisées sur des thématiques pointues. Ces équipes, à leur tour, ou par l'intermédiaire de la direction générale de la Prévention des risques, peuvent saisir les experts nationaux que sont, par exemple, l'INERIS, pour l'évaluation de l'impact des émissions atmosphériques, ou l'ANSES, s'agissant des problématiques d'impact sanitaire.

Par ailleurs, au-delà de ces obligations de surveillance réglementaires, l'exploitant peut se voir prescrire l'obligation de surveiller certains paramètres représentatifs de son exploitation de façon à anticiper un dépassement des émissions. Il reste cependant important que l'obligation et la responsabilité de cette surveillance portent toujours sur l'exploitant.

### Inspecter régulièrement les installations pour s'assurer du respect des obligations, dans un cadre cohérent au niveau national

Les visites régulières d'inspection (par exemple, tous les ans pour les « SEVESO » et les IED les plus importantes, tous les trois ans pour les installations dites « à enjeux » et tous les sept ans pour les installations les moins importantes) et les contrôles inopinés permettent de vérifier la cohérence et l'effectivité de la surveillance réalisée par l'exploitant.

Au niveau national, les orientations stratégiques de l'inspection des installations classées sont régulièrement mises à jour et permettent de dresser les priorités pour les quatre à cinq années à venir. Elles sont déclinées chaque année dans des « actions nationales de l'inspection » qui permettent de lancer les démarches de façon cohérente à l'échelle de la France. Cela n'exclut pas que certaines régions puissent être pionnières au titre d'une année. Mais l'année suivante, l'action expérimentée peut être généralisée sur le fondement de ce retour d'expérience.

## Emissions dans l'air de SO<sub>2</sub> en métropole

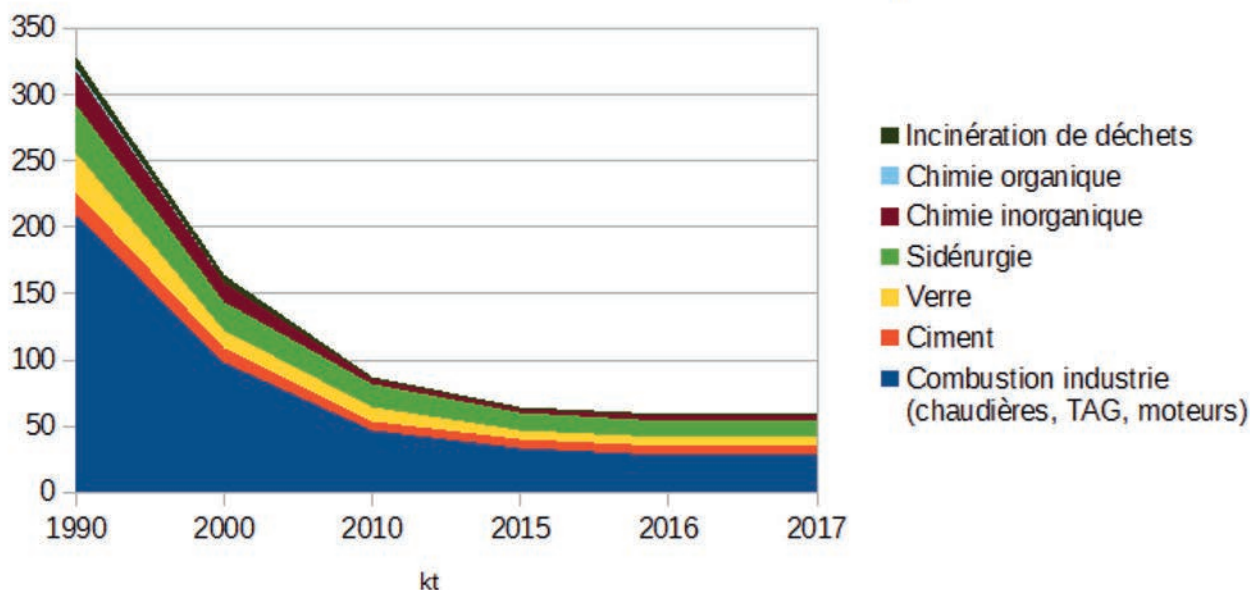


Figure 1 – Source : dossier de presse risques industriels, MTES, 2019.

### Une forte baisse des émissions industrielles

Ainsi, depuis plusieurs décennies, les émissions industrielles ont fortement baissé, conséquence d'une réglementation très stricte permettant de limiter les rejets de gaz et autres particules dans l'atmosphère. La pression des contrôles a permis d'accompagner et d'assurer l'effectivité de ce durcissement des conditions d'exploitation des installations classées. Ainsi, les entreprises investissent effectivement pour mettre en conformité leurs installations. En particulier, les émissions de SO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub>

ont connu une importante baisse ces dernières années, comme en témoignent les deux graphes de cette page (voir les Figures 1 et 2).

S'agissant des substances dangereuses pour la santé, l'action 5 du PNSE2 (plan national Santé Environnement) avait pour objectif la réduction de 30 % des émissions de six substances ou familles de substances toxiques dans l'air et dans l'eau : mercure, arsenic, dioxines et PCB, HAP, benzène et solvants chlorés. Pour les solvants chlorés, les actions se concentrent principalement sur le dichlorométhane et le perchloroéthylène.

## Emissions dans l'air de NO<sub>x</sub> en métropole

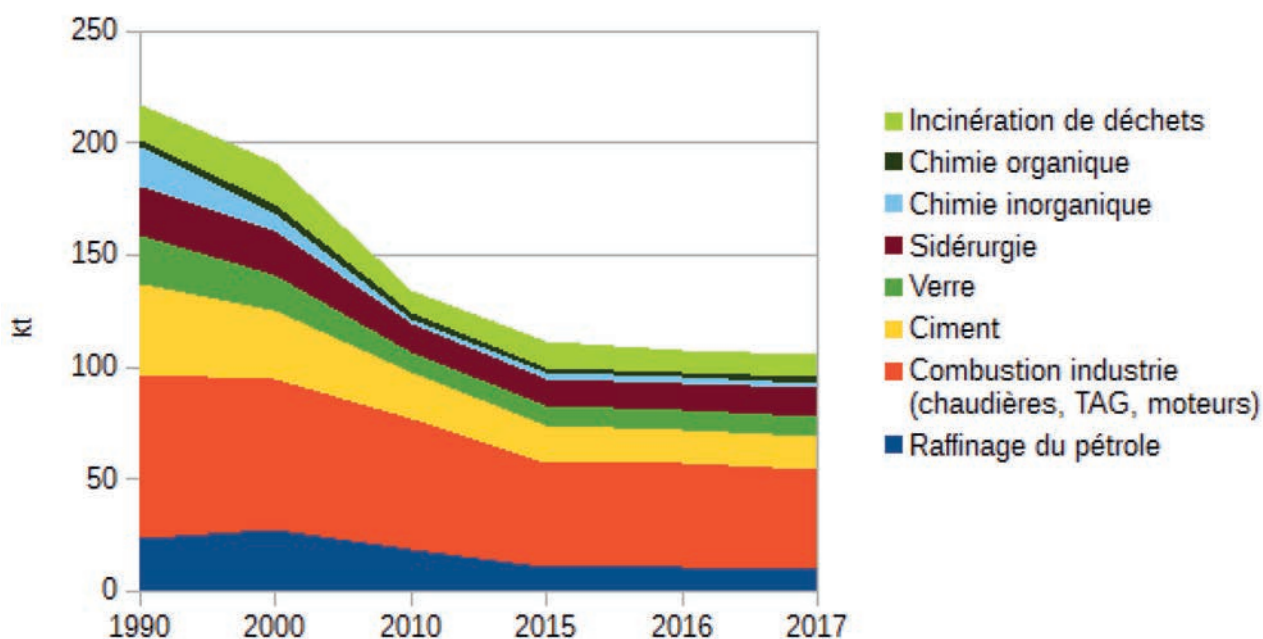


Figure 2 – Source : dossier de presse risques industriels, MTES, 2019.

L'action REISTA – pour réduction des émissions industrielles de substances toxiques dans l'atmosphère – est la stratégie développée pour les installations classées dans le but d'amplifier la mobilisation de l'inspection des installations classées (IIC) pour une réduction des émissions dans l'air. Elle a été décrite dans la circulaire du 21 mai 2010 ([https://aida.ineris.fr/consultation\\_document/7023](https://aida.ineris.fr/consultation_document/7023)).

Entre 2007 (année de référence) et 2013, quatre cent soixante-huit établissements industriels ont engagé d'importants programmes de traitement de leurs rejets atmosphériques, de changement de leurs procédés ou encore de changement de matières premières. Les réductions d'émissions observées pour ces différents sites par rapport à 2007 sont les suivants :

Substances	Objectif fixé par le PNSE2	Réduction réalisée sur la période 2007/2012
Mercure	- 30 %	- 32 %
Arsenic	- 30 %	- 61 %
HAP	- 30 %	- 78 %
Naphtalène	- 30 %	- 83 %
Benzène	- 30 %	- 70 %
Solvants chlorés	- 30 %	- 57 %
Dioxines	- 30 %	- 62 %
PCB	- 30 %	- 84 %

L'objectif de 30 % de réduction des émissions des sites visés par l'axe Réduction de REISTA a donc été atteint, voire dans certains cas largement dépassé.

L'action REISTA a ainsi permis de capitaliser sur les actions de réduction engagées par l'inspection des installations classées, travail qui avait été initié par l'arrêté ministériel du 29 juin 2004 pris en application de la directive IPPC relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution.

S'agissant plus spécifiquement du secteur de la combustion, les prescriptions techniques relatives aux installations de combustion ont été revues par arrêtés ministériels des 26 août et 24 septembre 2013 afin de prendre en compte les meilleures techniques pour la maîtrise et la réduction des impacts sur l'environnement. Les valeurs limites d'émissions pour les principaux polluants atmosphériques ont ainsi été abaissées, à savoir : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, poussières, composés organiques volatils, dioxines, furanes et métaux lourds.

À partir de 2025 et de 2030, la directive UE 2015/2193 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des installations de combustion de taille moyenne (entre 1 et 5 MW) viendra renforcer les contraintes applicables aux installations consommant du charbon et du fioul lourd, combustibles les plus émetteurs de polluants atmosphériques (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et poussières). Elle permettra également le développement de combustibles renouvelables, comme la biomasse et le biogaz, tout en leur imposant des valeurs limites d'émissions favorables à une diminution des rejets des polluants atmosphériques. En France, près de 18 000 installations sont concernées.

Ces deux mesures, qui ciblent le secteur de la production d'énergie, permettront de progresser encore dans la réduction globale des émissions.

De façon plus transversale, les mesures du PREPA se déclinent aussi dans le secteur des installations industrielles.

## L'encadrement des installations présentes sur une plateforme industrielle

Parfois la réglementation individuelle des installations peut ne pas suffire. Les directives européennes sur la qualité de l'air (telle que la directive 2008/50/CE) fixent en effet des teneurs maximales pour certains polluants qu'il ne faut donc pas dépasser. La réglementation doit alors pouvoir s'occuper, outre les questions qui ne sont pas du ressort de la direction générale de la Prévention des risques (transports, logements...), des plateformes industrielles. En effet, si chaque installation, en fonction de ses caractéristiques propres, doit respecter certaines valeurs limites d'émissions dans l'air, l'objectif de la réglementation est bien la protection des intérêts listés à l'article L. 511-1 du Code de l'environnement. Ainsi, en fonction des caractéristiques précises de l'environnement pris dans son ensemble, des prescriptions supplémentaires peuvent être nécessaires et cet effort a vocation à s'appliquer à l'ensemble des contributeurs. L'outil d'étude de zone a été mis en place à cet effet.

Les « études de zone » sont des études permettant d'évaluer l'impact sur la santé d'un ensemble d'activités, en particulier industrielles. Ces études complètent les études sanitaires demandées individuellement à chaque exploitant industriel en application du Code de l'environnement.

En effet, sur certaines zones géographiques, la concentration d'industries ou d'infrastructures de transport induit un questionnement sur l'impact cumulé des différents émetteurs : les études sanitaires à l'échelle de la zone sont des éléments de réponse apportés à ce questionnement. Elles permettent d'identifier les enjeux sur une zone complexe et constituent un instrument d'appui à la gestion. Elles permettent d'engager une concertation entre les différents acteurs de la zone : les différentes administrations, collectivités, les opérateurs privés et la population.

Dans le cadre de leur deuxième plan Santé Environnement (PRSE), les régions ont été incitées à « identifier et à gérer les zones géographiques pour lesquelles on observe une surexposition à des substances toxiques (Action 32) ». Cette action du PNSE 2 a notamment été déclinée localement *via* la réalisation d'études sanitaires de zone.

Au total, onze études de zone ont été réalisées depuis 2004. Et pourtant les sollicitations émanant des riverains n'ont pas cessé.

# Impacts de la pollution de l'air sur la santé humaine

Par Jorge BOCZKOWSKI

et Sophie LANONE

INSERM et Université Paris Est Créteil

La pollution atmosphérique constitue un risque environnemental majeur pour la santé. Une exposition à des niveaux élevés de pollution atmosphérique entraîne des effets respiratoires, mais aussi au niveau cardiovasculaire ou du système nerveux, notamment. Un important constat est que ces effets dépendent non seulement de la qualité de l'air, mais aussi des sujets concernés et de leur vulnérabilité individuelle (enfants, personnes âgées, patients avec pathologies préalables...). Du point de vue de la santé, les constituants de la pollution atmosphérique le plus souvent associés à des effets délétères sont les polluants gazeux (ozone, dioxyde de soufre, oxydes d'azote...) et les particules. Cependant, l'une des principales difficultés tient à l'extrême complexité du mélange atmosphérique, le développement de dispositifs expérimentaux innovants est donc nécessaire pour mieux appréhender ces effets. Les efforts doivent être poursuivis pour protéger les populations des effets délétères de la pollution de l'air sur leur santé.

## Un peu d'histoire

L'une des premières prises de conscience des effets majeurs de la pollution atmosphérique sur la santé a eu lieu lors d'un épisode survenu à Londres pendant l'hiver 1952 : durant quatre jours au cours du mois de décembre, un épais brouillard industriel s'est abattu sur la ville, et quatre mille décès supplémentaires (par rapport à ceux constatés les années précédentes sur la même période) ont été enregistrés, plus de la moitié ayant des causes respiratoires (Logan, 1953). Depuis, il est estimé qu'environ 90 % de la population urbaine ne respire pas un air sain : l'air inhalé contenant des polluants dont les concentrations sont supérieures aux niveaux de qualité de l'air supposés nocifs pour la santé. La pollution de l'air est maintenant considérée comme un risque environnemental majeur pour la santé.

Rien qu'en France, en 2015, 35 800 décès prématurés ont ainsi pu être attribués à des moyennes annuelles excessives pour les  $PM_{2,5}$ , 9 700 pour le  $NO_2$  et 1 800 pour l' $O_3$  (<https://ec2-34-250-90-82.eu-west-1.compute.amazonaws.com/themes/air/country-fact-sheets/france>). Selon les estimations, les particules fines ( $PM_{2,5}$ ) ont entraîné une réduction de l'espérance de vie de plus de huit mois au sein de l'Union européenne. Au niveau mondial, il a été estimé que les pathologies causées par la pollution ont été responsables de 9 millions de décès prématurés, c'est-à-dire 16 % des décès mondiaux (trois fois plus que le SIDA, la tuberculose et la malaria réunis) (Landrigan, Fuller *et al.*, 2017). La pollution de l'air serait ainsi responsable d'une perte de plus de 3 % de la productivité, par

mort prématurée ou incapacité de travail engendrée par la maladie (Vieira, 2015).

De nombreuses activités humaines sont source d'émission de polluants de l'air : on trouve ainsi la combustion de combustibles fossiles pour la production d'électricité ou les transports, les procédés industriels et l'utilisation de solvants (industrie chimique, minière...), l'agriculture, le traitement des déchets... Par ailleurs, il existe des sources naturelles comme les éruptions volcaniques, les poussières (désertiques) soufflées par le vent, les embruns salins marins et les émissions de composés organiques volatiles issues des plantes. Avec la Révolution industrielle et les Trente Glorieuses, les sources ont évolué dans le temps, et si la pollution atmosphérique tend à diminuer, en valeur absolue, dans les pays occidentaux, son impact sur la santé humaine demeure extrêmement sensible sous l'effet de la diminution des autres causes de mortalité.

## Effets sanitaires de la pollution atmosphérique

De façon générale, du fait de sa position à l'interface avec le milieu extérieur, le système respiratoire est la première cible des polluants atmosphériques, et de nombreuses études épidémiologiques lient des taux de pollution atmosphérique élevés à des effets pulmonaires. Cependant, il est aujourd'hui avéré que les effets de la pollution de l'air sur la santé ne se limitent pas à l'appareil respiratoire, mais vont au-delà : pathologies du système cardiorespiratoire, diabète, cancers, accidents vasculaires cérébraux, issues pathologiques pour la grossesse et le développe-



ment de l'enfant, ainsi que des effets psychiatriques et sur le système nerveux central (Thurston, Kipen *et al.*, 2017).

### Focus sur les effets respiratoires

Les effets respiratoires de la pollution atmosphérique peuvent s'observer à la fois après des pics de pollution (effets aigus) ou comme étant la conséquence de niveaux élevés de polluants sur le long terme (effets chroniques). Ainsi, de nombreuses études épidémiologiques montrent qu'une exposition aiguë à des pics de pollution atmosphérique s'accompagne d'une diminution de la fonction respiratoire chez les patients adultes sains (Berend, 2015).

L'exposition chronique à une pollution élevée s'accompagne, quant à elle, d'une fonction respiratoire diminuée chez l'adulte, ainsi que du développement de cancers pulmonaires (Berend, 2015). La pollution de l'air extérieur a été classée comme cancérigène pour l'homme par l'Organisation internationale de recherche sur le cancer, d'après les résultats d'études épidémiologiques et animales et de données mécanistiques. De plus, il a été rapporté des effets délétères sur la croissance pulmonaire et la fonction respiratoire d'enfants exposés à des taux élevés de pollution atmosphérique (Gauderman, Avol *et al.*, 2004 ; Gauderman, Vora *et al.*, 2007 ; Hwang, Chen *et al.*, 2015).

### Une atteinte multi-organes

La pollution de l'air est très associée à un risque élevé de mortalité due aux maladies cardiovasculaires : infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral (AVC) ou encore hospitalisations pour insuffisance cardiaque. Ainsi, la pollution de l'air serait responsable de 19 % des décès liés à des problèmes cardiovasculaires, 23 % des décès pour cardiopathies ischémiques et 21 % de l'ensemble des AVC (Schraufnagel, Balmes *et al.*, 2019 ; Schraufnagel, Balmes *et al.*, 2019).

Une autre cible de la pollution atmosphérique est le système nerveux central, avec des effets délétères incluant une atteinte des fonctions cognitives, un risque augmenté de démence et d'AVC comme déjà évoqué (populations âgées). Tout comme pour le poumon, la pollution peut altérer le cerveau en développement, ce qui a des conséquences potentiellement importantes au niveau cognitif. Ainsi, une exposition précoce à des niveaux élevés de  $PM_{2,5}$  est souvent associée à un retard de développement psychomoteur et à des scores d'intelligence plus bas (Schraufnagel, Balmes *et al.*, 2019). Un lien entre autisme et exposition à des niveaux exagérés de pollution atmosphérique (particulièrement PM, CO,  $NO_2$ ,  $O_3$  ou  $SO_2$  pendant la vie prénatale ou en tout début de vie) est fortement suggéré (même s'il n'est pas encore avéré), que ce soit par des études cliniques ou expérimentales.

Finalement, les atteintes métaboliques, avec le diabète, l'obésité ou encore les maladies endocrines, représentent d'autres conséquences sanitaires assez bien documentées d'exposition à la pollution atmosphérique. Ainsi, des niveaux élevés de  $PM_{2,5}$  ou de  $NO_2$  sont associés à une prévalence accrue du diabète, et à une morbidité et mortalité liées elles aussi plus importantes.

D'autres organes, comme les yeux, le foie, le tractus intestinal ou encore les reins sont des cibles potentielles de la pollution atmosphérique, mais la littérature reste moins développée sur le sujet.

### Les populations à risque

Un important constat émanant de l'analyse globale de la littérature est que les effets de la pollution atmosphérique sur la santé dépendent non seulement de la qualité de l'air, mais également des sujets concernés et de leur vulnérabilité individuelle. En effet, il apparaît que les patients présentant un état morbide (asthme, broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO), mucoviscidose, obésité...) ont une susceptibilité particulière à la pollution (Berend, 2015 ; Sack et Goss, 2015 ; Landrigan, Fuller *et al.*, 2017).

Chez les patients atteints de mucoviscidose, seules quelques études épidémiologiques se sont pour le moment intéressées à la question. Elles ont montré une augmentation de leur morbidité après des expositions aiguës ou chroniques à la pollution atmosphérique ou à certains de ses constituants. Goss et collaborateurs ont ainsi été les premiers à montrer une augmentation du nombre d'exacerbations associées à des expositions à long terme à des  $PM_{10}$  (particules de diamètre inférieur à 10  $\mu m$ ), des  $PM_{2,5}$  (diamètre compris entre 0,1 et 2,5  $\mu m$ ) ou encore à l'ozone ( $O_3$ ), ainsi qu'une atteinte de la fonction respiratoire en réponse à une concentration élevée en  $PM_{2,5}$  (Goss, Newsom *et al.*, 2004). De la même façon, une exposition aiguë à de fortes concentrations de  $PM_{10}$ , d'ozone ou de  $NO_2$  a été associée à une augmentation de l'utilisation d'antibiotiques, avec un risque augmenté du nombre d'exacerbations chez les patients présentant une mucoviscidose (Farhat, Almeida *et al.*, 2013 ; Goeminne, Kicinski *et al.*, 2013). Plus récemment, Psoter *et al.* ont montré que l'acquisition initiale de *Pseudomonas aeruginosa* et de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline est augmentée chez les patients souffrant de mucoviscidose « exposés » à des taux élevés de  $PM_{2,5}$  au cours de l'année précédant leur naissance (Psoter, De Roos *et al.*, 2015 ; Psoter, De Roos *et al.*, 2017). Ces effets de la pollution atmosphérique peuvent se traduire par des atteintes fonctionnelles, puisqu'une étude récente a montré qu'une diminution de la fonction pulmonaire chez l'enfant (6-8 ans) atteint de mucoviscidose est associée à une fonction pulmonaire plus basse à l'adolescence, et cela de façon partiellement indépendante des infections à *Pseudomonas aeruginosa* avant l'âge de six ans, souvent présentées comme caractéristiques centrales de la physiopathologie de la maladie (Pittman, Noah *et al.*, 2017).

Les enfants représentent une population particulièrement à risque en ce qui concerne les expositions à la pollution atmosphérique, et ce pour des raisons aussi bien anatomiques qu'environnementales. En effet, les enfants respirent plus d'air rapporté à l'unité de masse corporelle, et, de ce fait, inhalent plus de composés toxiques qu'un adulte exposé à la même quantité de polluants de l'air. De plus, dans de nombreuses régions du globe où la pollution de l'air intérieur est alimentée par certains modes de cuisson et de chauffage (biomasse), les (très) jeunes enfants qui restent avec leur mère sont particulièrement





Enfant dans une poussette portant un masque anti-pollution.

« Les enfants représentent une population particulièrement à risque en ce qui concerne les expositions à la pollution atmosphérique, et ce pour des raisons aussi bien anatomiques qu'environnementales. »

exposés. En outre, du fait de leurs activités extérieures, les enfants sont encore plus particulièrement exposés à la pollution de l'air, en raison d'une activité physique souvent plus importante que celle des adultes, ce qui les conduit à respirer plus d'air (pollué) que leurs aînés.

Un autre facteur de susceptibilité important quand on considère les effets sur la santé de la pollution atmosphérique est la fenêtre d'exposition (en termes d'âge), qui reste encore peu étudiée à l'heure actuelle. Des études récentes suggèrent en effet qu'une exposition à la pollution pendant la période intra-utérine pourrait avoir des conséquences délétères sur la croissance fœtale et le développement futur de l'enfant – diminution du poids à la naissance, risque accru d'une naissance prématurée... (Vieira, 2015). De plus, il existe des effets décrits comme concernant plus spécifiquement la santé respiratoire des enfants ainsi exposés *in utero* : association positive de la pollution avec le nombre de jours durant lesquels il y a occurrence d'épisodes de sifflement à l'âge de deux ans, ainsi qu'une association positive avec la prévalence de l'asthme ou encore avec une fonction respiratoire diminuée à l'adolescence (Vieira, 2015). Ces données sont particulièrement importantes dans le contexte du paradigme des origines développementales de la santé et des maladies (*Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD) paradigm*) ; il est en effet de plus en plus accepté que la survenue de pathologies pulmonaires à l'âge adulte peut

avoir comme origines des agressions environnementales précoces (Stocks, Hislop *et al.*, 2013 ; Heindel, Balbus *et al.*, 2015 ; Postma, Bush *et al.*, 2015). Ainsi, des études récentes suggèrent, par exemple, que les sujets entrant dans la vie adulte avec une croissance incomplète de leurs poumons présentent un risque accru de développer une BPCO, et ce même en l'absence d'un déclin rapide de la fonction respiratoire à l'âge adulte (Stocks, Hislop *et al.*, 2013). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les enfants ne sont pas matures anatomiquement parlant au niveau pulmonaire ; ainsi, les nouveau-nés naissent avec seulement 20 % du nombre total des alvéoles pulmonaires qu'ils auront développés à l'âge adulte.

## Quelques éléments de réflexion

### Polluants considérés vs complexité des polluants

L'un des principaux défis qui se pose dans le contexte de l'étude des effets sur la santé de la pollution atmosphérique résulte de l'extrême complexité du mélange atmosphérique : en n'importe quel point de l'espace, des milliers d'espèces de polluants présentant une diversité chimique des plus riches coexistent à des concentrations allant du ppm au ppt, produisant ainsi une réactivité chimique instantanée qu'il est impossible d'estimer avec les méthodes classiques de la chimie organique. De plus, cette réactivité connaît une forte modulation avec le temps du fait de la transformation rapide de nombreuses espèces sur

des échelles temporelles allant de la seconde à la minute. La pollution atmosphérique est ainsi constituée d'un mélange complexe de plusieurs milliers de composants qui peuvent être soit primaires (générés principalement à partir de la combustion d'énergies fossiles par des véhicules à moteur ou des procédés industriels, par les activités domestiques ou commerciales...), soit secondaires (formés à partir de la réaction de polluants primaires sous l'effet de la lumière du soleil, ou de l'oxygène, l'eau ou d'autres éléments chimiques contenus dans l'atmosphère).

### L'apport des études expérimentales

Du point de vue de la santé, les constituants de la pollution atmosphérique le plus souvent associés à des effets délétères sont les polluants gazeux (ozone (O<sub>3</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NOx), les composés organiques volatils (COV), dont le benzène,...) et les particules (PM). On distingue principalement trois classes de PM, catégorisées selon leur taille : grossières (PM<sub>10</sub>, de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm), fines (PM<sub>2,5</sub>, de diamètre compris entre 0,1 et 2,5 µm) et enfin les ultrafines (PM<sub>0,1</sub>, de diamètre inférieur à 0,1 µm) (Amato, Cassee *et al.*, 2014). Cependant, la pertinence d'une telle approche basée sur l'étude des composants isolés de la pollution est amoindrie du fait de l'absence de la prise en considération de la synergie suspectée entre les différents constituants de la pollution atmosphérique. Afin de pallier cet écueil, une approche « classique » adoptée pour étudier les effets de la pollution de l'air sur la santé est d'exposer des organismes vivants à l'air extérieur. Cependant, la principale limite de cette approche tient à la diversité des taux de pollution auxquels les organismes peuvent être exposés, du fait de la haute variabilité temporelle de l'émission, de la météorologie et de la dispersion atmosphérique, ainsi que de l'impossibilité de contrôler finement les conditions expérimentales, ou de déterminer les conditions nécessaires à des études reproductibles. Une approche alternative est de proposer des « exposomes », c'est-à-dire de simuler de façon réaliste, en laboratoire, un mélange atmosphérique dans toute sa complexité. Dans ce contexte, et afin d'étudier la myriade de produits résultant de l'oxydation atmosphérique de composés organiques primaires, les chimistes de l'environnement ont développé des photo-réacteurs largement suréquipés, au travers de protocoles qui permettent de mimer les conditions atmosphériques : rayonnement solaire, concentrations maîtrisées, aérosols primaires injectés, formation des aérosols secondaires... Ce sont les chambres de simulation atmosphérique.

### Conclusion

La pollution de l'air constitue un facteur de risque majeur pour la santé, non seulement au niveau respiratoire, mais également au niveau de divers organes et systèmes, comme le système cardiovasculaire ou le système nerveux. Diverses populations sont particulièrement susceptibles à ces effets (entre autres, les enfants et les patients présentant des pathologies préalables). La connaissance des mécanismes intimes de ces effets doit encore pro-

gresser, et des dispositifs expérimentaux innovants sont nécessaires pour aller dans cette direction. Quoi qu'il en soit, il est indéniable que les efforts doivent être poursuivis et même amplifiés pour protéger les populations des effets délétères de la pollution de l'air sur leur santé.

### Bibliographie

- AMATO F., CASSEE F. R., DENIER VAN DER GON H. A., GEHRIG R., GUSTAFSSON M., HAFNER W., HARRISON R. M., JOZWICKA M., KELLY F. J., MORENO T., PREVOT A. S., SCHAAP M., SUNYER J. & QUEROL X. (2014), "Urban air quality: the challenge of traffic non-exhaust emissions", *J Hazard Mater* 275, pp. 31-36.
- BEREND N. (2015), "Contribution of air pollution to COPD and small airway dysfunction", *Respirology*.
- FARHAT S. C. L., ALMEIDA M. B., SILVA-FILHO L., FARHAT J., RODRIGUES J. C. & BRAGA A. L. F. (2013), "Ozone is associated with an increased risk of respiratory exacerbations in patients with cystic fibrosis", *Chest* 144(4), pp. 1186-1192.
- GAUDERMAN W. J., AVOL E., GILLILAND F., VORA H., THOMAS D., BERHANE K., McCONNELL R., KUENZLI N., LURMANN F., RAPPAPORT E., MARGOLIS H., BATES D. & PETERS J. (2004), "The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age", *N Engl J Med* 351(11), pp. 1057-1067.
- GAUDERMAN W. J., VORA H., McCONNELL R., BERHANE K., GILLILAND F., THOMAS D., LURMANN F., AVOL E., KUNZLI N., JERRETT M. & PETERS J. (2007), "Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study", *The Lancet* 369(9561), pp. 571-577.
- GOEMINNE P. C., KICINSKI M., VERMEULEN F., FIERENS F., DE BOECK K., NEMERY B., NAWROT T. S. & DUPONT L. J. (2013), "Impact of air pollution on cystic fibrosis pulmonary exacerbations: a case-crossover analysis", *Chest* 143(4), pp. 946-954.
- GOSS C., NEWSOM S., SCHILDCROUT J., SHEPPARD L. & KAUFMAN J. (2004), "Effect of ambient air pollution on pulmonary exacerbations and lung function in cystic fibrosis", *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 169, pp. 816-821.
- HEINDEL J. J., BALBUS J., BIRNBAUM L., BRUNE-DRISSE M. N., GRANDJEAN P., GRAY K., LANDRIGAN P. J., SLY P. D., SUK W., CORY SLECHTA D., THOMPSON C. & HANSON M. (2015), "Developmental Origins of Health and Disease: Integrating Environmental Influences", *Endocrinology* 156(10), pp. 3416-3421.
- HWANG B. F., CHEN Y. H., LIN Y. T., WU X. T. & LEO LEE Y. (2015), "Relationship between exposure to fine particulates and ozone and reduced lung function in children", *Environ Res* 137, pp. 382-390.
- LANDRIGAN P. J., FULLER R., ACOSTA N. J. R., ADEYI O., ARNOLD R., BASU N., BALDÉ A. B., BERTOLLINI R., BOSE-O'REILLY S., BOUFFORD J. I., BREYSSE P. N., CHILES T., MAHIDOL C., COLL-SECK A. M., CROPPER M. L., FOBIL J., FUSTER V., GREENSTONE M., HAINES A., HANRAHAN D., HUNTER D., KHARE M., KRUPNICK A., LANPHEAR B., LOHANI B., MARTIN K., MATHIASSEN K. V., McTEER M. A., MURRAY C. J. L., NDAHIMANANJARA J. D., PERERA F., POTOČNIK J., PREKER A. S., RAMESH J., ROCKSTRÖM J., SALINAS C., SAMSON L. D., SANDILYA K., SLY P. D., SMITH K. R., STEINER A., STEWART R. B., SUK W. A., VAN SCHAYCK O. C. P., YADAMA G. N., YUMKELLA K. & ZHONG M. (2017), "The Lancet Commission on pollution and health", *The Lancet*.
- LOGAN W. P. (1953), "Mortality in the london fog incident, 1952", *Lancet* 1(7), pp. 336-338.
- PITTMAN J. E., NOAH H., CALLOWAY H. E., DAVIS S. D., LEIGH M. W., DRUMM M., SAGEL S. D., ACCURSO F. J., KNOWLES

- M. R. & SONTAG M. K. (2017), "Early childhood lung function is a stronger predictor of adolescent lung function in cystic fibrosis than early *Pseudomonas aeruginosa* infection", *PLOS ONE* 12(5), e0177215.
- POSTMA D. S., BUSH A. & VAN DEN BERGE M. (2015), "Risk factors and early origins of chronic obstructive pulmonary disease", *The Lancet* 385, pp. 899-909.
- PSOTER K. J., DE ROOS A. J., MAYER J. D., KAUFMAN J. D., WAKEFIELD J. & ROSENFELD M. (2015), "Fine particulate matter exposure and initial *Pseudomonas aeruginosa* acquisition in cystic fibrosis", *Ann Am Thorac Soc* 12(3), pp. 385-391.
- PSOTER K. J., DE ROOS A. J., WAKEFIELD J., MAYER J. D. & ROSENFELD M. (2017), "Air pollution exposure is associated with MRSA acquisition in young U.S. children with cystic fibrosis", *BMC Pulm Med* 17(1), pp. 106.
- SACK C. & GOSS C. H. (2015), "It Starts at the Beginning: Effect of Particulate Matter In Utero", *Am J Respir Crit Care Med* 192(9), pp. 1025-1026.
- SCHRAUFNAGEL D. E., BALMES J. R., COWL C. T., DE MATTEIS S., JUNG S.-H., MORTIMER K., PEREZ-PADILLA R., RICE M. B., RIOJAS-RODRIGUEZ H., SOOD A., THURSTON G. D., TO T., VANKER A. & WUEBBLES D. J. (2019), "Air Pollution and Non-communicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies 2019; Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution", *CHEST* 155(2), pp. 409-416.
- SCHRAUFNAGEL D. E., BALMES J. R., COWL C. T., DE MATTEIS S., JUNG S.-H., MORTIMER K., PEREZ-PADILLA R., RICE M. B., RIOJAS-RODRIGUEZ H., SOOD A., THURSTON G. D., TO T., VANKER A. & WUEBBLES D. J. (2019), "Air Pollution and Non-communicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies 2019; Environmental Committee, Part 2: Air Pollution and Organ Systems", *CHEST* 155(2), pp. 417-426.
- STOCKS J., HISLOP A. & SONNAPPA S. (2013), "Early lung development: lifelong effect on respiratory health and disease", *The Lancet Respiratory Medicine* 1(9), pp. 728-742.
- THURSTON G. D., KIPEN H., ANNESI-MAESANO I., BALMES J., BROOK R. D., CROMAR K., DE MATTEIS S., FORASTIERE F., FORSBERG B., FRAMPTON M. W., GRIGG J., HEEDERIK D., KELLY F. J., KUENZLI N., LAUMBACH R., PETERS A., RAJAGOPALAN S. T., RICH D., RITZ B., SAMET J. M., SANDSTROM T., SIGSGAARD T., SUNYER J. & BRUNEKREEF B. (2017), "A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework", *Eur Respir J* 49(1).
- VIEIRA S. E. (2015), "The health burden of pollution: the impact of prenatal exposure to air pollutants", *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 10, pp. 1111-1121.

# Les points à renforcer en matière de lutte contre la pollution de l'air

Par Charlotte LEPITRE  
France Nature Environnement

Bien que la pollution de l'air soit reconnue comme un vrai sujet de société et comme un risque sanitaire et environnemental, de nombreux points restent à renforcer afin d'amoindrir cette menace. À commencer par la surveillance qui nous permet d'identifier les polluants ainsi que les sources d'émissions, ce qui permet par la suite de guider la recherche, mais également la communication et l'action. En effet, un fort besoin de renforcement de l'information se fait sentir. Fournir les bonnes informations et des clés de lecture adaptées à la cible permet de sensibiliser, mais également d'inciter à l'action. L'objectif principal lorsque nous faisons face à une menace est au mieux de l'éliminer ou tout du moins de la réduire. Une fois les données acquises et la prise de conscience effective, l'étape qui suit est d'agir pour obtenir une réduction de la source des émissions ou du moins de l'exposition. Avec un renforcement de la surveillance, de l'information et une volonté solide des différents acteurs concernés, une véritable politique de réduction de la pollution de l'air ne peut dès lors pas faillir.

En 2013, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) classe la qualité de l'air extérieur comme cancérigène certain pour l'homme<sup>(1)</sup>. La loi du 12 juillet 2010 portant sur l'engagement national pour l'environnement a rendu obligatoire la surveillance périodique de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public. Mais, en 2014, est annoncée la simplification du dispositif initialement prévu. En 2016, une étude sur la pollution de l'air réalisée par Santé Publique France a conduit à la considérer comme la troisième cause de mortalité en France<sup>(2)</sup>. En 2019, Santé Publique France met à jour les données sanitaires liées à l'alcool, ce qui l'amène à revoir ce classement : la pollution de l'air serait, en fait, la deuxième cause de mortalité en France après le tabac, mais avant l'alcool<sup>(3)</sup>. En 2019, des chercheurs allemands publient une étude au niveau européen, dans laquelle ils annoncent que les impacts sanitaires liés à la pollution de l'air sont bien plus importants qu'estimés auparavant (Lelieveld *et al.*, 2019<sup>(4)</sup>). La qualité de l'air est un sujet en constante évolution qui est l'objet de vifs débats.

## La surveillance

La surveillance de la qualité de l'air est l'un des sujets les plus débattus. Qu'est-ce que l'on surveille, où, à quelle fréquence, comment... ?

Dans chaque région (métropolitaine, DOM/TOM/POM), les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) procèdent à la surveillance de la qualité de l'air ambiant. Il existe également l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), qui collecte toutes les données concernant l'air intérieur.

La France est tenue de rapporter à l'Europe les résultats des mesures opérées tout au long de l'année des polluants réglementés. Pour effectuer cette surveillance, les organismes compétents sont équipés d'appareils de mesure fixes et de stations de mesure parfois mobiles. Leurs emplacements sont réglementés et validés, l'entretien et le calibrage des appareils sont réguliers.

Mais qu'en est-il des lieux non surveillés, non équipés, et des polluants non réglementés et/ou non surveillés ? Quel est l'objectif de la surveillance ? Est-ce la transmission de données à l'échelle de l'Europe, de donner l'alerte en cas de pic ou de fournir de l'information aux citoyens ? Ou est-ce de guider l'action au travers de mesures et d'indicateurs pour réduire la pollution de l'air ?

Les AASQA surveillent les polluants réglementés selon le cadre fixé par le dispositif réglementaire français de surveillance de la qualité de l'air, soit : les particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>), le dioxyde d'azote et de soufre, l'ozone,

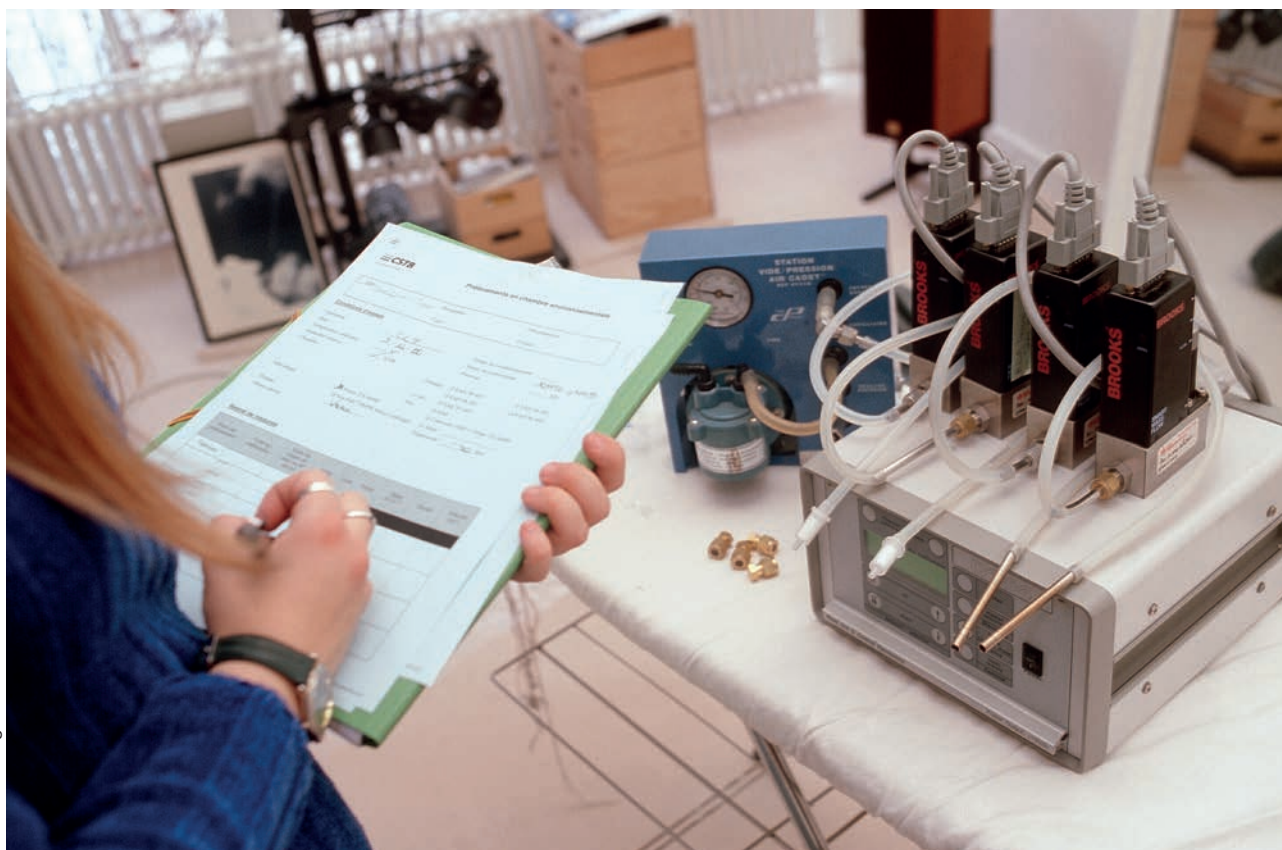
(1) <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>

(2) <http://www.santepubliquefrance.fr/Accueil-Presses/Tous-les-communiqués/Impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-en-France-nouvelles-donnees-et-perspectives>

(3) [http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/5-6/2019\\_5-6\\_2.html](http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2019/5-6/2019_5-6_2.html)

(4) LELIEVELD J. *et al.* (2019), "Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions", *European Heart Journal*, Vol. 40, Issue 20, pp. 1590-1596, <https://academic.oup.com/eurheartj/article/40/20/1590/5372326>





Analyse de prélèvements en vue de déterminer les polluants gazeux présents dans l'air.

« Les AASQA surveillent les polluants réglementés selon le cadre fixé par le dispositif réglementaire français de surveillance de la qualité de l'air, soit : les particules fines (PM10 et PM2.5), le dioxyde d'azote et de soufre, l'ozone, le plomb, l'arsenic, le cadmium, le nickel, le mercure, le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). »

le plomb, l'arsenic, le cadmium, le nickel, le mercure, le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Toutefois, la réglementation n'évolue pas toujours au même rythme que les préoccupations territoriales. Ainsi, les AASQA peuvent surveiller volontairement des gaz à effet de serre, les pesticides, les particules ultrafines, l'air intérieur... De plus, le développement des connaissances scientifiques sur les impacts sanitaires de certains polluants ou la préoccupation citoyenne vis-à-vis des émissions de certaines activités peuvent générer des demandes de surveillance supplémentaires. Ainsi, en 2018, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (l'Anses) a publié un avis listant plusieurs polluants qu'il faudrait surveiller<sup>(5)</sup>. Certaines associations, comme France Nature Environnement, jouent pleinement leur rôle de lanceurs d'alerte pour ce qui est de certains secteurs émetteurs « oubliés », comme le transport maritime ou l'agriculture.

Le débat porte moins sur le renforcement de la surveillance que sur les moyens nécessaires pour assurer une surveillance accrue et pérenne. Développer la surveillance

permet d'alimenter la recherche et les connaissances scientifiques en apportant des données sur l'état des lieux et les sources des émissions ; globalement, les différents acteurs s'accordent pour l'encourager. Le budget alloué à la surveillance est un grand sujet d'inquiétude. Les fonds publics s'amenuisent et la taxe générale sur les activités polluantes, due par les entreprises dont l'activité ou les produits sont considérés comme polluants, est sous la menace d'une suppression. Il s'agit d'un point peu abordé, même lorsque l'on prévoit la pérennisation de la surveillance des pesticides dans l'air dans l'élaboration de plans comme le PREPA (Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques).

### Communiquer des données

À la suite de la surveillance vient la communication. Mais quelles informations communiquer, et à qui et comment ? Il existe deux grands types de cibles : les décideurs, afin d'engager des politiques d'action, et les citoyens, en tenant compte de l'interprétation qui peut être faite des données par ceux-ci ou les médias. Certains acteurs considèrent qu'une communication couvrant tout le champ de la surveillance serait anxiogène pour les citoyens. D'autres considèrent que le manque de transparence et d'information est anxiogène en soi. Ce qui ressort majoritairement

(5) <https://www.anses.fr/fr/content/qualit%C3%A9-de-l%E2%80%99air-ext%C3%A9rieur>



des échanges et des besoins est le souhait de disposer d'une communication complète mais vulgarisée, afin de faciliter son appropriation et sa transmission. La communication devrait également inclure les moyens à la disposition des élus ou des secteurs émetteurs pour limiter les émissions, mais également les mesures qui permettraient à chacun de limiter son exposition.

L'aspect communication sur le sujet de la qualité de l'air a pris une nouvelle dimension dernièrement avec l'arrivée sur le marché de micro-capteurs portatifs individuels. Ces appareils d'un prix abordable, pratiques et d'emploi vulgarisé permettent à chacun de nous de mesurer à tout moment la concentration de quelques polluants. Leurs intérêts sont multiples, allant de la prise de conscience à l'outil dynamique de sensibilisation. Toutefois, leur fiabilité et l'interprétation qui est parfois faite des résultats sont régulièrement remises en cause. L'engouement pour ces capteurs montre le besoin d'information et l'intérêt porté à la surveillance et à la collecte de données. Les micro-capteurs permettent d'obtenir des données certes moins fiables, mais en revanche très localisées. Quadriller très précisément le territoire avec ces micro-capteurs est attractif pour les citoyens. Il n'est malheureusement pas envisageable d'avoir une surveillance agréée aussi localisée sur tout le territoire que ce qu'offrent les micro-capteurs. Toutefois, un renforcement des financements de la surveillance permettrait d'assurer une meilleure observation d'une liste plus diversifiée de polluants. Les citoyens pourront ainsi utiliser les micro-capteurs comme outils indicatifs complémentaires aux données officielles des AASQA. Bien que les micro-capteurs soient d'excellents outils de sensibilisation, une étude de l'ADEME montre qu'ils ne suffisent pas à influencer la mise en œuvre d'actions pérennes visant à moins polluer et/ou à être moins exposé.

## Prévention et atténuation

En 2018, la Commission a annoncé le renvoi de la France et de cinq autres États membres devant la Cour de justice européenne pour manquement à leurs obligations en matière de lutte contre la pollution de l'air<sup>(6)</sup>. La France se doit de mettre en place des politiques d'actions concrètes afin de réduire ses émissions.

Disposer de plus de connaissances sur les émissions, les sources et les impacts sanitaires permet également d'identifier les moyens d'une réduction de ces émissions et d'atténuer notre exposition. Cela devrait être la première préoccupation de tous et être érigé en priorité internationale : réduire les sources d'émission dans l'objectif de minorer l'exposition de chacun de nous. Dans l'objectif de renforcer l'action, deux sujets de débat sont soulevés.

Le premier est d'identifier qui doit agir et dans quel cadre. La multiplication des plans, programmes et stratégies ne permet pas d'identifier clairement les objectifs, le calendrier et les actions nécessaires pour les atteindre. L'ab-

sence d'une politique nationale ambitieuse sur la qualité de l'air laisse place à une grande liberté, flexibilité et à beaucoup de mesures volontaires. Les mesures impératives pour atteindre les objectifs réglementaires se trouvent noyées par tous les plans ou programmes voulant faire œuvre de volonté politique, mais qui sont en réalité non contraignants et non contrôlés. Il est urgent de renforcer la politique de la qualité de l'air du gouvernement afin de coordonner et d'accompagner la mise en œuvre de mesures permettant de réduire les émissions atmosphériques.

Le deuxième débat concerne le type de mesures à mettre en œuvre. Aujourd'hui, la technologie peut permettre la réduction des émissions grâce à des catalyseurs ou à des filtres, par exemple. Certains acteurs toutefois donnent l'alerte soit sur l'absence d'une approche intégrée, ce qui veut dire que ces technologies peuvent avoir un impact négatif sur le climat ou sur la qualité de l'eau, soit sur le principe de l'utilisation de certaines technologies. Dans certains cas, l'utilisation de certaines d'entre elles revient à faire le choix de la facilité par rapport à un nécessaire changement de modèle. Un exemple par excellence de freins liés à l'emploi de certaines technologies est celui de l'utilisation d'un scrubber (filtre) sur les navires : bien que les scrubbers limitent considérablement les émissions atmosphériques des navires, ils rejettent des eaux polluées dans les océans et les mers et n'incitent donc pas les armateurs à s'orienter vers des carburants moins polluants. Dans d'autres cas, l'utilisation de certaines technologies n'est pas aussi efficace que le laisse penser le *marketing*. Prenons l'exemple des épurateurs d'air intérieur, leur efficacité théorique, en laboratoire, ne garantit pas une efficacité effective, car ce sont les conditions de leur mise en œuvre qui sont déterminantes. Un mauvais entretien peut même mener à des émissions de composés organiques volatils (COV) nocifs pour la santé.

Un aspect sous-estimé mais qui permettrait de réellement renforcer l'action à court terme est de s'inspirer des mesures qui fonctionnent dans les pays voisins. Il faut renforcer le partage entre les territoires et les pays afin que tous, nous avançons vers une réduction des émissions et des expositions.

## La confiance

Renforcer la confiance est un élément clé qui permettra d'améliorer la surveillance, la connaissance, la communication, tout comme l'action. La confiance des pouvoirs publics et décideurs politiques dans le fait que nous pouvons agir pour améliorer la situation, que nous pouvons réduire nos émissions et sauver des vies. Rappelons que lorsque les volontés politiques s'alignent, ou lorsqu'il y a une véritable coopération internationale, les objectifs peuvent être atteints. Cela a été fait pour réduire les pluies acides, par exemple. Renforcer la confiance des secteurs émetteurs sur le fait qu'ils peuvent mettre en place des mesures rentables, efficaces et cobénéfiques pour le climat, l'énergie, etc. Rétablir ou consolider la confiance du grand public que plusieurs scandales ont pu ébranler : le dieselgate, les boîtiers des poids lourds, les « fuites » industrielles, la révision de la valeur toxicologique de ré-

(6) [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-3450\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3450_fr.htm)

férence du formaldéhyde valable seulement dans les cas d'exposition aiguë et non chronique... Afin d'obtenir le soutien et la coopération des citoyens, il est nécessaire de travailler sur une communication améliorée et sur une plus grande transparence sur les faits. Il est nécessaire de prendre également en considération les inquiétudes et tous les signaux, même les plus faibles. Depuis quelques

années, il y a une véritable attente concernant la mise en place d'actions qui prennent en compte les inégalités sociales.

Si nous arrivons à renforcer nos moyens et notre volonté d'agir de manière intégrée et transversale, alors nous pourrions atteindre les objectifs de l'OMS.

# Politiques publiques européennes

Par Daniel CALLEJA CRESPO

Directeur général de l'Environnement de la Commission européenne

Chaque année, la pollution de l'air ambiant provoque plus de 4 millions de décès dans le monde. En Europe, cette pollution emporte quatre cent mille citoyens par an, et elle aggrave des maladies chroniques, telles que l'asthme, les problèmes cardiovasculaires et le cancer du poumon. La pollution a aussi un coût très élevé, environ 24 milliards d'euros par an à l'échelle de l'Union européenne en dépenses de santé, journées de travail perdues et dommages aux cultures et aux bâtiments.

Que fait l'Union européenne pour lutter contre ce fléau omniprésent ? Quelle est la part de responsabilité de la France ? Et comment agit, notamment, la gardienne des traités européens – la Commission européenne – pour protéger les citoyens à l'échelle européenne ? Dans cet article, Daniel Calleja Crespo, directeur général de l'Environnement à la Commission européenne, retrace l'histoire de ce dossier sensible, et dévoile les dessous des infractions à la loi européenne, qui concernent aujourd'hui une vingtaine d'États membres.

## Le problème

Partout dans le monde, la pollution atmosphérique constitue une menace omniprésente. Même si elle est souvent invisible et que les coûts en sont également cachés, la réalité de ses conséquences est indéniable.

En 2016, l'OMS estimait à environ 4,2 millions le nombre de décès provoqués par la pollution de l'air ambiant. La pollution atmosphérique continue d'être responsable d'environ quatre cent mille décès prématurés par an dans l'Union européenne. Elle entraîne également l'apparition de maladies chroniques et de maladies graves, telles que l'asthme, les problèmes cardiovasculaires et le cancer du poumon. Cet air pollué coûte très cher à la société – environ 24 milliards d'euros par an de coûts directs à l'échelle de l'Union européenne, dus, par exemple, aux dépenses de santé, aux journées de travail perdues et aux dégâts infligés aux cultures et aux bâtiments.

C'est en zone urbaine que les effets sur la santé sont les plus graves, en raison de la présence de polluants, tels que les particules, le dioxyde d'azote et l'ozone troposphérique.

Les particules sont une préoccupation majeure. Comme l'indique l'Agence européenne pour l'environnement dans son rapport intitulé « Air Quality in Europe » (Qualité de l'air en Europe) publié en 2018, les concentrations de particules dépassent toujours les valeurs limites de l'Union sur l'ensemble du continent. Les valeurs concernant les particules établies dans les lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air, lesquelles adoptent une vision à plus long terme et sont plus strictes, n'étaient pas respectées (relevés des stations de surveillance) dans près de la moitié des pays cités dans le rapport, exception faite de l'Es-

tonie et de l'Irlande. En ce qui concerne les particules fines (d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres), deux tiers des stations ont enregistré des dépassements. Tandis qu'en 2016, 13 % de la population urbaine dans l'Union était exposée à des niveaux de particules supérieurs à la limite quotidienne fixée par l'Union, environ 42 % subissaient des concentrations supérieures à la valeur, plus stricte, établie par l'OMS.

En ce qui concerne l'ozone, selon les données les plus récentes, qui datent de 2017, près de 17 % de la population urbaine des 27 États membres de l'Union a été exposée à des concentrations supérieures à la valeur cible seuil de l'Union. Cependant, selon les valeurs de l'OMS, 98 % de la population urbaine a été exposée à des niveaux d'ozone excessifs et ce chiffre a peu varié au cours des quinze dernières années.

La valeur limite annuelle de dioxyde d'azote est également largement dépassée dans plus de cent trente villes dans l'Union. Bien que les concentrations et l'exposition diminuent au fil du temps, elles demeurent particulièrement préoccupantes.

Les problèmes ne se limitent pas à la santé publique : la pollution atmosphérique cause également des dommages à la végétation et aux écosystèmes. L'ozone, l'ammoniac et les oxydes d'azote sont néfastes pour la végétation, l'eau et les sols, et ont des effets négatifs sur les services écosystémiques dont nous dépendons. Les agriculteurs ne sont pas épargnés du fait que la pollution atmosphérique, notamment l'ozone, affecte les récoltes, diminuant ainsi le rendement des cultures.





Forêt détruite par des pluies acides, près de la ville de Norilsk, en Sibérie (Russie).

« La pollution atmosphérique cause également des dommages à la végétation et aux écosystèmes. L’ozone, l’ammoniac et les oxydes d’azote sont néfastes pour la végétation, l’eau et les sols, et ont des effets négatifs sur les services écosystémiques dont nous dépendons. »

### Comment la Commission lutte-t-elle contre ce problème ?

Malgré ces statistiques alarmantes, la situation s’améliore. Le *smog* du passé s’est en grande partie dissipé. Les pluies acides ont diminué radicalement et les substances les plus polluantes font l’objet d’une étroite surveillance et sont gérées de manière systématique. La législation de l’Union européenne relative à la qualité de l’air a joué un rôle essentiel dans ces changements. Les normes et les cibles communes ainsi que la mutualisation des ressources et de l’expertise ont abouti à des progrès significatifs. Toutes les émissions de polluants atmosphériques faisant l’objet d’une surveillance ont diminué de

manière constante au cours des dernières décennies, les émissions d’oxyde de soufre ayant même baissé de 70 % depuis 2000.

Pour obtenir ces résultats, et en considération de l’ambition de l’Union de construire *une Europe qui protège*, la Commission européenne a recouru à un large éventail d’outils. Il y a des textes législatifs, qui visent à mesurer la qualité de l’air, à plafonner et à contrôler les sources d’émissions et à garantir, le cas échéant, l’application de mesures correctives. Il existe des règles spécifiques permettant de lutter contre les principales sources d’émission dans l’agriculture, l’industrie et les transports. La Commission offre son expertise et ses conseils aux États



membres et aux entreprises qui déploient des efforts ; elle favorise les investissements en matière d'assainissement de l'air et, lorsque les États membres n'agissent pas, elle leur demande des comptes.

Il s'agit, en bref, d'un domaine d'action qui ne s'assouplit jamais. Le cadre juridique est solide et complet, mais la législation en soi ne suffit pas. Il faut encore l'appliquer, et c'est là que le bât blesse. L'une des principales missions de la Commission est dès lors de surveiller dans quelle mesure les États membres respectent leurs obligations juridiques, et d'intervenir s'ils manquent à plusieurs reprises à leurs engagements en vertu du droit de l'Union. Le défaut de protection des citoyens contre l'exposition à des substances dangereuses peut entraîner le renvoi d'un État membre devant la Cour de justice et l'expose à un risque réel d'amende. Au moment de la rédaction du présent document, diverses procédures d'infraction engagées par la Commission sont en cours, à divers stades, contre vingt États membres pour des manquements liés à la pollution atmosphérique, dans certains cas en raison d'un dépassement des valeurs limites qui perdure depuis plus de dix ans.

Même si la législation a résisté à l'épreuve du temps, nous approfondissons constamment nos connaissances. Compte tenu de ces évolutions, le véritable défi est de faire en sorte que la législation reste pertinente, moderne et actuelle, et qu'elle offre la protection nécessaire de la manière la plus efficace et adaptée possible. Le cadre d'action concerné a donc fait l'objet d'une minutieuse évaluation des performances au cours des dernières années. Cette initiative a été l'occasion de vérifier dans quelle mesure notre législation restait adaptée à l'objectif poursuivi. Elle s'est également révélée utile pour les consultations et les discussions menées avec nos principales parties prenantes en vue de recueillir leurs points de vue. La rédaction du rapport rendant compte de ces échanges sera bientôt achevée.

Les travaux législatifs et de contrôle de l'application de la législation font partie des secteurs qui sont au cœur de notre action, mais il existe de nombreuses autres façons de promouvoir un air pur. En mai 2018, la Commission a adopté une communication intitulée « Une Europe qui protège : de l'air pur pour tous ». Elle y détaille les mesures qu'il convient de prendre et y propose de nouvelles idées pour résoudre le problème. Celles-ci reposent sur trois piliers : des normes de qualité de l'air, des objectifs nationaux de réduction des émissions et des normes d'émission applicables aux principales sources de pollution, telles que les véhicules automobiles et les navires, la production d'énergie et l'industrie. Afin de lutter contre les émissions atmosphériques polluantes dues à la circulation routière, la Commission a décidé d'approfondir sa coopération avec les autorités nationales, régionales et locales dans le cadre d'une approche intégrée commune visant à réguler l'accès des véhicules aux zones urbaines, en application du « programme urbain de l'UE ». Grâce à une réforme de grande ampleur, les émissions atmosphériques polluantes des véhicules sont dorénavant mesurées en conditions de conduite réelles.

Le dialogue est un autre outil. Ces dernières années, des échanges bilatéraux ont été engagés avec les États membres au sujet de leurs problèmes spécifiques de qualité de l'air, sous une nouvelle forme : les « dialogues sur l'air pur ». Ces échanges visent à réunir toutes les parties prenantes autour d'une table afin d'engager un dialogue ouvert et constructif, car toute l'Europe est confrontée au même défi : amener les principaux acteurs à participer et à jouer leur rôle. Si nous voulons lutter contre la pollution atmosphérique, il convient d'adopter une approche globale qui passe par des mesures de réduction appliquées aux agriculteurs et au secteur des transports, ainsi que par des changements dans tous les domaines, de la façon de construire une maison à la planification de la mobilité urbaine. Il ne suffit pas que les ministères de la Santé et de l'Environnement soient conscients du problème, il faut aussi que le ministère des Finances s'attelle à la tâche. Ces « dialogues sur l'air pur » se sont révélés particulièrement efficaces pour amorcer des débats transversaux.

À une plus vaste échelle, la Commission a également joué un rôle actif dans la conférence mondiale de l'OMS sur la pollution de l'air et la santé en 2018, et nous organiserons une plateforme de dialogue à l'échelle européenne dans le courant de l'année 2019, lors du deuxième Forum Air pur. Cette manifestation fera suite à la première édition du Forum, couronnée de succès, qui avait été organisée à Paris en 2017. Cette année, le Forum se tiendra à Bratislava, en Slovaquie, au mois de novembre. Il devrait rassembler plusieurs centaines d'experts, de responsables politiques et de représentants de tous les secteurs d'activité concernés : agriculture, industrie, institutions financières, société civile...

La Commission ne ménage pas ses efforts pour permettre aux responsables politiques et aux scientifiques de travailler en étroite collaboration. Nous sommes souvent consultés au sujet de la qualité de l'air, car les avis divergent sur ce qu'il convient de faire. Certains sont convaincus que nos normes sont trop strictes ; d'autres craignent qu'elles soient trop laxistes. Pour nous, ce qui importe, c'est que ces normes répondent à un objectif central : protéger la santé humaine et l'environnement contre les conséquences néfastes de la pollution. À cet effet, nous faisons confiance au seul critère crédible qui existe : les meilleurs avis scientifiques disponibles validés par les pairs. Les objectifs de l'Union concernant la qualité de l'air ambiant tiennent dès lors compte des informations scientifiques pertinentes fournies par l'autorité de référence mondiale en matière de santé, l'Organisation mondiale de la santé. Les lignes directrices relatives à la qualité de l'air de cette institution constituent la base scientifique qui fait le plus autorité à ce jour, et elles sont régulièrement révisées. C'est un message que je répète souvent.

Nos efforts ne se limitent pas à établir des contacts avec le secteur industriel et les responsables politiques, car il est tout aussi important de fournir aux citoyens ordinaires des informations de base sur l'air qu'ils respirent. Il y a deux ans, la Commission a créé un indice de la qualité de l'air (air quality index). Il s'agit d'une carte disponible en ligne, qui, hébergée par l'Agence européenne pour l'environne-

ment, fournit des informations en temps réel sur la pollution atmosphérique. Elle donne directement accès aux données officielles communiquées par les États membres, lesquelles sont mises à jour toutes les heures, permettant ainsi à tout un chacun de vérifier la qualité de l'air dans sa ville. Savoir, c'est pouvoir, et lorsque tout le monde a accès aux faits, il est plus difficile pour les responsables politiques d'éviter de prendre de vraies mesures.

Les États membres ont la possibilité de démontrer leur engagement et de présenter les mesures qu'ils ont prévues d'adopter grâce à une autre initiative : les programmes nationaux de lutte contre la pollution atmosphérique, présentés à la Commission en avril 2019. Le réseau de surveillance est lui aussi en cours d'extension : il inclura désormais des vérifications des répercussions de la pollution sur les écosystèmes.

L'Europe n'est pas qu'une affaire d'obligations. Des financements de l'Union sont disponibles pour des projets portant sur la pureté de l'air, *via* divers instruments financiers. LIFE, acronyme de l'instrument financier pour l'environnement, est une réussite majeure. Il soutient des projets dans des domaines très divers, qu'il s'agisse d'encourager le passage aux chaudières propres pour le chauffage résidentiel en Pologne ou d'équiper les bateaux de navigation fluviale de technologies d'épuration et de surveillance de l'impact de leurs émissions. Des financements non négligeables sont également disponibles dans le cadre des fonds structurels, du mécanisme pour l'interconnexion en Europe et du programme de développement rural, ainsi que du Fonds européen pour les investissements stratégiques.

Et puis, il y a l'aspect transfrontière, par-delà les frontières de l'Union, et notre collaboration active dans les enceintes internationales, notamment avec l'Organisation mondiale de la santé et la convention sur la pollution atmosphérique de la CEE-ONU, qui fête son quarantième anniversaire cette année. La pollution atmosphérique n'a que faire des frontières ; notre réponse comporte dès lors une forte dimension internationale et même mondiale, et s'étend au financement de projets portant sur la pureté de l'air dans le monde entier.

## Redoubler d'efforts : travaux et défis à venir

Notre connaissance des problèmes et des solutions est aujourd'hui plus avancée que jamais. Néanmoins, malgré ces progrès, les valeurs limites de qualité de l'air sont trop souvent dépassées. Changer n'est pas simple et il est tentant de constamment repousser l'action au lendemain. Les citoyens se méfient des propos alarmistes, et les dégâts bien réels engendrés par la pollution atmosphérique sont parfois balayés d'un revers de main parce qu'ils sont perçus comme de fausses informations. Les frais initiaux qu'occasionne le remplacement d'une voiture ou d'une chaudière semblent parfois peser plus lourd dans la balance que les bénéfiques à long terme. Les questions telles que la répercussion des coûts des nouvelles technologies sur la société dans son ensemble méritent que l'on s'y intéresse sérieusement.

Nombre de ces défis, ainsi que de nombreuses solutions, sont centrés sur les villes.

Les zones urbaines de l'Union européenne s'étendent, et cette urbanisation croissante entraînera l'apparition de nouveaux défis que notre société devra relever dans les années à venir. Garantir la mobilité urbaine verte est l'un de ces défis. Nous allons devoir repenser totalement notre conception des transports urbains. Puisqu'il est inenvisageable de réduire la mobilité, nous aurons besoin de nouvelles solutions propres, écologiques et abordables pour nos citoyens. Il faudra encourager les transports publics et les modes de transport actifs, et les rendre plus sûrs et plus attrayants. Nous allons devoir soutenir les idées innovantes en matière de solutions de transport et de services de mobilité intelligents. Il sera nécessaire d'accélérer le déploiement des véhicules zéro émission.

L'existence de zones à faibles émissions au sein des villes peut résoudre de nombreux problèmes de qualité de l'air. Néanmoins, de telles mesures, faute d'être mises en place progressivement et de faire l'objet d'une bonne communication, peuvent être source de préoccupations, les citoyens redoutant de voir leur confort ou leur mobilité reculer. Ces craintes doivent être soigneusement prises en compte. Cependant, les préoccupations concernant la pollution atmosphérique qui résulte de la situation actuelle en matière de mobilité urbaine n'en demeurent pas moins importantes : un enfant qui souffre d'une maladie respiratoire sera bien peu réconforté par la promesse qui lui est faite de bénéficier, dans quinze ans, d'un air suffisamment propre pour être respiré sans risque.

L'agriculture est un autre défi de taille. Ce secteur est d'une importance capitale. Il contribue aux effets de la pollution atmosphérique tout en étant la victime. Selon les estimations, les dégâts subis par les cultures à cause de la pollution de l'air s'élèvent à trois milliards d'euros par an en Europe. Mais l'agriculture est également une source d'émission majeure. La diminution des émissions d'ammoniac, en particulier, est trop lente dans le temps ; pis, ses émissions sont en augmentation dans de nombreux États membres. Les émissions d'oxydes d'azote et de particules provenant du secteur agricole deviennent de plus en plus importantes, contrairement à d'autres secteurs où elles diminuent. En outre, les émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac impliquent une perte de substances nutritives précieuses. L'azote est un composant clé de toute production alimentaire, mais lorsqu'il se retrouve au mauvais endroit, il devient un puissant polluant qui a des incidences sur l'air, l'eau et les sols.

Un effort considérable est nécessaire pour faire en sorte que les grandes exploitations agricoles deviennent plus écologiques, plus efficaces et plus durables, tout en restant compétitives et en continuant de respecter les normes en matière de sécurité alimentaire, de bien-être animal et d'environnement. Nous devons également être réalistes quant aux échelles – ainsi, plus de 80 % des émissions d'ammoniac sont imputables aux plus grandes exploitations, qui représentent 5 % de nos exploitations agricoles.

Le défi est tout aussi important au niveau international. Selon les projections de l'OCDE dans le rapport intitulé « Les conséquences économiques de la pollution de l'air extérieur », nous devrions assister à une multiplication par deux, voire par trois des décès prématurés dus à la pollution atmosphérique d'ici à 2060. C'est en Inde et en Chine que la pollution et la mortalité associée devraient le plus augmenter. L'augmentation des concentrations en oxydes d'azote et en ammoniac devrait être particulièrement forte, mais les émissions d'agents de forçage du climat, tels que le carbone noir, pourraient également considérablement s'aggraver.

Lorsque l'on examine ces problèmes à l'échelle planétaire, les liens étroits entre la pollution atmosphérique et la lutte contre le changement climatique apparaissent très rapidement. Parfois, une politique permettra de remporter aisément des victoires sur les plans environnemental et climatique, comme c'est le cas des mesures de réduction du carbone noir, lequel a une très forte incidence sur la santé humaine et accélère la fonte des glaces arctiques. D'autres fois, des compromis seront nécessaires, comme pour les choix stratégiques concernant la biomasse et les biocarburants. Ces difficultés peuvent être surmontées, à condition que les questions soient traitées de manière systématique et cohérente. Ici, comme toujours, l'Europe doit jouer un rôle actif dans le cadre mondial en coopérant étroitement avec ses voisins et ses partenaires commerciaux.

## Conclusion

Le problème de la pollution atmosphérique ne peut être résolu que par une contribution adéquate de tous. Celle-ci implique la réduction des émissions dans de nombreux secteurs, notamment les transports, l'énergie, l'industrie

et l'agriculture, ainsi qu'une approche plus intégrée de l'élaboration des politiques en vue de relever le défi de l'air pur, tout en améliorant la mobilité grâce à des systèmes qui permettent d'atteindre, dans le même temps, les objectifs climatiques et énergétiques.

C'est parfois l'Union européenne qui doit tirer la sonnette d'alarme.

La législation de l'Union est parvenue à maturité et fait constamment l'objet d'améliorations. Les résultats du bilan de qualité de la directive concernant la qualité de l'air ambiant pourraient entraîner de nouveaux ajustements, mais si les lois en vigueur ne sont pas respectées, elles ne pourront pas produire les résultats escomptés. Les citoyens et leur environnement paient le prix de l'échec, c'est pour cette raison que la Commission continue d'intervenir.

Aucune des mesures que j'ai évoquées ici ne saurait à elles seules suffire ; elles doivent s'inscrire dans un tout. Elles témoignent néanmoins des efforts déployés pour protéger la vie et la santé des citoyens, sans coût disproportionné. Elles prouvent que le changement est possible et qu'il n'implique pas nécessairement des mesures coercitives ou indûment restrictives.

La mauvaise qualité de l'air diminue la qualité de vie dans toute l'Europe et coûte très cher à l'économie. Mais les solutions sont prêtes et n'attendent que nous. Il est temps de les transposer à une plus grande échelle et de les mettre en œuvre dans l'ensemble de l'Union européenne, pour le bien de tous les citoyens européens et de la population mondiale.

Il n'y a plus de temps à perdre.

# Les politiques publiques françaises en matière de lutte contre la pollution atmosphérique

Par Loïc BUFFARD

Ministère de la Transition écologique et solidaire/DGEC

La pollution atmosphérique est l'une des premières préoccupations environnementales des Français. Elle est la deuxième cause de mortalité après le tabac, et donc la première cause de mortalité subie.

L'action publique est délicate, car il faut réduire les émissions de nombreux polluants en tenant compte de phénomènes complexes de chimie atmosphérique, et en se concentrant désormais principalement sur des émissions diffuses, ce qui est plus difficile et plus coûteux.

Pour être efficace, la priorité est de diminuer les expositions chroniques pour la population, en utilisant tous les leviers disponibles, depuis le niveau international jusqu'au niveau local.

Les résistances restent vives et impliquent de développer non seulement une prise de conscience, mais aussi une mobilisation collectives.

Une action publique forte est indispensable. Mais elle ne pourra garantir le droit de chacun de nous à respirer un air sain que si la question de la pollution atmosphérique est pleinement intégrée dans les politiques d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

## La lutte contre la pollution atmosphérique : contexte et enjeux

### Pollution atmosphérique et gaz à effet de serre

En préambule, il est fondamental de distinguer les impacts sanitaires de la « pollution atmosphérique » de la question des gaz à effet de serre. Il subsiste en effet trop souvent une certaine confusion entre ces deux aspects.

Il ne s'agit donc pas ici de s'intéresser aux effets, notamment climatiques, des émissions de gaz à effet de serre, mais bien aux effets relativement locaux, à court terme et majoritairement sanitaires, d'autres polluants : particules fines, dioxyde d'azote, métaux lourds, etc.

Ces enjeux sanitaires sont majeurs : en 2013, la pollution de l'air extérieur a été classée comme cancérigène par l'OMS et, en juin 2016, l'Agence nationale de santé publique a publié une évaluation selon laquelle la pollution atmosphérique est responsable de 48 000 décès prématurés par an en France, ce qui correspond à 9 % de la mortalité et à une perte d'espérance de vie à 30 ans pouvant dépasser 2 ans. Des études récentes tendent même à revoir à la hausse ces estimations.

### Des sources de pollution variées

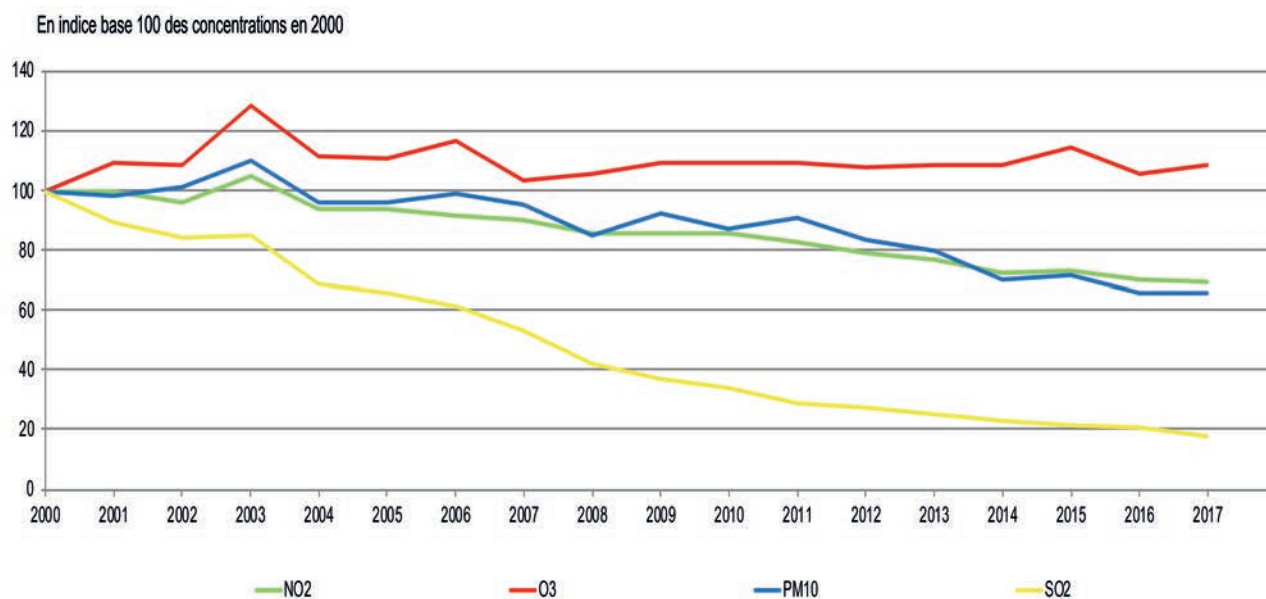
La pollution atmosphérique est due à de nombreux polluants, dont les polluants dits « secondaires » qui se forment dans l'atmosphère à partir d'autres polluants. Il n'est donc pas aisé de donner une vision globale de la qualité de l'air, d'autant que la pollution est appréhendée à la fois en termes d'exposition chronique et d'exposition de court terme lors des pics de pollution, sans qu'il y ait de corrélation totale entre ces deux aspects.

Cette complexité se retrouve dans les causes de la pollution, d'autant que les grandes sources ponctuelles de pollution (historiquement, certaines installations industrielles) sont désormais généralement d'importance modérée face aux sources de pollution diffuses, comme les véhicules ou les appareils de chauffage dans le secteur résidentiel et tertiaire.

Polluant	Industrie & énergie	Résidentiel tertiaire	Transports	Agriculture
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	2 %	3 %	1 %	<b>94 %</b>
Composés organiques volatils (COV)	<b>41 %</b>	<b>46 %</b>	11 %	2 %
Dioxines et furanes (PCDD-F)	26 %	<b>50 %</b>	18 %	6 %
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	<b>78 %</b>	20 %	2 %	-
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	11 %	<b>65 %</b>	15 %	9 %
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	17 %	11 %	<b>64 %</b>	8 %
Particules fines (PM <sub>2,5</sub> )	23 %	<b>51 %</b>	17 %	9 %

Tableau 1 : Origine des émissions des principaux polluants (Source : CITEPA – Inventaire SECTEN avril 2018 – en moyenne nationale et annuelle).



Graphique 2 : évolution des concentrations en SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>

Notes :

- Pour l'ozone les concentrations utilisées sont celles des périodes estivales (moyenne du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre).

- Du fait d'un changement dans le traitement des données de surveillance, la valeur pour SO<sub>2</sub> en 2018 n'est pas comparable aux années précédentes et n'est pas représentée.

Champ : France métropolitaine hors Corse.

Source : Géod'Air, juillet 2019. Traitements : SDES, 2019

Figure 2 : L'évolution des concentrations en SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM<sub>10</sub> sur la période 2000-2017 (Source : AASQA – Traitements : SOeS).

### Quelle place pour les pics de pollution ?

Il semble difficile de parler de pollution de l'air sans évoquer la question des « pics » de pollution, tant ceux-ci peuvent accaparer le débat public sur ce sujet.

Ceux-ci jouent un rôle indéniable de sensibilisation en rendant visible un phénomène qui, pour une large part de la population, ne l'est pas au quotidien : en mars 2014, des photographies de monuments de Paris disparaissant derrière le voile gris de la pollution sont comparées à des photographies prises au même endroit par temps clair, elles ont fait le tour du monde.

Toutefois, les pics de pollution dépendent beaucoup des conditions climatiques ou météorologiques, et peuvent même être causés par des émissions d'origine naturelle (brumes de sable du Sahara, éruptions volcaniques...).

Surtout, l'Agence nationale de santé publique a rappelé en juin 2016 que « réduire les pics de pollution ne prévient pas efficacement les impacts sanitaires ». Ainsi, si le rapport de la mission d'inspection réalisée en 2015, à la demande des ministres chargés de l'Environnement, de l'Intérieur et de la Santé, souligne que « les mesures temporaires sont d'une efficacité modeste, mais elles constituent un acte de solidarité avec les personnes les plus sensibles, et permettent de tester de nouvelles pratiques ». Pour avoir un impact notable sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique, il est nécessaire de réduire de manière pérenne la pollution à laquelle les personnes sont exposées au quotidien.

### La lutte contre la pollution atmosphérique nécessite une action se déployant dans l'espace et le temps, et mobilisant tous les leviers des politiques publiques

L'air ambiant est un bien public non marchand, ce qui rend la mobilisation d'outils économiques ou réglementaires plus difficile. Cette complexité ne condamne pas à l'impuissance : par exemple, même si les normes de qualité de l'air restent encore dépassées dans de nombreuses zones du territoire, depuis l'an 2000, les concentrations moyennes de particules fines et de dioxyde d'azote ont été réduites de 30 %, et celles de dioxyde de soufre de 80 %, tandis que, depuis les années 1990, les émissions de plomb ont été divisées par 40 et celles de dioxine par 15.

La diversité des polluants et l'importance des sources de pollution diffuse font qu'il n'y a pas de solution miracle pour améliorer la qualité de l'air : il faut agir dans la durée, dans tous les secteurs, et en utilisant des leviers différents en fonction des problématiques à résoudre.

Cette situation explique pourquoi plusieurs outils sont mobilisés et différentes autorités agissent en faveur de la qualité de l'air, sans qu'il faille considérer cette variété d'actions comme une dispersion et un manque d'efficacité, comme cela est parfois reproché de manière un peu hâtive, même si à l'évidence cette complexité renforce l'importance d'une action publique cohérente.

## Quelles actions en faveur de la qualité de l'air ?

### Différents outils sont mobilisés pour lutter contre la pollution atmosphérique : réglementation, fiscalité, plans d'action

Historiquement, les réglementations ont prioritairement porté sur les principaux sites industriels émetteurs de pollution atmosphérique.

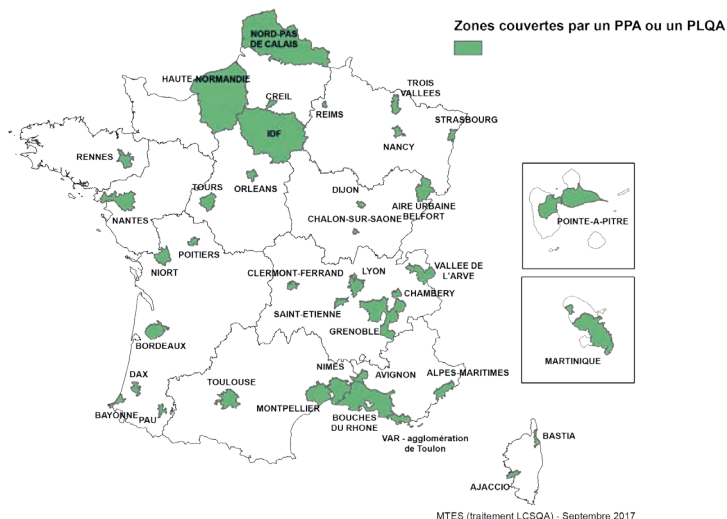
Elles ont été renforcées progressivement, avec davantage d'installations concernées et des exigences plus poussées, soutenant et accompagnant ainsi les progrès techniques. Désormais, la majorité de ces réglementations sont édictées au niveau européen.

Ces réglementations techniques sont également accompagnées de mesures fiscales ou d'aides financières afin de faire évoluer les comportements.

Enfin, des plans d'action sont élaborés à différents niveaux, en fonction des compétences respectives des différentes autorités concernées, afin de réduire les émissions polluantes.

#### Les plans de protection de l'atmosphère (PPA)

Au niveau local, pour réduire la pollution de fond dans toutes les zones en dépassement et dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants, les plans de protection de l'atmosphère (PPA) sont approuvés par les préfets après concertation avec les collectivités locales et les parties prenantes. Ils couvrent près de la moitié de la population française (voir la carte ci-dessous).



Par ailleurs, l'atteinte des objectifs en matière de qualité de l'air repose très largement sur les planifications des collectivités territoriales, par exemple les plans de déplacements urbains, les plans locaux d'urbanisme, ou encore, à plus large échelle, les schémas relatifs à l'aménagement du territoire.

#### Le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PRÉPA)

Au niveau national, le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PRÉPA), adopté

le 10 mai 2017, est un plan d'action pluriannuel et global, destiné à réduire, de manière pérenne, les émissions polluantes dans tous les secteurs, avec une combinaison d'actions réglementaires, de contrôle, incitatives ou fiscales, de sensibilisation ou d'amélioration des connaissances.

Conformément à la directive 2016/2284 du 14 décembre 2016, il prévoit des objectifs très ambitieux de réduction des émissions aux horizons 2020 et 2030 :

Polluant	Objectif de réduction des émissions par rapport à 2005			Situation en 2016
	2020 à 2024	2025 à 2029	À partir de 2030	
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	- 4 %	- 8 %	- 13 %	+ 1 %
Composés organiques volatils autres que le méthane (COVNM)	- 43 %	- 47 %	- 52 %	- 47 %
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	- 55 %	- 66 %	- 77 %	- 69 %
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	- 50 %	- 60 %	- 69 %	- 40 %
Particules fines (PM <sub>2,5</sub> )	- 27 %	- 42 %	- 57 %	- 34 %

Tableau 2.

## Principales mesures sectorielles en faveur de la qualité de l'air

### Secteur industriel

Dans le secteur industriel, la lutte contre la pollution atmosphérique repose essentiellement sur la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Très régulièrement renforcée au fil des ans pour tenir compte des progrès techniques, elle a notamment évolué en 2013 s'agissant des installations de combustion, et les meilleures techniques disponibles sont progressivement rendues obligatoires grâce à la directive européenne dite « IED ».

Cette réglementation est complétée par la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP), dont l'une des composantes pèse notamment sur les émissions de polluants dans l'air. Depuis 2010, cette composante a fait l'objet d'augmentations substantielles de son assiette et de ses taux.

### Secteur des transports

Dans le secteur des transports, l'un des enjeux essentiels est de développer les transports en commun, les mobilités « actives » (marche, bicyclette), ou encore le covoiturage. Des investissements importants sont réalisés dans ce domaine par l'État et les collectivités territoriales.

L'action repose aussi sur les normes techniques applicables aux véhicules ou aux carburants. Le « dieselgate » ne doit pas faire oublier les gains très importants liés à la réglementation de l'essence sans plomb (qui a permis de diviser par presque 100 les émissions de plomb du transport routier) ou encore les gains dus aux filtres à particules (pour les véhicules récents, les émissions de particules fines à l'échappement sont presque trois fois inférieures aux émissions dues à l'abrasion des pneus, des freins et de la route).

De nombreuses nouvelles mesures ont été mises en place, par exemple : la promotion des véhicules élec-

triques, la convergence progressive de la fiscalité entre le gazole et l'essence (fiscalité sur le carburant et règle de déductibilité de la TVA pour les entreprises), l'octroi d'aides au remplacement des véhicules diesel anciens ou favorisant l'utilisation du vélo, le renouvellement des flottes publiques par des véhicules faiblement émetteurs, l'instauration de zones à circulation restreinte, ou encore d'une zone maritime à basse émission en Manche-Mer du Nord et le lancement d'une étude pour la création d'une zone similaire en Méditerranée.

Ces mesures portent leurs fruits : par exemple, la convergence de la fiscalité entre le gazole et l'essence a permis de modifier de manière significative la proportion des véhicules diesel dans les immatriculations de voitures neuves. Alors qu'elle s'élevait à près de 75 % en 2012, elle est désormais de moins de 35 % (voir la Figure 2).

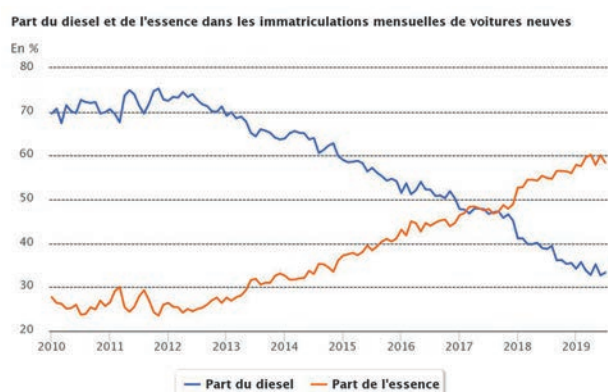


Figure 2 : Parts respectives du diesel et de l'essence dans les immatriculations mensuelles de voitures neuves (Source : MTES/CGDD/SDES, RSVERO – Données téléchargeables à l'adresse <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/210> – NB : données au 5 août 2019 ; celles-ci sont réactualisées mensuellement).

La loi d'orientation des mobilités, qui devrait être adoptée fin 2019 ou début 2020, comporte par ailleurs de nombreuses dispositions en faveur des mobilités propres.

### Secteur résidentiel-tertiaire

Dans le secteur résidentiel-tertiaire, la teneur en soufre du fioul domestique doit encore être abaissée dans le cadre de la mise en œuvre du PRÉPA.

La réglementation thermique des bâtiments contribue également à réduire les émissions polluantes, de même que les règles d'entretien des chaudières, la limitation de la teneur en composés organiques volatils pour les peintures, l'étiquetage énergétique des produits qui favorise les appareils les plus performants, ou encore les règles d'écoconception qui retirent progressivement du marché les appareils les moins performants.

En matière d'aides, celles relatives à la rénovation énergétique telles que le « crédit d'impôt transition énergétique » (CITE) ou les certificats d'économies d'énergie (CEE) contribuent non seulement aux économies d'énergie, mais aussi à réduire les émissions de polluants atmosphériques.

Le fonds « air-bois », expérimenté avec succès dans la vallée de l'Arve (département de la Haute-Savoie), qui

permet aux particuliers de recevoir une aide pour acquérir un système de chauffage au bois plus performant, a été étendu à de nouveaux territoires (métropole de Grenoble, Annemasse, ou encore le département de l'Essonne).

La rénovation des bâtiments est un axe très important de la politique publique : il est en fort développement sous l'effet, par exemple, de l'obligation de la rénovation des bâtiments tertiaires (décret n°2019-771 du 23 juillet 2019) ou des dispositions de la loi relative à l'énergie et au climat adoptée en septembre 2019, particulièrement pour ce qui concerne la rénovation des « passoires énergétiques ».

### Secteur agricole

Dans le secteur agricole, les principaux élevages sont également concernés par la réglementation ICPE, et l'éco-conditionnalité des aides de la politique agricole commune contribue à lutter contre la pollution atmosphérique (par exemple, en interdisant le brûlage de la paille). Les épandages aériens de produits phytopharmaceutiques ont été interdits, et des aides à l'investissement dans les élevages ont été mises en place.

Le PRÉPA prévoit de poursuivre les actions mises en œuvre pour réduire la volatilisation de l'ammoniac liée aux fertilisants (qu'il s'agisse des fertilisants minéraux comme l'urée ou les solutions azotées, ou encore, de l'épandage de fumiers et lisiers), limiter le brûlage à l'air libre des résidus agricoles, ou encore, pour mieux mobiliser les financements européens en faveur de la qualité de l'air.

### L'importance de la mobilisation de toutes les parties prenantes

Pour accompagner ces mesures sectorielles, il est essentiel de mener des actions de sensibilisation et de mobilisation des parties prenantes. En effet, la contribution de tous est nécessaire pour atteindre les objectifs en matière de qualité de l'air, comme le rappelle l'article L. 220-1 du Code de l'environnement : « L'État et ses établissements publics, les collectivités territoriales et leurs établissements publics, ainsi que les personnes privées concourent, chacun dans le domaine de sa compétence et dans les limites de sa responsabilité, à une politique dont l'objectif est la mise en œuvre du droit reconnu à chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. »

Cette sensibilisation est d'autant plus nécessaire que le sujet de la pollution atmosphérique est complexe et que l'existence de nombreuses sources diffuses de pollution pousse souvent chacun à considérer que sa propre contribution est marginale, et que d'autres devraient supporter de nouvelles contraintes ou réduire leurs émissions polluantes.

Il est donc primordial de faire preuve de pédagogie afin de montrer que seul un effort collectif et partagé, fourni sur le long terme, est susceptible de permettre l'atteinte des objectifs de qualité de l'air.

C'est dans cet esprit que sont menées régulièrement des actions de communication, telles que les assises nationales de la qualité de l'air, ou qu'a été créée, en 2015, la journée nationale de la qualité de l'air.

## Perspectives

### La pollution atmosphérique : un thème de plus en plus présent dans le débat public

La pollution atmosphérique est l'une des principales préoccupations environnementales des Français. Elle est de plus en plus présente dans le débat public : cela semble découler d'une évolution profonde de la société, qui est davantage sensibilisée à cette question et à ses impacts.

Désormais consciente des enjeux sanitaires majeurs liés à la pollution atmosphérique, convaincue de l'existence de solutions pour la réduire, la société appelle de façon manifeste à renforcer l'action dans ce domaine.

### Les défis à relever

Cette évolution de fond est très positive, et met en évidence trois défis pour les années à venir.

#### *Une nécessaire prise de conscience collective*

Tout d'abord, cette aspiration à une amélioration de la qualité de l'air doit aussi s'accompagner d'une prise de conscience collective que l'action et la contribution de chacun sont nécessaires pour atteindre nos objectifs ambitieux.

En ce sens, les actions en recherche de responsabilité contre l'État peuvent certes contribuer à mobiliser les décideurs, mais comportent aussi en creux une forme de déresponsabilisation du reste de la société, et peuvent faire perdre de vue la compréhension opérationnelle des freins qu'il faut pourtant lever pour améliorer concrètement la situation et pour aboutir au consensus politique indispensable à la mobilisation de tous.

#### *Des moyens publics à mobiliser*

Ensuite, les mesures coercitives ainsi que les mesures reposant sur les comportements individuels spontanés

montrent rapidement leurs limites s'agissant de lutter contre des émissions diffuses qui dépendent aussi du comportement ou du mode de vie de chacun : une réglementation sévère et un contrôle généralisé de toutes les entreprises et de tous les ménages ne semblent ni possibles ni nécessairement souhaitables.

*A contrario*, espérer de la part d'une majorité de la population et des entreprises des investissements financiers ou des changements de mode de vie spontanés semble utopique.

La mobilisation de financements publics reste donc indispensable pour accompagner les changements.

#### *L'angle mort de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire*

Enfin, l'une des problématiques les plus complexes à prendre en compte, mais structurante pour les décennies à venir, concerne le rôle crucial de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire dans la mise en œuvre du droit de chacun à respirer un air sain.

Dans toutes les grandes agglomérations, l'amélioration de la qualité de l'air doit nécessairement passer par une réflexion approfondie sur les systèmes de chauffage des bâtiments (par exemple, la contribution en la matière des réseaux de chaleur, dont les installations de production de chaleur peuvent être équipées d'équipements de dépollution très efficaces), sur l'organisation de l'espace urbain au bénéfice de transports en commun performants, de mobilités actives ou partagées et d'une logistique urbaine efficace et faiblement polluante, ou encore sur l'aménagement du territoire pour limiter les mouvements pendulaires et favoriser un développement urbain équilibré.



# Quatre ans après, un point sur le « dieselgate »

Par Cédric BOZONNAT

Ministère de la Transition écologique et solidaire/DGEC

En septembre 2015, l'Agence environnementale américaine accuse le constructeur automobile Volkswagen d'avoir équipé ses véhicules diesel de logiciels capables de déjouer les contrôles antipollution. Les investigations alors réalisées en France par la Commission créée par la ministre Ségolène Royal et des études similaires conduites dans d'autres pays montrent que plusieurs véhicules de différentes marques dépassent les niveaux d'émissions en vigueur de façon importante. Plus de dix millions de véhicules sont rappelés par les constructeurs en Europe. L'affaire nommée « dieselgate » a pour conséquence d'accélérer fortement le processus législatif européen relatif au contrôle des émissions des véhicules. La mise en place d'un nouveau cycle d'essais accompagné d'un essai en conditions réelles de conduite est accélérée. Les constructeurs ont une obligation de transparence quant à leur stratégie de diminution des émissions de leurs véhicules. Chaque État membre doit mettre en place une surveillance effective du marché, en réalisant des tests sur des véhicules en service. En complément du nouveau contrôle plus exigeant des émissions de polluants atmosphériques, l'Europe entend également encadrer les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules et fixe un calendrier ambitieux aux constructeurs, avec une diminution des émissions des véhicules neufs de 37,5 % en 2030.

## Le transport routier, un secteur particulièrement impactant pour la qualité de l'air

Les émissions du secteur des transports sont à la frontière de plusieurs politiques publiques, dont la lutte contre le réchauffement climatique et l'amélioration de la qualité de l'air. En France, le secteur des transports représente en effet plus de 30 % des émissions de gaz à effet de serre et 38 % des émissions de CO<sub>2</sub> [1], constituant ainsi la première source de participation au réchauffement climatique. Le transport routier compte pour 96 % des émissions du secteur. Les véhicules de transport routier émettent également plus de 17 % des émissions de particules fines (PM<sub>2,5</sub>) et 57 % des émissions d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), cette part pouvant être encore plus importante dans les agglomérations.

Pour pouvoir être commercialisés au sein de l'Union européenne, les véhicules doivent faire l'objet d'une « réception par type », procédure d'homologation permettant de certifier leur conformité à l'ensemble des règles de sécurité et de protection de l'environnement [2]. Des essais de mesure des émissions sont notamment effectués par les autorités d'homologation des véhicules pour en vérifier la conformité environnementale. Les polluants mesurés pour les véhicules légers sont les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les particules (PM), les hydrocarbures imbrûlés (HC) et le

monoxyde de carbone (CO), qui sont les quatre polluants couverts par les normes Euro. Ces normes sont devenues de plus en plus sévères au cours du temps, appliquant des plafonds d'émissions de plus en plus bas pour chacun de ces polluants [3].

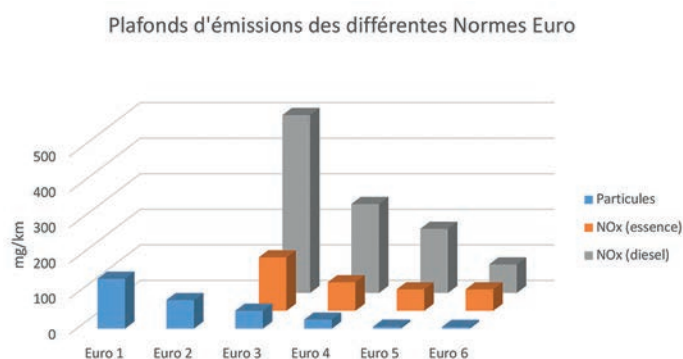


Figure 1 – ©Ministère de la Transition écologique et solidaire.

## Le scandale du « dieselgate »

Les révélations de l'Agence environnementale américaine (EPA) du 18 septembre 2015 sont à l'origine du très médiatisé scandale du « dieselgate ». L'EPA a formellement accusé le constructeur automobile allemand Volkswagen d'avoir enfreint les normes d'émissions américaines (Clean Air Act). L'avis de violation publié par l'EPA fait état

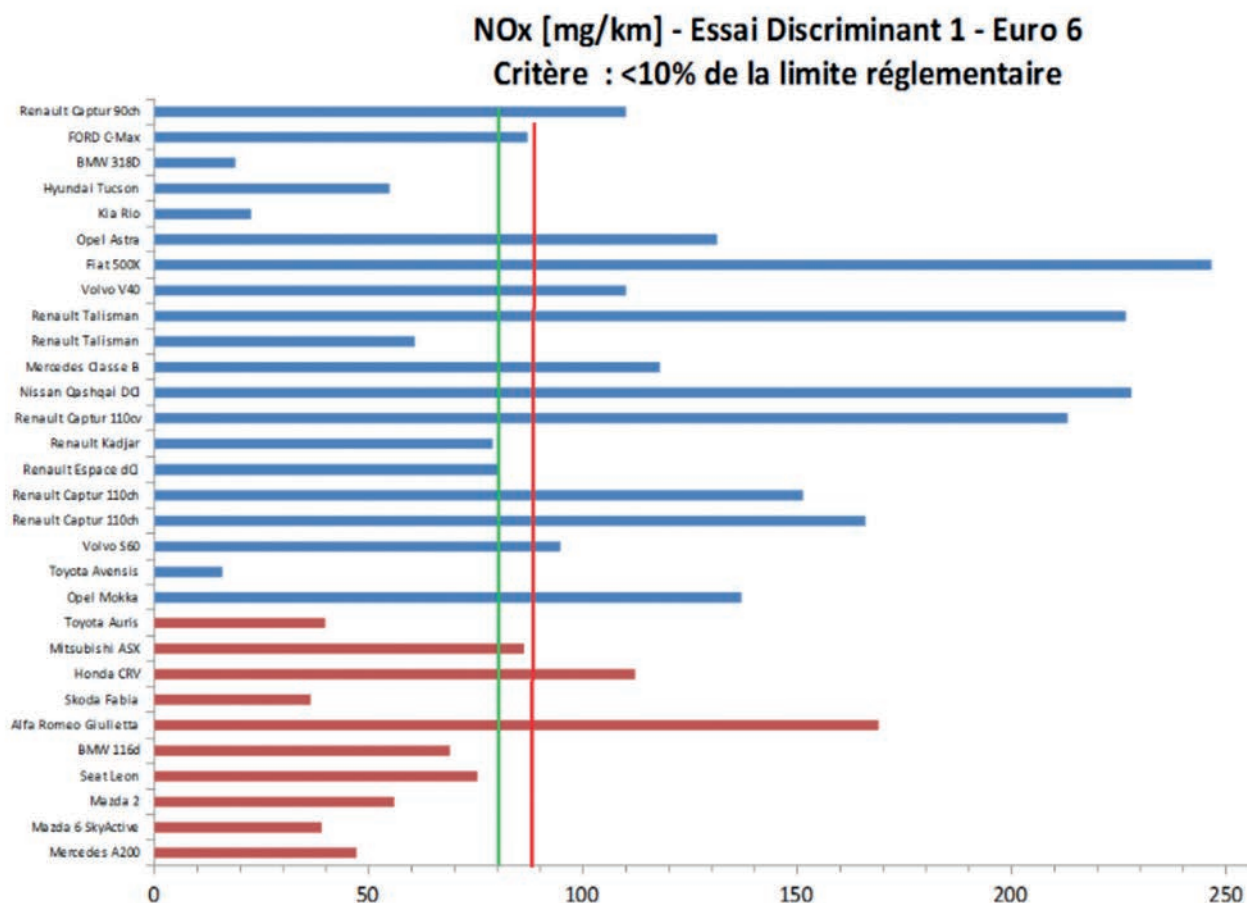


Figure 2 – ©Ministère de la Transition écologique et solidaire.

de voitures équipées de moteur diesel émettant jusqu'à quarante fois plus que la limite d'émission autorisée pour les oxydes d'azote aux États-Unis [4].

Le 22 septembre, Volkswagen admet avoir installé un « dispositif d'invalidation » sur onze millions de véhicules diesel dans le monde [5]. Lors d'un essai de mesure des émissions, ce dispositif détecte que le véhicule subit un contrôle et active les dispositifs antipollution, alors qu'ils sont inactifs en situation de conduite réelle. Ainsi, lors du test en laboratoire, le véhicule affichait des taux de NO<sub>x</sub> respectant les limites imposées par la réglementation, mais une fois sur la route, les émissions de NO<sub>x</sub> du véhicule étaient bien supérieures au plafond fixé.

## Les conséquences en France

### La « Commission Royal »

À la suite de cette révélation, la France a immédiatement réagi et la ministre de l'Environnement à l'époque, Ségolène Royal, a demandé le 30 septembre 2015 l'ouverture d'une enquête approfondie portant sur cent véhicules représentatifs du marché français. Une commission indépendante a été mise en place pour analyser les résultats de l'enquête et formuler des recommandations. Le rapport restituant les travaux de cette commission indépendante a été publié sur le site du ministère de l'Environnement le 29 juillet 2016. Les résultats des essais réalisés

pour mesurer les oxydes d'azote figurent au rapport. Les tests ont été réalisés par l'UTAC (service technique central désigné pour la réalisation des essais de réception des véhicules en France) sur la base d'un protocole de test établi dans cette optique, présenté à la commission indépendante et validé par le ministère. Les véhicules ont été prélevés de façon aléatoire sur le marché automobile français et testés à la fois sur banc et sur route. Le ministère de l'Environnement, via l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), a financé les essais.

Les investigations conduites durant cette enquête approfondie n'ont pas permis d'établir ou non la présence de dispositifs d'invalidation frauduleux. Néanmoins, les tests ont montré à la fois des dépassements importants, voire extrêmement importants, des normes sur bancs d'essai et des émissions en situation réelle de conduite. Le graphique ci-dessus, extrait de ce rapport, illustre les résultats des essais réalisés sur banc à rouleaux en modifiant certains paramètres, comme la position du capot moteur, en faisant tourner les roues non motrices en effectuant l'essai sur un banc 4x4, en passant la marche arrière au cours de l'essai, après le premier palier de 15 km/h, en modifiant le cycle de pré-conditionnement et en ne chargeant pas la batterie. Les véhicules en bleu sont équipés d'un système de recirculation des gaz d'échappement (EGR) ainsi que d'un piège à NO<sub>x</sub>, alors que les véhicules en rouge disposent seulement d'un EGR.

Après avis de la commission indépendante, la ministre a décidé de confier à l'IFPEN (Institut français du pétrole et des énergies nouvelles), établissement public rattaché au ministère, la réalisation d'investigations complémentaires afin de mieux comprendre les dysfonctionnements des dispositifs de traitement des émissions. Ces investigations ont concerné dix véhicules. Un rapport a également été rendu public le 5 mai 2017.

De manière générale, les anomalies constatées s'expliquent en particulier par :

- une plage de fonctionnement trop étroite en termes de température du système EGR, un dispositif de restriction de fonctionnement mis en place pour éviter des incidents moteurs ;
- un pilotage perfectible des purges et nettoyages du dispositif dit piège à NOx, qui était trop variable en fonction du comportement des usagers ;
- la mise en place de modes de protection du moteur qui peuvent limiter le taux d'EGR en fonction de la température (proscrire les ratés de combustion en ambiance très froide, ou le risque de grippage et d'encrassement en ambiance très chaude).

L'analyse comparative des résultats, entre autres pour les véhicules ayant un bon comportement en conditions réelles de circulation, a montré la performance ou la non performance intrinsèque de certains dispositifs de dépollution, certains étant parfois poussés à leurs limites (en particulier lors des essais) et pour lesquels des dispositions telles que des désactivations ou des limitations des plages de fonctionnement conduisent alors inévitablement à des fonctionnements vite très dégradés.

Les deux rapports sont disponibles sous le lien suivant : <http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/controle-des-emissions-polluants>

### Procédure judiciaire

En parallèle des travaux de la commission indépendante, le Service national d'enquête de la direction générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des fraudes (DGCCRF) a lancé des investigations plus larges concernant une douzaine de constructeurs commercialisant des véhicules diesel en France. Le ministère de l'Environnement a évidemment transmis tous les éléments en sa possession à la DGCCRF, et l'IFPEN a pu être sollicité sur certains points d'expertise.

Ces investigations, comprenant perquisitions et saisies, ont conduit la DGCCRF à transmettre au parquet de Paris les conclusions de ses enquêtes concernant « d'éventuelles tromperies » sur les émissions polluantes de véhicules diesel des groupes Volkswagen, Renault, PSA et Fiat Chrysler Automobiles (FCA). Le parquet de Paris a ensuite décidé d'ouvrir une information judiciaire à l'encontre du Groupe VW, le 19 février 2016, pour « tromperie aggravée », et des groupes Renault, le 13 janvier 2017, PSA, le 7 avril 2017, et FCA, le 15 mars 2017, pour une éventuelle « tromperie sur les qualités substantielles et les contrôles effectués ». Les procédures judiciaires se poursuivent.

### Actions de rappel des véhicules

Suite à ces différentes investigations, de nombreux constructeurs automobiles ont été contraints par les autorités d'homologation de procéder à des rappels massifs des voitures concernées afin de les remettre en conformité. En France, Volkswagen a ainsi engagé une campagne de rappel de ses véhicules équipés du moteur EA189 concerné par le dispositif d'invalidation. Des campagnes de remise en conformité ont également été lancées par BMW pour les véhicules des séries 5 et 7 (moteur 5 L), Daimler pour les gammes GLC, Classe C et Vito (moteurs 1.6 L, 2.0 L et 2.2 L), Nissan pour les modèles Juke et NT500, Porsche AG pour les modèles Cayenne V6 et Macan, ainsi que Renault pour les véhicules Captur et Kadjar.

Au premier trimestre 2019, entre 70 et 90 % des véhicules des différents groupes concernés ont été rappelés et ont fait l'objet d'une remise en conformité, le plus souvent par le biais de mise à jour des logiciels de gestion des dispositifs antipollution. Au niveau européen, ce sont plus de 10 millions de véhicules de différentes marques qui ont ainsi été rappelés.

Outre ces rappels contraignants, plusieurs constructeurs ont également mis en place des plans de rappel volontaires. Renault a ainsi proposé au ministère de l'Environnement et à la Commission Royal un plan d'amélioration générale du traitement des émissions de NOx de tous ces véhicules Euro 6b en circulation en Europe. Ce plan, approuvé par le ministère et la Commission, a débuté au mois de mars 2017 en France et à partir de mai 2017 dans les autres États membres. Les autorités françaises ont validé le plan d'amélioration, réception par réception, et suivent l'avancement du déploiement. Il concerne en Europe plus d'un million de véhicules de marque Renault et près de 300 000 véhicules de marque Dacia. L'objectif pour les deux marques est de 50 % de véhicules traités mi-2019 et 90 % mi-2020.

### Réglementation européenne : le nouveau système de contrôle des émissions des véhicules

Le Parlement européen a constitué en décembre 2015 une commission temporaire d'enquête sur la mesure des émissions dans le secteur de l'automobile (Commission EMIS). Les eurodéputés ont adopté, en plénière du 4 avril 2017, les recommandations de la Commission d'enquête EMIS. Le rapport énumère les principales faiblesses, décelées par le Parlement européen, du système de l'UE pour mesurer les émissions des véhicules.

L'essai en laboratoire NEDC (New European Driving Cycle), en vigueur depuis 1990 et permettant de mesurer les différents niveaux d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, est notamment remis en cause, ne reflétant pas les conditions de conduite réelles et permettant des écarts substantiels entre les émissions mesurées en laboratoire et celles enregistrées sur route. L'absence de contrôle des véhicules après que la réception a été accordée est également pointée du doigt. Enfin, l'absence de transparence et d'obligation pour les

constructeurs de divulguer leurs stratégies en matière de réduction des émissions est remise en cause.

Le 17 octobre 2018, la Commission a soumis un rapport de suivi à la Commission ENVI du Parlement européen précisant comment remédier aux faiblesses de la réglementation identifiées par le Parlement.

### Le nouveau cycle d'essai WLTP et le test en conditions réelles de conduite « RDE »

À l'instar du test NEDC, le nouveau test WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) consiste à suivre un cycle d'essai qui représente un « scénario » constitué d'accélération et de décélération. Il s'avère bien plus représentatif des conditions de conduite sur route. Le Tableau ci-dessous reflète les principales différences entre les deux cycles d'essai.

	NEDC	WLTP
<b>Durée</b>	20 minutes	30 minutes
<b>Distance parcourue</b>	11 km	23,25 km
<b>Phases de conduite</b>	2 phases, dont 66 % en milieu urbain et 34 % en dehors	4 phases plus dynamiques, dont 52 % en milieu urbain et 48 % en dehors
<b>Vitesse moyenne</b>	34 km/h	46,5 km/h
<b>Vitesse maximale</b>	120 km/h	131 km/h
<b>Influence des équipements optionnels</b>	Pas de prise en considération de l'impact	Prise en considération des équipements optionnels

Les Graphiques ci-dessous illustrent les deux cycles.

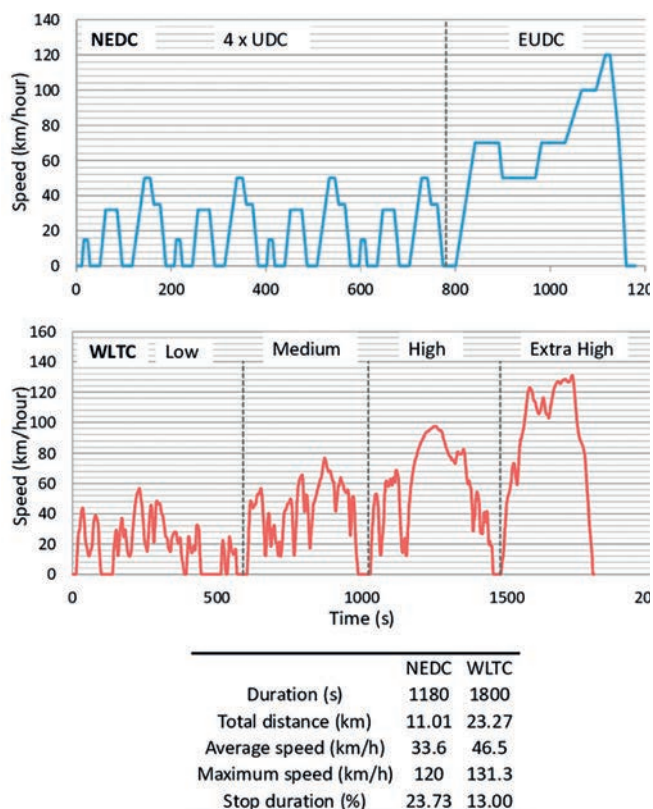


Figure 3 – ©European Commission – Joint Research Centre (JRC).

Le nouveau cycle WLTP est entré en vigueur pour les nouveaux types de véhicules le 1<sup>er</sup> septembre 2017 et est devenu obligatoire pour tous les véhicules neufs le 1<sup>er</sup> septembre 2018 [6].

Toujours dans l'idée de mettre en place des mesures qui soient les plus représentatives possibles des conditions réelles de conduite, la réglementation a été doublée d'un second type d'essai, appelé « real-driving emission » test (RDE). L'essai s'effectue sur route, au moyen d'un système portable de mesure des émissions (PEMS). Il comporte trois zones définies par des vitesses de plus en plus élevées : ville, campagne et autoroute. Le test doit pouvoir être passé dans des conditions variées (de - 7 à 35°C, entre 0 et 1 300 mètres d'altitude) représentatives des conditions réelles communément rencontrées. Le test RDE est à la fois utilisé lors de l'homologation du véhicule, en sus du test WLTP, mais peut également être utilisé à des fins de surveillance du marché et doit ainsi être passé avec succès jusqu'à 160 000 kilomètres parcourus.

### L'obligation pour les constructeurs de la communication de leurs stratégies de limitation des émissions

La réglementation européenne post-« dieselgate » a mis en place une nouvelle obligation pour les constructeurs automobiles. Depuis mai 2016, ces derniers doivent fournir, lors de la réception pour chaque type de véhicule, un ensemble de documents dans lesquels ils déclarent leurs stratégies de base (BES) et leurs stratégies auxiliaires (AES) en matière de limitation des émissions. Le BES correspond à la stratégie de limitation des émissions qui est active dans toutes les conditions de vitesse, de charge et de fonctionnement du véhicule, alors que l'AES est la stratégie de limitation des émissions qui n'est activée que dans un but spécifique et en réponse à un ensemble spécifique de conditions, ambiantes notamment. Cette transmission permet aux autorités chargées de l'homologation de vérifier le fonctionnement des dispositifs antipollution et de compliquer l'utilisation de dispositifs d'invalidation illégaux pouvant servir à modifier le comportement du système de contrôle des émissions.

### La création d'un service de surveillance du marché

La réponse la plus forte au scandale du « dieselgate » réside dans l'obligation pour les États membres de mettre en place avant 2020 des activités de surveillance du marché [7]. Chaque État membre est ainsi tenu de créer une autorité de surveillance du marché, dont la mission est d'analyser les données disponibles sur la conformité des véhicules aux normes en vigueur et de procéder à des tests sur ces véhicules. Les autorités de surveillance du marché ont l'obligation de soumettre à des essais au minimum un véhicule pour quarante mille véhicules immatriculés, le nombre de ces essais est *a minima* de cinq par an. Une proportion d'au moins 20 % des essais doit porter sur les émissions de gaz d'échappement.

En parallèle, la Commission européenne est également dotée d'un pouvoir de surveillance et de conduction des essais. Ainsi, son organe de recherche, le Joint Research Center (JRC), a pour objectif de conduire des essais sur quarante à cinquante modèles par an, en sus des essais effectués par les États membres à des fins de surveillance du marché. La Commission a également la possibilité de suspendre ou de retirer des réceptions par type de véhi-



cule, d'exiger le rappel des véhicules non conformes et d'imposer des sanctions.

En France, la mise en place du service chargé de la surveillance du marché est prévue par le projet de loi d'orientation des mobilités. Dès 2019, il engagera un programme de surveillance de véhicules de diverses catégories (légers, mais aussi utilitaires ou motos, par exemple), portant tant sur les émissions polluantes que sur des sujets de sûreté. La loi de finances 2019 a doté ce service, rattaché à la direction générale de l'Énergie et du Climat (MTES), d'un budget (hors personnel) de 5 M€ pour conduire ce programme.

## Les réactions en dehors de l'Union européenne

Après avoir publiquement exposé la fraude de Volkswagen, les États-Unis ont également été les premiers à appliquer des mesures coercitives fortes. Comme en Europe, Volkswagen a dû remettre en conformité ou retirer du marché la plupart de ses voitures diesel. Le groupe a également fait l'objet de procédures civiles, conduisant à 1,45 milliard de dollars de pénalités, et privées donnant lieu à une seconde amende de 2,8 milliards de dollars cette fois [8]. L'originalité des mesures prises aux États-Unis tient dans l'obligation faite à Volkswagen d'abonder un fonds national d'atténuation des oxydes d'azote (pour 2,925 milliards de dollars) et d'investir dans la promotion des véhicules électriques et de leurs infrastructures de recharge (pour 2 milliards de dollars). De son côté, l'EPA n'a procédé à aucune modification notable de ses pratiques pour contrôler le respect du Clean Air Act, considérant qu'elles étaient efficaces et opérationnelles, la fraude ayant été détectée dans le cas de Volkswagen.

De l'autre côté du Pacifique, le ministère des Transports japonais a mené une enquête auprès des fabricants d'automobiles commercialisant des véhicules diesel au Japon. L'enquête n'a révélé aucune fraude *via* des dispositifs d'invalidation. Cependant, parmi les huit constructeurs de l'industrie automobile japonaise, le ministère des Transports a indiqué que quatre présentaient un certain nombre de tests non satisfaisants, ce qui a par la suite été confirmé par chacun de ces constructeurs [9]. Ce sont d'abord les constructeurs Mitsubishi et Suzuki qui ont admis successivement en avril et mai 2016 avoir utilisé des méthodes de calcul de la consommation et des émissions de certains de leurs véhicules qui étaient non conformes à la réglementation japonaise. Suite à ces révélations, les investigations japonaises ont révélé, courant 2018, des non conformités similaires chez Nissan et Subaru. À l'instar de l'Union européenne, le Japon a demandé la mise en place de procédures de rappels obligatoires, à l'instar de Suzuki qui a rappelé plus de deux millions de véhicules. En parallèle, les autorités japonaises ont mis en place, dès 2017, des actions de surveillance du marché, visant à vérifier l'absence de dispositifs d'invalidation. Un test sur route des émissions de polluants est également devenu obligatoire *en sus* des essais sur banc.

## Vers des véhicules à faibles émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre

Le scandale du « dieselgate » a particulièrement mis en exergue les dépassements d'émissions de polluants atmosphériques des véhicules, malgré les normes environnementales en vigueur. Il a eu pour effet d'accélérer l'adoption d'une législation européenne visant à un meilleur encadrement du contrôle des émissions des véhicules grâce non seulement aux nouveaux essais sur banc (WLTP), mais aussi aux essais en conditions réelles de conduite (RDE), couplés à des obligations de transparence (BES et AES) et à la mise en place d'une surveillance effective du marché. La feuille de route européenne passe également par la mise en place à moyen terme (horizon 2025) d'une nouvelle norme environnementale d'homologation des véhicules (norme Euro 7) renforçant les exigences au regard des différents seuils de polluants.

Du côté des constructeurs automobiles mis en cause, le « dieselgate » aura aussi été l'occasion pour eux de prendre un véritable tournant (d'ores et déjà des dispositions de dépollution intrinsèquement peu performantes ou « trop justes » ne sont plus mises en place sur les nouveaux modèles) et de voir des groupes définitivement s'engager dans le développement du véhicule électrique, à l'image des annonces de Volkswagen lors du salon de l'automobile de Genève, le 12 mars 2019 (lancement de soixante-dix modèles électriques par le Groupe d'ici à 2028). Il est possible que les fortes répercussions du scandale induisent des changements de culture dans l'industrie automobile et une franche accélération vers le développement des véhicules propres et l'atteinte des normes environnementales plutôt que leur contournement. Pour que cet effet perdure, il est nécessaire que les systèmes de surveillance du marché mis en place par les États, ainsi que les régimes de sanction qui leurs sont adossés, soient efficaces, robustes et perçus comme tels. En effet, bien que de nouveaux cycles d'essais aient été mis en place (WLTP et RDE), ces derniers peuvent encore faire l'objet d'optimisation : il revient aux États membres de diligenter les essais nécessaires et d'assurer un contrôle conséquent. La transparence maximale des données doit également être poursuivie.

Les législateurs européens ont récemment fixé pour les constructeurs automobiles une trajectoire de diminution des émissions de CO<sub>2</sub> de leurs ventes. L'atteinte de ces objectifs nécessite une forte diminution des émissions dès 2020 pour réaliser une moyenne de 95 gCO<sub>2</sub>/km (contre 112 gCO<sub>2</sub>/km, en France, en 2018 [10]). En 2025, les constructeurs devront diminuer de 15 % leurs émissions par rapport au niveau de 2020. En 2030, le respect de la trajectoire nécessite une diminution de 37,5 % des niveaux d'émissions par rapport à ceux de 2020 [11]. Nul doute que, suite au « dieselgate », l'atteinte de ces différents objectifs fera l'objet d'une attention forte de la part à la fois des États membres et de la Commission européenne.

## Bibliographie

[1] Ministère de la Transition écologique et solidaire (2019), « Stratégie de développement de la mobilité propre ».

[2] Directive 2007/46/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 septembre 2007 établissant un cadre pour la réception des véhicules à moteur, de leurs remorques et des systèmes, des composants et des entités techniques destinés à ces véhicules.

[3] Règlement (CE) 715/2007 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules.

[4] Site Web de l'Agence environnementale américaine, <https://www.epa.gov/>

[5] Site Web de Volkswagen, [https://www.volkswagenag.com/en/news/2015/9/Ad\\_hoc\\_US.html](https://www.volkswagenag.com/en/news/2015/9/Ad_hoc_US.html)

[6] Règlement (UE) 2017/1151 de la Commission du 1<sup>er</sup> juin 2017 complétant le règlement (CE) 715/2007 du Parlement européen et du Conseil, modifiant la directive 2007/46/CE du Parlement européen et du Conseil, le règlement (CE) 692/2008 de la Commission et le règlement (UE) 1230/2012 de la Commission et abrogeant le règlement (CE) 692/2008.

[7] Règlement (UE) 2018/858 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la réception et à la surveillance du marché des véhicules à moteur, de leurs remorques ainsi que des systèmes, composants et entités techniques distinctes destinés à ces véhicules.

[8] Sites Web de l'Agence environnementale américaine (<https://www.epa.gov/>) et du ministère de la Justice américain (<https://www.justice.gov/>).

[9] Sites Web du ministère des Transports japonais (MLIT) (<http://www.mlit.go.jp/en/index.html>), de Mitsubishi ([https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_en/corporate/2016/news/detailg518.html](https://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2016/news/detailg518.html)), de Suzuki (<https://www.suzuki.hu/corporate/en/news/report-to-mlit-on-investigation>), de Nissan (<https://newsroom.nissan-global.com/releases/release-75b19d3a1fdacef505523031451e95a1-180709-03-j>) et de Subaru ([https://www.subaru.co.jp/press/news-en/2018\\_04\\_27\\_5714/](https://www.subaru.co.jp/press/news-en/2018_04_27_5714/)).

[10] Carlabelling, site Web de l'ADEME, <https://www.ademe.fr/>

[11] Règlement (UE) 2019/631 du Parlement européen et du Conseil du 17 avril 2019 établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les voitures particulières neuves et pour les véhicules utilitaires légers neufs.

# La pollution de l'air intérieur : de la connaissance à l'action

Par Nadia HERBELOT  
ADEME

Nous passons plus de 80 % de notre temps dans des environnements intérieurs : logements, transports, travail, écoles, lieux de loisirs, etc. La connaissance et l'amélioration de la qualité de l'air intérieur constituent donc un enjeu majeur de santé publique.

Ce thème est d'ailleurs identifié comme prioritaire et emblématique du 4<sup>ème</sup> Plan national Santé Environnement « Mon environnement, ma santé », dont les travaux d'élaboration sont en cours sous l'égide des ministères de la Transition écologique et de la Santé.

Néanmoins, les connaissances sur la qualité de l'air intérieur des différents environnements, ses déterminants et ses impacts sur les occupants sont encore parcellaires, malgré la montée en puissance de cette thématique sur les dix dernières années. Les recherches doivent donc se poursuivre afin de caractériser les situations et que chaque acteur puisse identifier les freins et les leviers pour mettre en œuvre des actions efficaces de préservation et d'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI).

## Un bref historique des travaux sur la connaissance de la QAI

Contrairement à l'air extérieur qui fait l'objet depuis de nombreuses années d'une surveillance réglementaire couvrant l'ensemble du territoire, la qualité de l'air intérieur ne faisait l'objet jusque dans les années 2000 que d'études ponctuelles.

La création de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) en 2001 par les ministères en charge de l'Écologie, de la Construction et de la Santé, avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), visait à combler ce manque et à améliorer les connaissances sur la pollution intérieure, ses origines et ses dangers, notamment grâce à des campagnes de grande ampleur.

Dans ce cadre, l'OQAI s'est focalisé sur la connaissance des lieux de vie les plus fréquentés (campagne Logements, 2003-2005<sup>(1)</sup>), de ceux accueillant les populations les plus sensibles (campagne Écoles, 2011-2017<sup>(2)</sup>) ou de certains encore peu connus comme les immeubles de bureaux (campagne Bureaux, 2011-2016<sup>(3)</sup>). Par ailleurs, l'OQAI gère une base de référence sur les retours d'expérience concernant des bâtiments performants en énergie, neufs ou réhabilités, en se focalisant sur les aspects qualité de l'air intérieur et confort<sup>(4)</sup>.

Au-delà de la connaissance acquise à l'échelle des parcs de bâtiments, l'OQAI fournit aussi des éléments d'aide à la décision. À ce titre, l'OQAI a notamment réalisé, en lien avec l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) et l'Université Panthéon Sorbonne, une évaluation du coût socio-économique de la pollution de l'air intérieur<sup>(5)</sup>.

En parallèle et en complément des campagnes de l'OQAI, l'État finance des travaux d'amélioration des connaissances, notamment *via* des études confiées en direct à des structures comme l'Institut national de l'environnement et des risques industriels (INERIS<sup>(6)</sup>) – qui est par ailleurs à l'origine de la constitution du réseau RSEIN<sup>(7)</sup> –, le CSTB ou l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), ou encore par le biais de l'ADEME qui est impliquée de longue date sur cette thématique.

L'ADEME initie, soutient et promeut des actions dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable, domaines qui ont tous de fortes interactions, positives ou négatives, avec la qualité de l'air. À ce titre, elle pilote ou copilote notamment des programmes de recherche dédiés à la thématique de l'air, comme les programmes PRIMEQUAL (recherche interorganismes pour une meilleure qualité de l'air) et CORTEA

(1) <http://www.oqai.fr/ObsAirInt.aspx?idarchitecture=159>

(2) <http://www.oqai.fr/ObsAirInt.aspx?idarchitecture=158>

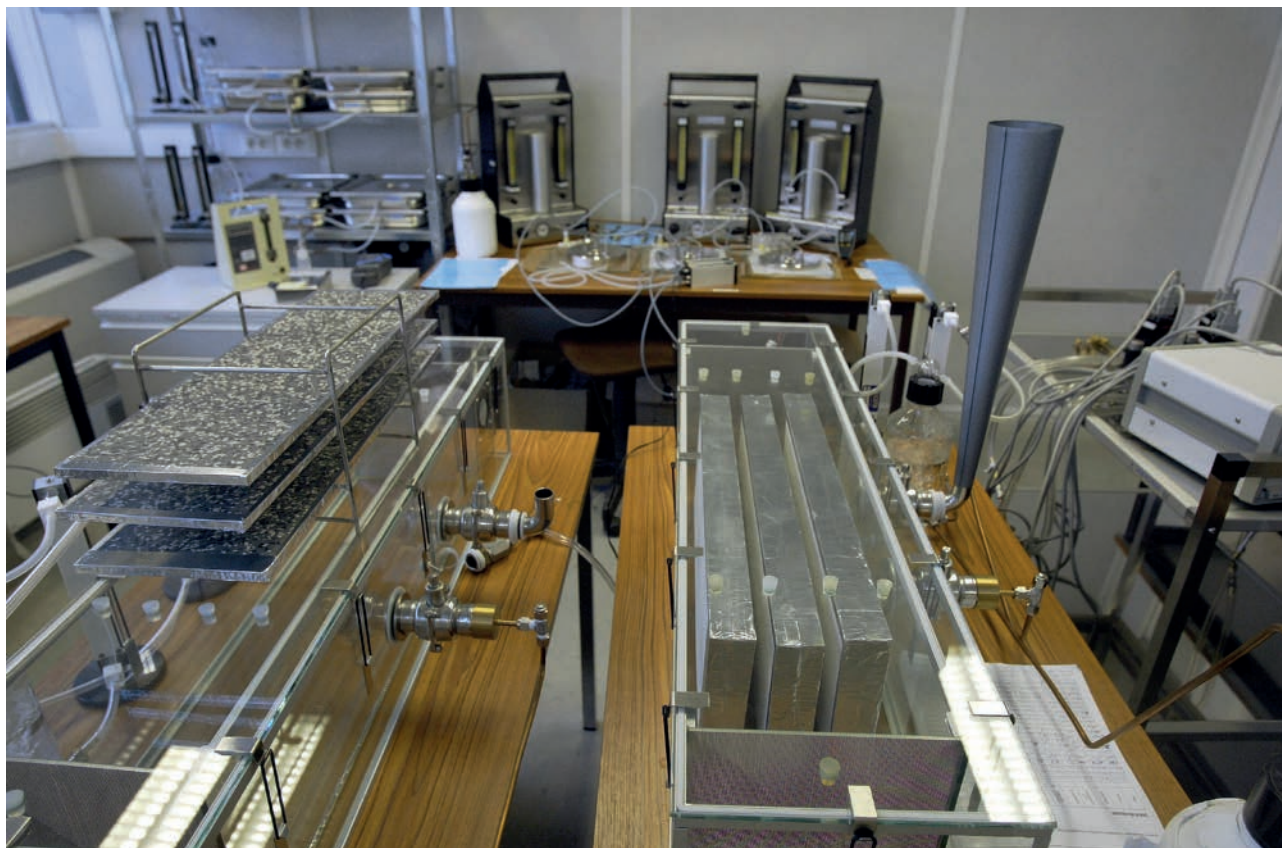
(3) <http://www.oqai.fr/ObsAirInt.aspx?idarchitecture=160>

(4) <http://www.oqai.fr/ObsAirInt.aspx?idarchitecture=157>

(5) [http://www.oqai.fr/userdata/documents/449\\_Rapport\\_Cout\\_economique\\_PAL\\_Avril2014.pdf](http://www.oqai.fr/userdata/documents/449_Rapport_Cout_economique_PAL_Avril2014.pdf)

(6) <https://www.ineris.fr/fr/recherche-appui/risques-chroniques/measure-prevision-qualite-air/air-interieur>

(7) <https://rsein.ineris.fr/>



Chambre environnementale Cp3, grâce à laquelle le laboratoire *ad hoc* du CSTB procède à l'analyse des performances environnementales des matériaux de construction et à celle de leurs émanations.

« La création de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) en 2001 par les ministères en charge de l'Écologie, de la Construction et de la Santé, avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), visait à combler ce manque et à améliorer les connaissances sur la pollution intérieure, ses origines et ses dangers, notamment grâce à des campagnes de grande ampleur. »

(connaissance et réduction des émissions de polluants dans l'air), ou des programmes sur d'autres thématiques abordant de manière intégrée les enjeux de la transition énergétique et écologique (programmes thèses, GESIPOL (Gestion intégrée des sites pollués), IMPACTS (Impacts des interactions entre polluants sur l'homme et son environnement) ou encore « Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 »).

De nombreux projets portant sur la qualité de l'air intérieur ont été financés dans ce cadre, permettant ainsi d'améliorer les connaissances sur les émissions des produits de consommation courante, des matériaux de construction et des pratiques constructives, ainsi que les solutions de prévention et de traitement afférentes afin d'identifier les leviers d'action permettant aux différents acteurs d'agir en faveur de la qualité de l'air. Des états des lieux de ces travaux ont été restitués dans des ouvrages liés à la valorisation de ces travaux<sup>(8)</sup> et plus récemment dans la lettre Recherche « ADEME&Vous » de juin 2019<sup>(9)</sup>.

(8) <https://www.ademe.fr/qualite-lair-interieur-nouveaux-batiments-matériaux-expositions-multiples-agents-biologiques>

(9) <https://www.ademe.fr/dossier/ademe/lettre-recherche>

Enfin, les avis et rapport émis par l'ANSES concernant l'élaboration ou la mise à jour de la valeur-guide des polluants de l'air intérieur ou d'états des connaissances et de recommandations afférentes viennent notamment compléter ce panorama<sup>(10)</sup>.

## Des sources de pollution multiples aux effets souvent méconnus

### Sources et polluants...

Les polluants de l'air intérieur proviennent de sources pouvant être classées en quatre catégories :

- matériaux : construction (murs, plafonds, isolants...), décoration (peintures, revêtements de sols...) ou ameublement ;
- équipements : appareils de combustion et installations de ventilation et climatisation mal entretenus ;
- occupants et leurs activités : tabagisme, ménage, cuisson, bricolage...

(10) <https://www.anses.fr/fr/content/avis-du-ces-evaluation-des-risques-li%C3%A9s-aux-milieux-a%C3%A9riens>



- sources externes : pollution de l'air extérieur et/ou du sol (radon dans les zones à risques<sup>(11)</sup>, sols contaminés...).

L'ensemble de ces sources conduisent à l'émission dans l'air intérieur de polluants :

- chimiques : monoxyde de carbone (issu essentiellement des appareils de combustion), composés organiques volatils, dont notamment le formaldéhyde et le benzène, (issus de multiples sources : désodorisants, meubles, colles, peintures, produits d'entretien...), composés organiques semi-volatils (émis *via* les plastifiants ou les retardateurs de flammes dans les canapés), pesticides, etc. ;
- biologiques : agents infectieux (pouvant se développer dans certains équipements de production d'eau chaude, dans des systèmes de ventilation mal entretenus, de climatisation) et des allergènes (émis par les moisissures, les animaux domestiques, les plantes...) ;
- particuliers (en particulier *via* les activités de bricolage, de cuisine ou de ménage ou l'utilisation de désodorisants combustibles, mais également du fait de l'entrée d'air extérieur pollué).

### ...et leurs effets

Ces polluants s'accumulent dans les environnements intérieurs et conduisent à des expositions, tout au long de la journée, dans les différents lieux de vie, à des cocktails potentiellement impactants pour la santé à plus ou moins long terme.

Outre les troubles de santé potentiellement associés à une mauvaise qualité de l'air intérieur, notamment les pathologies du système respiratoire (rhinites, bronchites...), l'exposition aux polluants de l'air peut également favoriser l'émergence de symptômes tels que maux de tête, fatigue, irritation des yeux, nausées... Certains polluants présents dans l'air intérieur sont même directement mortels (comme le monoxyde de carbone) ou reconnus comme cancérigènes (benzène, formaldéhyde, radon...). Des travaux récents suspectent également certains composants semi-volatils d'être des perturbateurs endocriniens ou d'avoir un impact neurocomportemental.

A *contrario*, une bonne qualité de l'air à l'intérieur d'un bâtiment a un effet positif démontré sur la diminution du taux d'absentéisme, le bien-être des occupants, ainsi que sur l'apprentissage des enfants.

Petit focus sur l'humidité : la vapeur d'eau ne constitue pas en tant que tel un polluant. Néanmoins un lieu de vie humide conduit au développement de moisissures préjudiciables non seulement pour la santé humaine, mais aussi pour celle du bâtiment !

### La poursuite de l'acquisition de connaissances

Les connaissances sur les sources de pollution, leurs déterminants et les actions les plus appropriées pour préserver et améliorer la qualité de l'air intérieur sont encore

parcellaires, mais – heureusement – les recherches se poursuivent.

Analyse des émissions des désodorisants non combustibles et leurs impacts sur la santé, étude de l'efficacité du traitement antifongique des matériaux sur le long terme ou encore évaluation des performances de matériaux et équipements dépolluants : ce sont là autant de sujets en cours d'exploration dans le cadre de l'appel à projets CORTEA.

S'agissant de l'impact sur la santé humaine des polluants de l'air intérieur, un certain nombre de travaux concernent l'impact de ceux-ci pris isolément, mais aussi l'effet des mélanges de polluants. Citons, par exemple, l'impact sur la santé respiratoire d'aldéhydes étudiés en mélange, des polluants représentatifs de la qualité de l'air intérieur (dans le cadre de l'appel à projets IMPACTS de l'ADEME), ou l'impact des expositions environnementales aux produits de nettoyage et de désinfection sur la santé respiratoire des nourrissons et des très jeunes enfants en crèches (dans le cadre de l'appel à projets PNREST de l'ANSES).

L'évaluation des impacts en prenant en compte l'exposition quotidienne en fonction des budgets espace-temps des individus reste néanmoins encore un défi relevant de la recherche exploratoire.

Cela étant, même si l'acquisition de connaissances sur les sources, les impacts et les solutions doit se poursuivre, les connaissances disponibles à ce jour sont suffisantes pour affirmer sans attendre la nécessité d'agir sur l'ensemble des sources au niveau de tous les acteurs concernés afin de préserver la qualité de l'air intérieur et diminuer l'impact de la pollution sur la santé du bâti et de ses occupants !

## Tous en action !

### Réglementation et planification

L'action des pouvoirs publics sur la qualité de l'air intérieur est beaucoup plus récente que sur l'air extérieur. Ainsi, il n'existe pas, à ce jour, de cadre européen pour la qualité de l'air intérieur en miroir des directives sur la qualité de l'air extérieur.

Le 2<sup>ème</sup> Plan national Santé Environnement (PNSE) 2009-2013 a permis plusieurs avancées importantes : étiquetage obligatoire des matériaux de construction et de décoration<sup>(12)</sup>, mesures spécifiques prises en faveur de la qualité de l'air intérieur dans certains ERP<sup>(13)</sup>, etc.

Ces actions se sont poursuivies et ont été complétées et renforcées dans le cadre du Plan d'action sur la qualité de l'air intérieur (PQAI<sup>(14)</sup>), qui, adopté en 2013, a été intégré au 3<sup>ème</sup> PNSE 2015-2019 et décliné dans les plans régionaux Santé Environnement. Citons également le Plan

(11) <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-radioactivite-naturelle/radon/Pages/5-cartographie-potentiel-radon-commune.aspx#.XPUFbpxOLcs>

(12) <http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/etiquetage-des-produits-de-construction>

(13) <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORF-TEXT000031052712&categorieLien=id>

(14) [https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/sites/default/files/Plan\\_QAI\\_23\\_10\\_2013.pdf](https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/sites/default/files/Plan_QAI_23_10_2013.pdf)

national d'action pour la gestion du risque lié au radon <sup>(15)</sup>, également adossé au PNSE 3.

Lancée en 2019 par les ministres en charge de l'Environnement et de la Santé, l'élaboration du 4<sup>ème</sup> PNSE, dont la qualité de l'air intérieur constitue la thématique prioritaire emblématique, sera l'occasion d'établir un bilan de ces différentes mesures et de prendre en compte les enjeux de la thématique considérée pour les années à venir.

Enfin, au-delà de ces documents de planification, différents textes (Codes de l'urbanisme et du travail, décrets et arrêtés, règlements sanitaires départementaux) viennent réglementer les exigences en matière d'aération des locaux (habitations et autres usages).

### Les leviers d'action

Comme précédemment évoqué, les sources de pollution sont variées : émissions en provenance de l'extérieur, activités humaines à l'intérieur des locaux, matériaux de construction, mobiliers, produits de décoration, ou encore transferts gazeux des pollutions des sols vers les bâtiments. Limiter ces sources constitue le premier levier d'action pour éviter de dégrader la qualité de l'air intérieur.

Le renouvellement de l'air intérieur par de l'air « neuf » est le second levier d'action pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur. La ventilation contribue à la préservation de la santé des occupants en évacuant les nombreux polluants qui peuvent s'accumuler dans l'air intérieur et prévient également l'excès d'humidité responsable de l'apparition de moisissures et de la dégradation du bâti.

Le traitement de l'air intérieur doit rester, quant à lui, réservé à des situations particulières et doit être pensé uniquement en complément des deux leviers précédemment cités. Dans tous les cas, il convient de s'assurer de l'efficacité des solutions identifiées au regard des polluants de l'environnement intérieur considéré et de leur innocuité (en particulier s'agissant de la potentielle formation de polluants de dégradation).

### Les acteurs : tous concernés !

Au regard de la multiplicité des sources de pollution et de l'importance des enjeux en matière de qualité de l'air intérieur, tous les acteurs peuvent et doivent agir à leur niveau pour préserver et améliorer la qualité de l'air intérieur.

En premier lieu, l'ensemble des acteurs du bâtiment doivent être impliqués. C'est à ce titre que l'ADEME s'est engagée dans le développement, l'expérimentation et l'évaluation d'une méthode de management de projets sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments (méthode ECRAINS® « Engagement à construire responsable pour un air intérieur sain »). Cet outil repose sur des recommandations méthodologiques et techniques permettant de limiter les sources de pollution de l'air extérieures comme intérieures, du sol, et de maîtriser les systèmes et équipements. Il permet au maître d'ouvrage de définir

une ambition pour son projet à travers les prescriptions qu'il s'engage à mettre en œuvre au cours des différentes phases de la réalisation : diagnostic du site, programmation, conception, construction, réception et post-réception. La méthode vise l'habitat individuel et collectif, le tertiaire de bureau et les établissements recevant du public. Elle permet une approche globale pour passer d'une gestion curative à une approche préventive de la santé dans le bâtiment.

Au-delà de cette méthode complète, des actions peuvent être mises en œuvre pour prendre en compte la qualité de l'air intérieur aux différents niveaux de l'acte de construction ou de rénovation. Urbanistes, architectes, maîtres d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, entreprises de mise en œuvre, coordonnateurs en matière de sécurité et de protection de la santé, contrôleurs techniques : tous doivent considérer la question !

Bien évidemment, les entreprises productrices de produits de construction ou de consommation doivent intégrer la problématique de l'émission par leurs produits de polluants dans l'air intérieur, que ce soit sous l'impulsion d'exigences réglementaires, de démarches de labellisation, ou de leur propre initiative.

Les collectivités ont également un rôle à jouer dans les bâtiments placés sous leur responsabilité, du point de vue de leur construction ou de leur rénovation (voir *supra*), mais également afin d'analyser les comportements des publics concernés pour définir des solutions techniques ou d'accompagnement adaptées à chacun d'eux (notamment définir des stratégies de ventilation et d'aération en lien avec le mode d'occupation et le type de local).

Enfin, les particuliers peuvent agir pour préserver la qualité de l'air intérieur de leur logement : choisir des produits de construction et décoration A+, éviter l'usage des désodorisants d'intérieur (voire les supprimer), limiter l'emploi des produits d'entretien et aérer pendant et après leur utilisation, entretenir les appareils à combustion, etc. Au-delà de cette réduction des sources d'émission de ces polluants, la circulation d'air dans le logement constitue un enjeu majeur pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur (entretien de la ventilation et aération quotidienne, même en présence d'une VMC). Des guides grand public édités notamment par l'ADEME <sup>(16)</sup> ou l'Agence Santé publique France <sup>(17)</sup> permettent de communiquer sur ces bonnes pratiques. Les conseillers médicaux en environnements intérieurs <sup>(18)</sup>, intervenant généralement sur prescriptions médicales, constituent également des acteurs clés pour des situations le nécessitant.

(16) <https://www.ademe.fr/air-sain-chez>

(17) <http://inpes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1187.pdf>

(18) <http://www.cmei-france.fr/>

(15) [https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan\\_national\\_d\\_action\\_2016-2019\\_pour\\_la\\_gestion\\_du\\_risque\\_lie\\_au\\_radon.pdf](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_national_d_action_2016-2019_pour_la_gestion_du_risque_lie_au_radon.pdf)

# La pollution de l'air en Chine

Par Bertrand BESSAGNET  
Futuris Environment Ltd – INERIS

Durant les deux dernières décennies, la Chine a vécu une expansion économique sans précédent dans l'histoire moderne, passant de pays en voie de développement à locomotive pour le reste du monde dans bien des domaines technologiques. Ce développement fulgurant, qui s'est accompagné d'un exode rural vers les grands centres urbains, a exercé une forte pression sur les ressources naturelles et a très largement affecté la qualité de l'air. Des mesures de gestion de la pollution de plus en plus drastiques ont permis de limiter la pollution de l'air et même d'améliorer la situation de façon spectaculaire au cours de ces cinq dernières années. La qualité des chercheurs chinois de ce domaine, le pragmatisme des autorités et l'adhésion d'une population concernée ont permis de relever ce défi, qui place désormais la Chine au rang de pays leader dans le développement des nouvelles énergies et des technologies innovantes pour préserver l'environnement. Les parties prenantes sont conscientes des efforts encore à réaliser et des nouveaux défis liés notamment au secteur agricole, à la production et stockage d'énergie, à la réduction des émissions de méthane et aux concentrations d'ozone qui restent en légère augmentation. Comme dans le reste du monde, l'enjeu sera dans le futur de bien coordonner les politiques de contrôle des émissions de polluants avec celles liées au réchauffement climatique et de relever nombre de défis technologiques dans les secteurs de l'énergie, la mobilité, l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable.

## Une brève histoire de la pollution de l'air en Chine

L'assimilation par les villes chinoises de millions de nouveaux citadins est sans précédent dans l'histoire du monde moderne. L'ampleur de cet exode rural s'est matérialisée en périphérie des capitales de province ou des sous-préfectures de la côte, où se sont élevés en peu de temps des quartiers entièrement nouveaux. Alors qu'à la fin des années 1980, la population urbaine ne représentait, en Chine, que 25 % de la population, elle dépasse au milieu de la décennie 2000 le cap des 40 %, et dépassera très probablement 60 % en 2020 (Source : Banque mondiale). Sur notre planète, la Chine devrait, à elle seule, représenter un tiers du doublement de la population urbaine attendu entre 1990 et 2025. Cette urbanisation fut perçue dans les années 2000 comme une chance par les Chinois en quête d'une modernité et d'un confort de vie accru encore inaccessibles, à l'époque, dans les campagnes ou les petites villes. Mais le phénomène fut si rapide et d'une telle ampleur que son contrôle resta limité (Guinot, 2008).

Une forte pression s'est donc exercée sur les ressources naturelles nécessaires au fonctionnement de ces zones urbaines en expansion. L'eau, d'abord, dont les réserves sont limitées dans de nombreuses régions, est distribuée *via* des réseaux qui étaient souvent sous-dimensionnés. En bout de chaîne, les réseaux d'assainissement, qui, eux aussi, peinent à suivre le rythme des constructions, ne peuvent absorber les grandes quantités de déchets

liquides et solides nouvellement générées. L'énergie, ensuite, dont la consommation accrue pour répondre aux besoins industriels et domestiques de ces centres urbains entraîne une pollution atmosphérique dense aux impacts environnementaux qui sont parmi les plus préoccupants à l'échelle du pays, mais aussi du monde.

Les villes chinoises représentent de fait des vitrines du futur dans lesquelles les problèmes, mais aussi – heureusement – beaucoup des solutions de demain ayant trait au développement durable et aux politiques énergétiques sont en train d'émerger rapidement. Les autorités ont été confrontées au défi pressant de la réduction des rejets dans l'atmosphère et de l'augmentation de la population urbaine, de son niveau de vie et de sa consommation d'énergie. La trajectoire chinoise se distinguait de celle des pays déjà développés par un degré d'urbanisation initialement faible. Cette particularité a entraîné dans les années 2000 et 2010 la conjugaison inédite de deux variables. En premier lieu, le rythme de croissance des grands centres urbains existants s'est nettement accéléré, comme cela a déjà été observé aux États-Unis ou dans d'autres pays développés lorsque leurs taux d'urbanisation dépassaient les 30 %. En second lieu, le taux élevé d'exposition des populations aux risques sanitaires liés à la pollution, conjugué à un véritable bouleversement socio-économique, impliqua une mise en œuvre difficile de politiques variées et évolutives visant à limiter cette exposition. À titre d'exemple, le PIB, la population et le nombre de véhicules à Pékin ont fortement augmenté, de 1998 à 2017, respectivement de 1 078 %, 74 % et 335 %.



## Les particules fines en Chine

La pollution aux particules est particulièrement nocive pour la santé, elle est de surcroît visible. En 2012, le gouvernement chinois a publié pour la première fois les normes de qualité de l'air ambiant (AAQC) relatives aux particules ambiantes  $PM_{2.5}$  (MEP, 2012). Les normes se déclinent en deux grades qui s'appliquent à différents domaines : celles de catégorie I, qui concernent certaines zones telles que les parcs nationaux, fixent des limites moyennes sur 24 heures et annuelles qui sont respectivement de 35 et 15  $\mu g/m^3$ . Les normes de catégorie II, dédiées aux zones générales, limitent les moyennes journalières et annuelles respectivement à 75 et 35  $\mu g/m^3$ . Dans ce document, d'autres normes non détaillées ici s'appliquent aux autres polluants réglementés comme l'ozone, les  $PM_{10}$ , le  $SO_2$ , le  $NO_2$  et le CO.

Base temporelle	Chine		US EPA	OMS	UE
	Grade-I	Grade-II			
Annuel ( $\mu g/m^3$ )	15	35	15	10	25
Journalier ( $\mu g/m^3$ )	35	75	35	25	N/A

Pour mieux cibler les stratégies de gestion de la qualité de l'air, il est important de comprendre l'origine de la pollution. À cette fin, des études d'attribution des sources ont été menées en Chine. Les particules secondaires (26-33 %), le charbon (7-29 %), les poussières (9-23 %), les gaz d'échappement des véhicules (3-26 %), les émissions industrielles (6-28 %) et la combustion de la biomasse (6-13 %) contribuent largement aux concentrations de  $PM_{2.5}$  à Pékin (Millet et Xu, 2018). Jin *et al.* (2015) ont également signalé une contribution importante du secteur de la construction (23 %). Zhang et Cao (2015) ont confirmé également la contribution importante de la combustion des biocarburants domestiques et de la biomasse.

De nombreuses études ont basé leur analyse sur la détermination des mécanismes d'exposition sur des zones sur lesquelles les efforts de réduction des émissions devraient être ciblés. Une étude des sources d'attribution relatives à une exposition à des  $PM_{2.5}$  et à des  $NO_x$  a conclu que les valeurs de la fraction inhalée provenant des émissions des véhicules étaient plusieurs fois supérieures à celles des émissions de l'industrie. Ces résultats confortent les politiques de contrôle des émissions des véhicules comme priorité absolue pour la protection de la santé humaine. À l'échelle de la Chine, une étude récente (Gu *et al.*, 2018) a tenté d'attribuer les causes de mortalité dues à la pollution atmosphérique par secteurs d'activité. Clairement, le secteur résidentiel (chauffage et climatisation) et les industries dominent dans la plupart des provinces les plus peuplées de l'Est de la Chine, alors que les particules naturelles, notamment issues des déserts, et l'agriculture contribuent plus largement dans l'Ouest et le Plateau du Tibet.

## Les plans d'action et leurs effets

L'effet des mesures de réduction des émissions polluantes à Pékin est particulièrement représentatif de la politique chinoise sur ce thème. Comme précédemment évoqué, Pékin a connu un développement rapide au cours des deux dernières décennies. Les épisodes de pollution de l'air dus aux véhicules et aux centrales à charbon ont été régulièrement observés dans la capitale durant la période précitée. Pour lutter contre la pollution atmosphérique, Pékin a lancé depuis 1998 de vastes programmes mis en œuvre par phases successives et portant sur l'ensemble des secteurs d'activité, notamment la production d'énergie et le trafic routier (voir la Figure 1 ci-dessous). La mise en place à Pékin en 2011 d'un système de « loterie » pour obtenir une plaque d'immatriculation a ainsi permis de restreindre le trafic routier et de favoriser la percée de

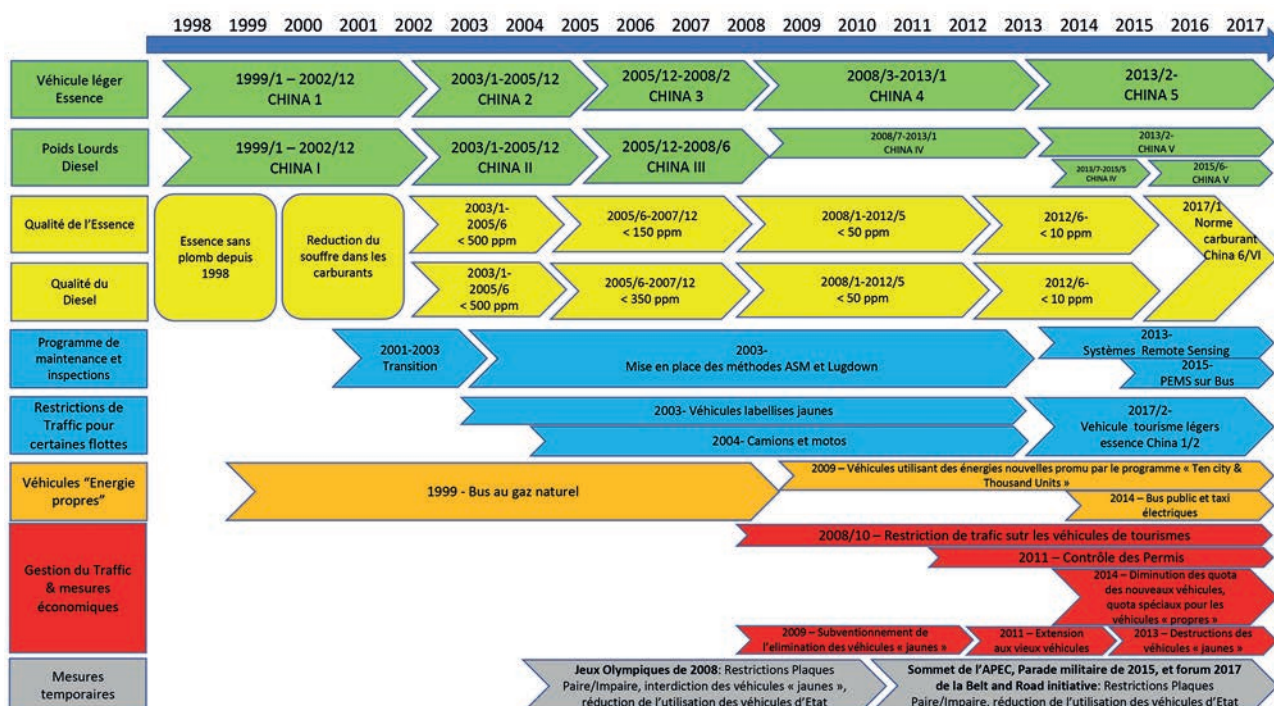


Figure 1 : Principales mesures de réduction des émissions du trafic routier à Pékin (reproduit à partir de UN ENVIRONMENT, 2019).



l'usage des véhicules électriques grâce à des mesures incitatives entrées en vigueur en 2015 (Zhang et Zhong, 2018).

Pour abaisser les hauts niveaux de pollution atmosphérique et atténuer leurs effets négatifs sur la santé, le Conseil d'État chinois a publié, en 2013, le Plan d'action de prévention et de contrôle de la pollution atmosphérique (APPCAP), qui comprenait dix mesures spécifiques et des objectifs de concentration à atteindre au plus tard à la fin 2017. Ce plan visant à contrôler la pollution de l'air en Chine est considéré, à ce jour, comme le plus strict. Grâce aux efforts constants de lutte contre la pollution atmosphérique, l'intensité des émissions a diminué d'année en année et la qualité de l'air s'est considérablement améliorée. Les données d'observation *in situ* montrent qu'à Pékin, entre 1998 et 2017, les concentrations moyennes annuelles de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et PM<sub>10</sub> ont diminué respectivement de 93 %, 38 % et 55 % (UN ENVIRONNEMENT, 2019).

L'impact sur la santé a également été évalué par le calcul des années de vie perdues (YLL), une façon complémentaire d'estimer les impacts des maladies associées aux polluants en prenant en compte à la fois les décès prématurés et la diminution de l'espérance de vie (Huang *et al.*, 2018). Les concentrations moyennes annuelles de PM<sub>2.5</sub> ont diminué de 33,3 %, les PM<sub>10</sub> de 27,8 %, le dioxyde de soufre de 54,1 % et le monoxyde de carbone de 28,2 %, entre 2013 et 2017. Cependant, aucun changement significatif n'a été observé pour les concentrations de dioxyde d'azote ou d'ozone. En 2017, à la suite d'une amélioration substantielle de la qualité de l'air, la mise en place de ce plan avait permis, d'après l'étude précitée, 47 240 morts de moins et 710 020 YLL de moins dans les 74 villes chinoises cibles.

## Les problématiques scientifiques récentes et à venir

Une revue de la littérature récente confirme les effets néfastes d'une exposition aux PM<sub>2.5</sub> sur la santé, notamment la mortalité globale, la mortalité cardiovasculaire, la mortalité respiratoire, l'hypertension, le cancer du poumon, la BPCO (bronchopneumopathie chronique obstructive) et la grippe.

L'examen approfondi d'études antérieures réalisé dans le cadre d'une étude récente (Miller et Xu, 2018) a identifié les priorités suivantes pour les recherches futures sur les effets des PM<sub>2.5</sub> sur la santé en Chine :

- poursuivre les études à long terme pour vérifier les effets d'une exposition sur la santé ;
- utiliser des données de campagnes d'échantillonnage à haute résolution ou des modèles de télédétection et/ou spatiaux par satellite pour obtenir dans des résolutions spatiales plus fines des informations relatives à des expositions ;
- réaliser des études de suivi personnel pour évaluer l'utilisation de la concentration extérieure comme indicateur indirect d'une exposition (par déploiement de micro-capteurs, notamment) ;

- étudier les mécanismes par lesquels l'exposition entraîne des effets néfastes sur la santé, en particulier dans un contexte multi-sources ;
- identifier des tendances saisonnières et les effets sur les différentes typologies de population ;
- évaluer l'impact de la composition chimique des particules sur la santé ;
- réguler et surveiller les PM<sub>1</sub> ;
- et déterminer les impacts d'une exposition à des particules ultrafines.

Ces axes de recherche sont similaires à ceux envisagés en Europe. Une étude récente a montré l'impact toujours important de l'industrie du charbon en Chine avec des émissions de méthane – le second plus important gaz à effet de serre – qui ne cessent de croître (Miller *et al.*, 2019).

Le contrôle drastique de la pollution atmosphérique en Chine depuis 2013 a permis une forte diminution des particules fines (PM<sub>2.5</sub>), mais les concentrations d'ozone sont restées à des niveaux élevés et sont, de surcroît, en augmentation. Après avoir éliminé l'effet de la variabilité météorologique, il semble que la réduction des oxydes d'azote n'explique pas à elle seule la tendance à la hausse des concentrations d'ozone. L'effet des particules sur la chimie de l'ozone (Li *et al.*, 2019) expliquerait également ces observations, ce qui obligera la communauté scientifique et les autorités gouvernementales à proposer des stratégies de réduction des émissions plus élaborées pour abaisser à la fois les concentrations de particules et d'ozone. L'effet global de l'augmentation des émissions de méthane pourrait également expliquer cette tendance à l'augmentation des concentrations d'ozone.

L'usage du véhicule électrique doit s'accompagner de mesures visant à contenir les émissions polluantes liées à la génération de l'électricité alimentant les batteries dans des pays comme la Chine, où l'électricité reste en grande partie produite par le recours à des énergies fossiles pouvant générer des émissions de gaz à effet de serre et des polluants (Chen *et al.*, 2018).

## Quelles perspectives ?

Le lien restera fort entre les problématiques environnementales et le bouleversement en cours de l'économie du pays. Dans un environnement économique favorable avec une croissance annuelle du PIB qui reste proche de 6 %, la croissance de l'industrie des services et le très bon niveau des infrastructures, associés à une montée en gamme des produits manufacturés, devraient contribuer à favoriser l'amélioration de la qualité de l'air en Chine. Néanmoins, le vieillissement de la population va accroître le niveau de risque au regard de cette population vulnérable, engendrant une augmentation des coûts de santé pour la société et mettant, par voie de conséquence, sous pression les autorités pour qu'elles continuent de prendre les mesures nécessaires. L'environnement, et particulièrement la qualité de l'air, devient une composante importante de la gestion des villes (par le concept de *Smart City*), dans lesquelles les nombreuses données disponibles peuvent

facilement remonter au niveau des municipalités pour définir des actions d'urgence ou de plus long terme afin d'améliorer la qualité de l'environnement à l'échelle locale.

En une dizaine d'années à peine, la Chine a clairement pris la tête des pays se voulant vertueux en matière de gestion de l'environnement. Cette déclaration récente prononcée lors d'une réunion des Nations Unies en témoigne :

« Nairobi, 15 mars 2019 – Le chef de la délégation chinoise, Zhao Yingmin, vice-ministre de l'Écologie et de l'Environnement, et Joyce Msuya, chef par intérim de l'ONU pour l'environnement, ont annoncé conjointement que la Chine serait l'hôte des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement, le 5 juin 2019, avec un thème sur la pollution de l'air. Chaque année, environ 7 millions de personnes dans le monde meurent prématurément de la pollution atmosphérique, dont environ 4 millions en Asie-Pacifique. La Journée mondiale de l'environnement 2019 exhortera les gouvernements, l'industrie, les communautés et les individus à se réunir pour explorer les énergies renouvelables et les technologies vertes, et améliorer la qualité de l'air dans les villes et les régions du monde. Le gouvernement de la Chine s'est engagé à organiser des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement dans plusieurs villes. Hangzhou, dans la province du Zhejiang, a été la ville hôte de l'événement principal. »

Cette annonce est intervenue alors que les ministres de l'Environnement du monde entier participaient au Forum sur l'environnement à Nairobi. Les négociations à la quatrième Assemblée des Nations Unies pour l'environnement, du 11 au 15 mars 2019, se sont attaquées à des problèmes critiques, tels que la réduction du gaspillage alimentaire ou la promotion des voitures électriques. Elle fait également suite à la publication d'un rapport de synthèse sur le contrôle de la pollution atmosphérique effectué depuis vingt ans à Beijing.

« La Chine sera l'un des meilleurs organisateurs mondiaux des célébrations de la Journée mondiale de l'environnement de 2019 », a déclaré Joyce Msuya lors de l'annonce faite lors de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement. « Le pays a fait preuve d'un *leadership* remarquable dans la lutte contre la pollution atmosphérique sur son territoire. Il peut maintenant aider le monde à agir plus efficacement. La pollution atmosphérique est une urgence mondiale qui concerne tout le monde. La Chine va maintenant diriger la campagne et stimuler l'action mondiale pour sauver des millions de vies. »

La Chine, avec son secteur des énergies vertes en pleine croissance, est devenue un leader des actions de lutte contre l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre. Le pays possède déjà la moitié des véhicules électriques et 99 % des bus électriques du monde. La Chine est aujourd'hui le deuxième pays en termes d'investissements écologiquement responsables, qui représentaient

18,7 % de l'investissement global dans ce secteur en 2018.

Selon le dernier rapport des Nations Unies sur la pollution atmosphérique en Asie et dans le Pacifique (UN ENVIRONMENT, 2019), la mise en œuvre de 25 politiques technologiques pourrait entraîner une réduction supplémentaire de 20 % des émissions de dioxyde de carbone et de 45 % des émissions de méthane dans le monde. Concernant les polluants atmosphériques, la Chine devra poursuivre ses efforts dans l'industrie, le contrôle du trafic routier et les secteurs de la production d'énergie, et étendre également ses mesures de gestion à l'agriculture.

## Références

- CHEN X., ZHANG H., XU Z., NIELSEN C. P., McELROY M. B. & LV J. (2018), "Impacts of Fleet Types and Charging Modes for Electric Vehicles on Emissions under Different Penetrations of Wind Power", *Nature Energy* 3, pp. 413-421.
- ZHANG Y. L. & CAO F. (2015), "Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in China at a city level", *Sci. Rep.* 5, 14884.
- GUINOT B. (2008), « Pollution atmosphérique et développement urbain en Chine : quelles perspectives ?, » in *Perspectives, chinoises*, pp. 67-76.
- GU Y., WONG T. W., LAW C. K., DONG G. H., HO K. F., YANG Y. & YIM S. H. L. (2018), "Impacts of sectoral emissions in China and the implications: air quality, public health, crop production, and economic costs", *Environ. Res. Lett.* 13, 084008, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad138>
- HUANG J., PAN X., GUO X. & LI G. (2018), "Health impact of China's Air Pollution Prevention and Control Action Plan: an analysis of national air quality monitoring and mortality data", *The Lancet Planetary Health* 2, 7, pp. 313-323.
- JIN X., XIAO C., LI J., HUANG D., YUAN G., YAO Y., WANG X., HUA L., ZHANG G., CAO L. *et al.* (2015), "Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing using positive matrix factorization", *J. Radioanal. Nuclear Chem.* 307, pp. 2147-2154.
- Ministry of Environmental Protection (MEP) (2012), Administration of Quality Supervision and Inspection Quarantine (AQSIQ), Ambient Air Quality Standards, GB3095-2012.
- MILLER L. & XU X. (2018), "Ambient PM<sub>2.5</sub> Human Health Effects-Findings in China and Research Directions", *Atmosphere* 9, 424.
- UN ENVIRONMENT (2019), "A Review of 20 Years' Air Pollution Control in Beijing", UNEP report.
- MILLER S. M., MICHALAK A. M., DETMERS R. G., HASEKAMP O. P., BRUHWILER L. M. P. & SCHWIETZKE S. (2019), "China's coal mine methane regulations have not curbed growing emissions", *Nature Communications* 10, 303.
- LI K., JACOB D. J., LIAO H., SHEN L., ZHANG Q. & BATES K. H. (2019), "Anthropogenic drivers of 2013-2017 trends in summer surface ozone in China", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (2), pp. 422-427.
- ZHANG X., BAI X. & ZHONG H. (2018), "Electric vehicle adoption in license plate-controlled big cities: Evidence from Beijing", *Journal of Cleaner Production* 202, pp. 191-196.

# Les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air : les constats de la Cour des comptes française

Par Ève DARRAGON,  
Marie-Ange MATTEI  
et Julien MARCHAL  
Cour des comptes

Le rapport sur les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air publié en 2016 souligne que l'impact de la pollution de l'air, notamment en termes de santé publique, justifie l'instauration d'une politique publique ambitieuse.

Or, la gouvernance de la lutte contre la qualité de l'air demeurait défailante. Les politiques suivies étaient porteuses d'effets contradictoires et les efforts restaient très inégaux selon les secteurs d'activité. Les plans nationaux qui s'étaient succédé sans jamais être totalement mis en œuvre étaient davantage des réponses aux injonctions de la Commission européenne que des cadres d'action pérenne, et le rapport coûts/bénéfices des actions engagées n'avait jamais été évalué *a posteriori*.

Les mesures prises ne permettaient pas d'atteindre le respect des seuils européens pour les concentrations de particules et d'oxydes d'azote dans bon nombre de zones, ce qui a conduit à l'engagement de procédures par la Commission européenne. La Cour relevait l'urgence d'une politique claire et ambitieuse, inscrite dans la durée, d'autant que de nouveaux objectifs de réduction des émissions ont été fixés par la directive NEC révisée pour 2030.

La Cour des comptes a mené en 2015, dans le cadre de la procédure d'assistance au Parlement, une enquête sur les politiques publiques de lutte contre la pollution de l'air extérieur. L'enquête auprès des administrations centrales a été complétée par des missions de terrain<sup>(1)</sup> et des déplacements dans cinq pays afin de mener des comparaisons internationales<sup>(2)</sup>.

Depuis lors, les connaissances relatives à la pollution de l'air ont sensiblement progressé avec la publication de nombreuses études scientifiques qui réévaluent notamment l'impact sanitaire de la pollution de l'air. De même, le cadre juridique a évolué avec le vote de la loi pour la transition énergétique et pour la croissance verte, ainsi qu'avec la publication du programme de réduction de la pollution atmosphérique révisé dit « PREPA 2 » et du troi-

sième Plan national Santé Environnement et, au niveau européen, l'adoption de la directive NEC révisée.

La plupart des constats et recommandations de la Cour restent néanmoins d'actualité.

## Des enjeux sanitaires et socio-économiques majeurs

Dans son rapport, la Cour soulignait que la lutte contre la pollution de l'air est un enjeu essentiel, compte tenu notamment de ses conséquences en termes de mortalité prématurée, de dépenses du système de soins et d'impacts socio-économiques globaux.

Les conséquences sur les pathologies respiratoires et cardiovasculaires étaient tout particulièrement mises en évidence par la littérature scientifique. De nombreuses études évoquaient également des liens avec d'autres pathologies comme le diabète, les affections prématurées et les naissances avant terme. Compte tenu des difficultés de modélisation, les chiffrages de mortalité prématurée

(1) Île-de-France, Vallée de l'Arve, agglomération de Grenoble, zones industrielles du Havre-Rouen et de Fos-Berre.

(2) Pays-Bas (Amsterdam, Rotterdam, La Haye), Allemagne, Suisse, Italie et Royaume-Uni (Londres).

ne peuvent être qu'approchés avec des fourchettes très larges, soit entre 17 000 et 42 000 décès par an selon une étude de Santé Publique France<sup>(3)</sup>. Si les chiffres demeurent incertains, l'importance de l'impact sanitaire de la pollution de l'air est avérée et confirmée par les données épidémiologiques et les études de risques sanitaires de zone<sup>(4)</sup> menées dans les grandes zones industrielles. Enfin, il est établi que les effets à long terme d'une pollution chronique sont plus nocifs que ceux des pics de pollution ponctuels<sup>(5)</sup> et que, s'agissant des particules, il n'y a pas de seuil de concentration en deçà duquel aucun effet sanitaire ne serait constaté<sup>(6)</sup>.

Les estimations de la prise en charge induite pour le système de soins (hors pathologies professionnelles<sup>(7)</sup>) s'élevaient entre 1 et 2 Md€, au regard d'un déficit de l'assurance maladie qui atteignait 6,5 Md€ en 2014<sup>(8)</sup>. L'impact socio-économique de la pollution aux particules fines et à l'ozone représentait près de 20 Md€ par an, un chiffre n'incluant ni l'impact sur les cultures (baisse des rendements agricoles et forestiers due à la pollution à l'ozone) ni le coût de la dégradation des bâtiments, notamment du patrimoine.

## Des actions qui ne sont pas à la mesure des enjeux

La lutte contre la pollution de l'air relève de textes relativement récents (loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996<sup>(9)</sup>) et se situe dans un cadre normatif fixé au niveau international<sup>(10)</sup>, notamment européen<sup>(11)</sup>.

### Une gouvernance insuffisante

La Cour relevait les faiblesses de la gouvernance nationale des politiques de lutte contre la pollution de l'air.

Elle notait également que les politiques publiques environnementales comportaient, pour certaines d'entre elles,

des contradictions avec l'objectif d'amélioration de la qualité de l'air. Certaines dépenses fiscales relatives notamment à la TICPE, continuaient par exemple à favoriser la consommation des énergies fossiles. Une contradiction importante était également relevée entre certaines mesures de la politique climatique (réduction des GES) et l'objectif « qualité de l'air ». Deux exemples étaient relevés : le chauffage au bois et la question du soutien au diesel. En ce qui concerne le bois-énergie, encouragé dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, il a été observé que le chauffage individuel au bois était responsable de l'émission de nombreux polluants (dont des particules et des COV). En ce qui concerne les transports, la politique de soutien aux véhicules diesel, se traduisant notamment par un différentiel de TICPE sur les carburants, a favorisé une forte diésélisation du parc (à 64 % en 2014, soit la plus forte proportion en Europe). Or, si ces véhicules émettent moins de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru, ils émettent plus de particules et d'oxydes d'azote que les motorisations essence<sup>(12)</sup>. Au-delà de la TICPE, des dispositifs d'aides tels que le bonus-malus ou la prime à la casse étaient assortis de conditions d'éligibilité uniquement basées sur les émissions de CO<sub>2</sub> et aucun, à l'exception de la prime à la conversion des vieux véhicules diesel, ne ciblait les émissions de polluants atmosphériques<sup>(13)</sup>.

La gouvernance de ces politiques était également marquée par un enchevêtrement d'acteurs. La forte dimension locale de la problématique « air extérieur » entraîne en effet l'intervention d'échelons territoriaux multiples : l'État pour l'élaboration des plans de protection de l'atmosphère (PPA), l'État et les régions pour les schémas régionaux climat air énergie (SRCAE) ou encore les communes et intercommunalités. L'articulation entre ces différents documents était complexe, d'autant que la Cour avait relevé que le principe de subsidiarité n'était pas systématiquement appliqué. Des interventions du niveau national perturbaient notamment la mise en œuvre de mesures importantes de certains PPA. Il en va ainsi de la décision de la ministre de l'Écologie de supprimer l'interdiction d'usage des foyers ouverts dans la zone sensible d'Île-de-France, mesure pourtant majeure pour l'équilibre du PPA régional, comme l'a d'ailleurs jugé le tribunal administratif de Paris<sup>(14)</sup>. De même, des mesures utiles localement n'avaient pu être mises en place faute de réglementation nationale adaptée : c'est le cas des zones de restriction de circulation, envisagées depuis 2009, prévues par les PPA de la région grenobloise et d'Île-de-France, mais dépourvues de base réglementaire nationale. Enfin, la Cour relevait que du fait de l'absence de financement des mesures des PPA, certaines d'entre elles ne pouvaient être mises en œuvre.

(3) Santé Publique France (2016), « Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique », juin.

(4) Études prospectives qui estiment, en se basant sur des modélisations, l'incidence sur la santé de la pollution en termes d'excès de risque en supposant que pour chaque polluant le niveau de pollution reste au niveau observé lors de l'étude pour la durée de la projection (trente ans).

(5) Note de position de l'Institut national de veille sanitaire, « Évaluation des conséquences sanitaires des pics de pollution atmosphérique ».

(6) Avis de l'AFFSET de mars 2009.

(7) La CNAMTS avait réalisé un bilan selon lequel, sur la période 2004-2013, près de 63 500 personnes avaient développé une maladie professionnelle en lien avec la pollution de l'air sur leur lieu de travail.

(8) Étude du CGDD et de l'INSERM actualisée par l'INSERM en 2015.

(9) De nombreuses lois sont venues compléter les dispositions de la loi LAURE, telles que le chapitre Air de la loi du 1<sup>er</sup> août 2008 sur la responsabilité environnementale, lois dites Grenelle de 2009 et 2010, et loi relative à la transition énergétique et à la croissance verte.

(10) Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière (1979) ; protocole de Göteborg (1999) relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique ; protocole de Montréal sur les substances qui détruisent la couche d'ozone.

(11) Directive dite NEC 2001/81/CE qui fixe des plafonds d'émission nationaux ; directive 2008/50/CE sur la qualité de l'air ambiant qui fixe des normes de concentration par polluant.

(12) Du moins jusqu'à la catégorie Euro 5.

(13) Le rapport citait *a contrario* l'exemple de la prime à la casse mise en place par la région de Lombardie, qui était basée sur les émissions de polluants.

(14) L'effet attendu de la mesure initialement prévue était de réduire de 15 % les émissions totales de particules.





Photo © Claudius Thiriet/ BIOSPHOTO

Épandage de lisier par système de buses palettes.

« Le secteur agricole représentait 67 % des émissions de méthane, 98 % de celles d'ammoniac et 53 % des émissions de particules. »

### Une contribution inégale des secteurs à la réduction des émissions

Le secteur industriel est celui qui affiche les efforts de réduction des émissions les plus anciens. Les directives européennes concernant les émissions industrielles<sup>(15)</sup> ont conduit les entreprises à mettre en œuvre des techniques parmi les meilleures disponibles mentionnées par les documents de référence (BREFS). En outre, des industriels ont mené des actions volontaires dans le cadre du programme REISTA<sup>(16)</sup>. Pour autant, la Cour relevait des points de vigilance : les déclarations d'émissions des industriels n'étaient pas toujours exhaustives<sup>(17)</sup> ; les facteurs d'émissions étaient parfois erronés et pour certains polluants, tels que les COV, des incertitudes de chiffrage liées aux conditions opératoires demeuraient élevées. En outre, les sources industrielles d'émissions demeuraient importantes dans les zones industrielles multi-émettrices comme les zones du Havre-Rouen et du pourtour de l'étang de Berre. La Cour notait que les connaissances sur

la toxicité des substances sont souvent issues de l'exposition professionnelle et recommandait en conséquence de renforcer les relations entre les services de médecine du travail, les CIRE et les ARS afin d'exploiter les données de la médecine du travail à des fins épidémiologiques et d'assainir les postes de travail.

La Cour recommandait de mettre en œuvre des dispositifs plus ambitieux dans le domaine des transports. Les valeurs limites d'émission des véhicules, fixées par les normes Euro, n'étaient ainsi pas respectées en conditions réelles de conduite pour les particules fines et encore moins pour les oxydes d'azote. Elles nécessitaient d'être révisées en ce qu'elles constituaient le fondement de l'ensemble de la politique adoptée en faveur de la qualité de l'air. La Cour recommandait également de rééquilibrer la fiscalité entre l'essence et le gazole. Enfin, des attermolements avaient compromis le déploiement de plusieurs mesures phares de la lutte contre la pollution de l'air : identification des véhicules en fonction de leurs émissions de polluants, mise en œuvre de zones de restriction de circulation (suite à l'abandon, en 2012, des zones d'action prioritaires pour l'air) ou encore de l'écotaxe poids lourds (dont l'abandon est intervenu en 2014).

Le secteur résidentiel-tertiaire est un contributeur important, notamment pour les émissions de particules, de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La

(15) Notamment, directive IPPC, puis directive IED du 24 novembre 2010 qui a remplacé sept directives, dont la directive IPPC.

(16) Programme pluriannuel de réduction des émissions industrielles de substances toxiques dans l'atmosphère.

(17) La Cour a ainsi relevé, dans un référé du 26 juin 2015 sur la gestion de la mutation industrielle du bassin de Lacq, des défaillances dans la comptabilisation et la surveillance des émissions de tétrachlorure de carbone, une substance dont l'usage est pourtant strictement encadré par le protocole de Montréal de 1987.

Cour relevait le non-respect fréquent de l'interdiction du brûlage des déchets verts, source importante de pollution, et notait que cette réglementation, qui repose essentiellement sur les maires, était d'application très variable sur le territoire. En ce qui concerne le chauffage au bois, certaines collectivités avaient mis en place, avec le soutien de l'ADEME, des fonds Air-Bois, afin d'encourager le renouvellement des appareils domestiques. La Cour soulignait la nécessité d'être vigilant sur le respect en conditions réelles d'utilisation des valeurs d'émissions affichées par les différents niveaux du label Flamme verte <sup>(18)</sup>, qui conditionne le bénéfice de certaines aides du fonds Air Bois et du crédit d'impôt transition énergétique.

Quant au secteur agricole, il demeurait très peu réglementé dans le domaine de la pollution de l'air, alors qu'il représentait 67 % des émissions de méthane, 98 % de celles d'ammoniac et 53 % des émissions de particules. Les moyens mis en œuvre demeuraient particulièrement modestes et leur efficacité faible. Si le ministère en charge de l'Agriculture indiquait que les marges de réductions des émissions demeuraient faibles, la Cour soulignait, au vu des expériences étrangères, que cette position sous-estimait certains potentiels de réduction comme la couverture des fosses à lisier, la méthanisation, la modification de l'alimentation du bétail ou l'amélioration des techniques d'épandage, des pratiques en vigueur aux Pays-Bas notamment. La Cour préconisait la mise en place d'aides ciblées, remboursables en cas de non mise en œuvre de mesures. Elle soulignait la nécessité d'adapter les exploitations agricoles, la France ne pouvant attendre pour agir l'échéance de 2030 fixée par la directive NEC <sup>(19)</sup>, qui prévoit pour la France une baisse de 23 % de ses émissions d'ammoniac par rapport à celles constatées en 2005.

## Des résultats encore insuffisants

### Les polluants réglementés

Le rapport relevait une amélioration globale mais lente des émissions et concentrations de polluants réglementés, c'est-à-dire de ceux pour lesquels la réglementation européenne fixe des valeurs limites.

Concernant les émissions, elle relevait cependant que la tendance baissière des PM<sub>2,5</sub> et des oxydes d'azote était freinée par les émissions du secteur des transports, notamment des véhicules diesel, et s'agissant plus particulièrement des PM<sub>2,5</sub> par celles du secteur résidentiel. De même, la Cour relevait la faiblesse de la réduction des émissions d'ammoniac, provenant pour l'essentiel du secteur agricole. En matière de concentration, l'absence de relation linéaire avec les émissions de polluants expliquait pourquoi, dans une quinzaine d'agglomérations

françaises, perduraient des valeurs dépassant les limites européennes, pour les PM comme pour le NO<sub>2</sub>.

Ces dépassements ont d'ailleurs conduit la Commission européenne à émettre le 29 avril 2015 un avis motivé concernant plusieurs territoires pour des valeurs dépassées concernant les PM <sup>(20)</sup>. La Commission a également mis en demeure la France, le 19 juin 2015, pour dépassement des valeurs limites de concentration du dioxyde d'azote sur dix-neuf zones.

### Les autres polluants d'intérêt sanitaire

La Cour préconisait d'étendre en la renforçant la surveillance à certains polluants à ce jour non réglementés : particules fines et ultrafines, méthane et pesticides. En ce qui concerne les particules, la Cour relevait que si la recherche avait longtemps abordé la question des particules en s'intéressant à leur masse, il convenait également d'analyser leurs caractéristiques physico-chimiques (nombre, composition chimique <sup>(21)</sup>). S'agissant des pesticides, le rapport relevait que les études menées à l'initiative de certaines AASQA montraient, sans exception, la présence de pesticides dans l'air, établissant ainsi « l'existence d'une contamination sinon généralisée du moins récurrente de l'air par les produits phytosanitaires ».

## La nécessité de mieux communiquer pour faire accepter les changements

La Cour reconnaissait que les changements nécessaires sont difficiles, car ils remettent en cause tant les comportements individuels (pour le mode de chauffage, les modalités de déplacement) que certaines politiques publiques.

Elle relevait que « l'acceptation des dispositifs de lutte contre la pollution de l'air par les agents économiques et le grand public est un élément central de la réussite de ces politiques ».

La Cour soulignait que de plus grands efforts d'information apparaissaient indispensables pour que chacun prenne conscience que non seulement la pollution de l'air l'affecte individuellement, mais que son action personnelle peut, de manière concrète, diminuer certaines émissions.

(18) Et, de fait, les investigations d'associations de consommateurs ont révélé en 2016 que les émissions en conditions réelles d'utilisation de certains produits labellisés dépassaient largement les performances annoncées, ce qui a conduit le MTES à revoir la procédure de contrôle des appareils labellisés Flamme verte et à demander à l'ADEME d'étudier une procédure de tests plus représentative des conditions d'usage par les ménages.

(19) Révisée en décembre 2015.

(20) Paris, Lyon, Grenoble, Marseille, Martinique, Rhône-Alpes, vallée de l'Arve, Marseille, Nice, Toulon, Douai-Béthune, Valenciennes.

(21) L'ANSES avait été saisie en juin 2014 par le ministère de la Santé et celui de l'Écologie d'une demande d'avis relatif à l'état des connaissances sur les particules dans l'air ambiant.

# Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée

Par Janusz WOJCIECHOWSKI  
et Colm FRIEL

Cour des comptes européenne

La Cour des comptes européenne, qui, en vertu du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, est le contrôleur externe de l'UE et la gardienne de ses finances, est une institution indépendante, dont les rapports ne comprennent pas d'éléments politiques. Il n'en demeure pas moins que les conclusions et les recommandations formulées dans le cadre des audits de la Cour véhiculent des messages veillant à améliorer l'efficacité et l'efficacités de la gestion des fonds de l'UE.

Le récent rapport spécial de la Cour sur la qualité de l'air dans l'Union européenne contient également un tel message. Nous l'avons aussi présenté lors du sommet climatique à Katowice (COP24) : il a eu un fort retentissement dans l'opinion publique et a fait l'objet de nombreux articles dans les médias européens et internationaux. Cela n'est guère étonnant étant donné que la pollution atmosphérique est la cause de la plus grande crise de santé publique dans l'Union européenne. Les maladies liées à la pollution atmosphérique entraînent chaque année le décès prématuré de plus de 400 000 personnes dans l'Union, principalement dans les États membres d'Europe centrale et orientale. Pourtant, aucune réponse politique adéquate n'a encore été apportée à cette question. L'Union ne consacre qu'un infime pourcentage de son budget à des actions visant directement l'amélioration de la qualité de l'air, alors qu'elle octroie des moyens beaucoup plus importants à des activités qui, en fin de compte, nuisent à cette dernière.

La Cour n'a pas pour mission d'indiquer à l'Union européenne à quels domaines ni dans quelle proportion elle doit affecter ses fonds. Son rôle est de vérifier que les fonds de l'UE ont été alloués de manière légale et aux fins prévues, ainsi que de s'assurer qu'ils produisent des résultats et génèrent une véritable valeur ajoutée. L'utilisation durable des ressources naturelles et les mesures prises en faveur du climat figurent parmi les domaines clés et prioritaires pour la Cour. Inscrit dans le programme de la Cour pour 2018 comme une tâche prioritaire, le rapport précité a été présenté à la veille du débat relatif au futur cadre financier pluriannuel de l'Union pour la période 2021-2027 et l'on peut s'attendre à ce qu'il soit pris en considération par le Parlement européen et le Conseil lors de la définition des priorités budgétaires de ce cadre. Le fait que la Commission européenne ait accepté les constatations et les recommandations de la Cour constitue un élément positif. En effet, cela devrait contribuer à renforcer les incidences sociales de cet audit.

Nous présenterons dans cet article les principales constatations faites lors de l'audit ainsi que les recommandations formulées par la Cour.

La Cour des comptes européenne présente ses rapports au Parlement européen et au Conseil de l'UE, ainsi qu'à d'autres parties intéressées telles que les Parlements nationaux. La grande majorité des recommandations formulées dans ses rapports sont mises en œuvre, ce qui témoigne de l'utilité de ses travaux pour les citoyens de l'UE.

Dans son rapport spécial n°23/2018 « Pollution de l'air : notre santé n'est toujours pas suffisamment protégée », la Cour met en lumière les actions engagées par l'UE pour protéger la santé humaine contre la pollution atmosphé-

rique. Pour Janusz Wojciechowski, le membre de la Cour responsable du rapport, si les mesures prises ont contribué à faire baisser les émissions de polluants, il reste encore beaucoup à faire.

## La pollution atmosphérique dans l'Union européenne

D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la pollution atmosphérique est le principal facteur environnemental de risque pour la santé dans l'Union européenne : elle y provoque chaque année quelque 400 000 décès



prématurés. Les particules (PM), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>) sont les polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé humaine. De plus, le coût sanitaire externe se chiffre en centaines de milliards d'euros par an <sup>(1)</sup>. L'Union européenne lutte contre la pollution atmosphérique depuis des années. La Cour – l'institution de l'UE dont la mission consiste à contribuer à l'amélioration de la gestion financière de l'UE – a décidé d'auditer la politique européenne en la matière. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux zones urbaines, où la santé humaine pâtit le plus lourdement de la pollution atmosphérique. Nous avons examiné la manière dont six villes de l'Union européenne (Bruxelles, Cracovie, Milan, Ostrava, Sofia et Stuttgart) ont traité le problème.

La Figure 1 ci-dessous indique la part des différentes sources des émissions de polluants atmosphériques dans l'Union européenne.

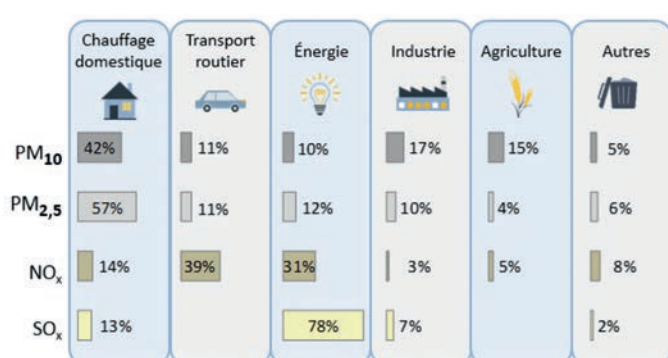


Figure 1 : Les sources de polluants atmosphériques dans l'Union européenne.

D'après l'Agence européenne de l'environnement (AEE), au cours des dernières décennies, les lois européennes (telles que celles qui ouvrent la voie aux nouvelles générations de carburant ou à l'abandon des équipements inefficaces) ont contribué à faire diminuer les émissions de polluants atmosphériques. Entre 1990 et 2015, les émissions de SO<sub>x</sub> dans l'UE ont ainsi baissé de 89 % et les émissions de NO<sub>x</sub> de 56 %. Depuis 2000, les émissions de PM<sub>2,5</sub> ont reculé de 26 % <sup>(2)</sup>.

## Que fait l'Union européenne ?

L'Union européenne lutte contre la pollution atmosphérique en fixant des valeurs limites de concentration des polluants dans l'air et en édictant des normes applicables aux sources d'émission de polluants. En particulier, la directive sur la qualité de l'air ambiant <sup>(3)</sup> arrêtée en 2008 fixe des normes de qualité de l'air (y compris des valeurs limites) relatives aux concentrations des polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé. Les États

membres doivent délimiter des zones de contrôle de la qualité de l'air sur leur territoire. Ils doivent procéder à une évaluation préliminaire de la qualité de l'air dans chacune de ces zones et mettre en place des réseaux de stations de mesure fixes dans les zones polluées. La directive comporte des critères de mesurage. Les États membres transmettent annuellement les données à la Commission ainsi qu'à l'AEE. Si les concentrations mesurées dépassent les normes, les États membres doivent établir des plans relatifs à la qualité de l'air pour traiter le problème dans les plus brefs délais. La Commission réalise une évaluation de ces plans et engage des poursuites si elle considère que les États membres ne se conforment pas à la directive.

En plus de fixer des limites de concentration, l'UE a légiféré afin de réduire les émissions de polluants atmosphériques de différents secteurs.

Après plusieurs stratégies, la Commission européenne a publié, en décembre 2013, le programme « Air pur pour l'Europe ». Celui-ci vise à s'attaquer au non-respect généralisé des normes de qualité de l'air de l'UE.

## Les normes établies dans la directive sont trop peu contraignantes

Par rapport aux lignes directrices de l'OMS, les valeurs limites de l'UE relatives à la qualité de l'air ambiant sont nettement moins strictes en ce qui concerne les PM<sub>2,5</sub> et le SO<sub>2</sub>, et sont moins rigoureuses pour ce qui est de la moyenne annuelle des niveaux de PM<sub>10</sub> et de l'ozone. Le Tableau 1 de la page suivante compare les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air et les valeurs standard de l'UE. En ce qui concerne l'O<sub>3</sub>, la valeur cible définie dans la directive est moins ambitieuse qu'elle ne l'était auparavant <sup>(4)</sup>.

## Les actions menées par les États membres n'ont pas été pour la plupart efficaces

Nous avons constaté que les États membres avaient partout réussi à améliorer les concentrations de polluants. Cependant, la plupart d'entre eux ne respectent toujours pas les valeurs limites pour les PM et le NO<sub>2</sub> fixées dans la directive. En 2016, six pays seulement, à savoir l'Estonie, l'Irlande, Chypre, la Lettonie, la Lituanie et Malte, n'étaient pas en infraction. Il y a plusieurs raisons à cela.

D'abord, il importe que les mesures des niveaux de pollution atmosphérique soient de bonne qualité, parce que c'est sur cette base que sont déclenchées les actions visant à réduire la pollution. Or, les critères de la directive relatifs à l'emplacement des points de prélèvement (pour les stations consacrées à la pollution industrielle ou dédiées à la circulation) sont multiples et laissent une latitude qui peut rendre les vérifications plus difficiles. En outre, il est

(1) Document SWD(2013) 532 final du 18 décembre 2013 intitulé « Résumé de l'analyse d'impact », p. 2.

(2) AEE (2017), *Emissions of the main air pollutants in Europe*.

(3) 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 (JO, L. 152 du 11 juin 2008, p. 1).

(4) Dans la directive 92/72/CEE, le seuil était fixé à 110 µg/m<sup>3</sup>, mais en vertu de la directive 2002/3/CE, la valeur cible actuelle s'élève à 120 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière sur huit heures, et vingt-cinq dépassements sont autorisés.



Polluant	Période	Lignes directrices de l'OMS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valeurs limites fixées dans la directive AAQ de l'UE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nombre annuel de dépassements des normes de l'UE autorisés
NO <sub>2</sub>	1 année	40	40	-
	1 heure	200	200	18
O <sub>3</sub>	8 heures	100	120	25
PM <sub>10</sub>	1 année	20	40	-
	24 heures	50 <sup>(a)</sup>	50	35
PM <sub>2,5</sub>	1 année	10	25	-
	24 heures	25	-	-
	24 heures	20	125	3
SO <sub>2</sub>	1 heure	-	350	24
	10 minutes	500	-	-

(a) L'OMS recommande d'utiliser cette valeur guide comme 99<sup>e</sup> centile (3 dépassements).

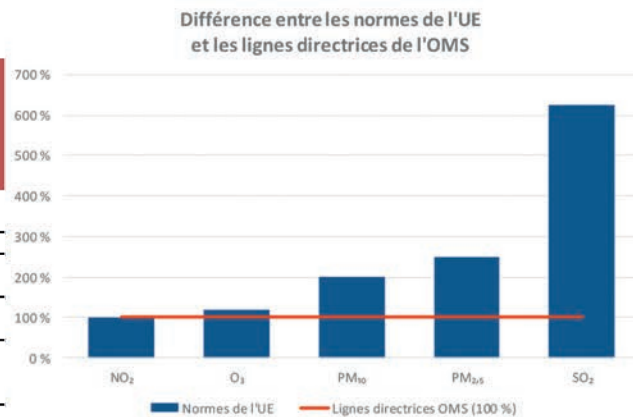


Tableau 1 : Comparaison entre les normes de qualité de l'air de l'UE et les lignes directrices de l'OMS (Sources : Lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air (2005) et directive 2008/50/CE).

très facile de respecter la directive à la lettre si les niveaux de pollution ne sont pas mesurés là où il le faudrait pour déterminer l'exposition de la population en général. Par exemple, à Bruxelles, il n'y a que deux stations de surveillance dédiées à la circulation, alors qu'elles sont au nombre de onze à Milan. Par ailleurs, notre audit a permis de constater un manque de stations de surveillance de type industriel. De plus, même quand les États membres disposent d'informations fiables indiquant des niveaux de pollution élevés, elles ne sont pas forcément prises en compte dans les données officielles transmises à la Commission européenne.

À cela s'ajoute le fait que les plans relatifs à la qualité de l'air – établis par les États membres quand les concentrations mesurées dépassent les normes – sont souvent inefficaces. Trop souvent, ces plans ne visaient pas les zones où les plus fortes concentrations de polluants avaient été relevées, les autorités locales chargées de les appliquer n'avaient pas compétence pour le faire, et ils ne s'accompagnaient pas d'estimations des coûts ou n'étaient pas financés. Par exemple, les véhicules diesel sont une importante source d'émission de NO<sub>2</sub>. Toutefois, les plans ne comportaient pratiquement aucune mesure visant à restreindre l'usage de ces véhicules à proximité des sites où étaient relevées les concentrations les plus élevées. À Cracovie, le dernier plan adopté ne contient pas assez de mesures de réduction des émissions industrielles, qui constituent pourtant une source majeure de pollution dans cette ville.

La législation européenne n'exige pas que les États membres rendent compte de la réalisation de leurs plans (souvent très volumineux) à la Commission, ni qu'ils les actualisent régulièrement. Malheureusement, les plans donnent vraiment l'impression que la quantité a primé sur la qualité des informations.

## La prise de mesures coercitives par la Commission demande beaucoup de temps

En janvier 2018, la Commission était engagée dans seize procédures d'infraction liées à la pollution particulaire in-

tentées contre des États membres devant la Cour de justice de l'Union européenne : treize procédures relatives au NO<sub>2</sub>, une liée au SO<sub>2</sub> et deux concernant la surveillance de la pollution atmosphérique. La Commission a besoin de beaucoup de temps pour préparer ces procédures – jusqu'à huit ans – avant même de saisir la Cour. Et bien que la Cour de justice ait donné raison à la Commission, les arrêts pris n'obligeaient pas les États membres poursuivis à prendre des mesures correctrices.

## Certaines politiques de l'UE ne tiennent pas suffisamment compte de l'importance de la pollution atmosphérique

Un grand nombre de politiques de l'UE ont des incidences sur les polluants atmosphériques, notamment les politiques mises en œuvre en matière de changement climatique, d'énergie, de transport et de mobilité, d'industrie et d'agriculture. Les objectifs dans les domaines du climat et de l'énergie à l'horizon 2030, qui visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 %, à porter à 27 % minimum la part des énergies issues de sources renouvelables et à améliorer l'efficacité énergétique d'au moins 27 %, peuvent contribuer à la réduction des émissions polluantes. Cependant, des incohérences ont été constatées dans certains domaines, notamment :

- les véhicules diesel, qui rejettent moins de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) que les véhicules à essence, ont joué un rôle crucial dans le respect par les constructeurs automobiles de l'UE de leurs obligations de réduction des émissions de CO<sub>2</sub><sup>(5)</sup>. L'évolution technologique ainsi que les normes Euro<sup>(6)</sup> ont entraîné une nette diminution des émissions de CO<sub>2</sub> et de PM de ces véhicules, sans produire d'aussi bons résultats en ce qui concerne leurs émissions de NO<sub>x</sub>. Depuis des années, les émissions de NO<sub>x</sub> en conditions de conduite réelles sont plus élevées

(5) Les exigences en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> (130 g par km pour 2015 et 95 g par km pour 2020), établies dans le règlement (UE) n°333/2014.

(6) Les émissions de CO<sub>2</sub> sont limitées en vertu de règlements spécifiques, tels que le règlement (CE) n°443/2009.

que celles produites en conditions d'essai. Le scandale du « dieselgate » a fait apparaître l'importance ainsi que les causes de ces différences<sup>(7)</sup>, et la Cour a récemment produit un document d'information relatif à la réaction de l'UE face au scandale<sup>(8)</sup>. Avant ce scandale, la Commission avait déjà commencé à travailler sur une procédure d'essai plus réaliste au niveau de l'UE. Toutefois, le respect en conditions réelles de conduite de la norme Euro, qui limite les émissions de NO<sub>x</sub> à 80 mg/km (et qui a été adoptée par les législateurs de l'UE en 2007 en vue d'une application en 2014) n'est toujours pas obligatoire ;

- les politiques de l'UE promeuvent la biomasse en tant que source d'énergie renouvelable. En 2009, la directive sur les énergies renouvelables<sup>(9)</sup> a exigé que l'UE couvre au moins 20 % du total de ses besoins énergétiques en faisant appel aux énergies produites à partir de sources renouvelables, à l'horizon 2020. Depuis lors, le montant des fonds de l'UE affectés à des projets en rapport avec la biomasse a plus que doublé<sup>(10)</sup> : il est d'ailleurs plus important que le montant disponible pour des projets visant à améliorer la qualité d'air. Dans notre rapport spécial n°5/2018 relatif aux énergies renouvelables et au développement rural durable, nous avons cependant fait observer que la combustion de biomasse pouvait également entraîner une hausse des émissions de certains polluants atmosphériques nocifs. L'AEE a fait état de problèmes similaires ;
- bien que les politiques de l'UE réglementent les pratiques agricoles, les progrès en matière de réduction des polluants atmosphériques d'origine agricole ont été très lents, et les émissions de NH<sub>3</sub> (un précurseur des PM) sont même en hausse depuis 2012<sup>(11)</sup>. L'AEE a constaté que des mesures pour lutter contre ces émissions n'ont pas été adoptées à l'échelle et avec la rigueur nécessaires<sup>(12)</sup> ;
- s'il est vrai que le montant des crédits disponibles dans ce domaine, en particulier, est passé de 880 millions d'euros au cours de la période de programmation 2007-2013 à 1,8 milliard d'euros pour la période 2014-2020, sa part dans le budget total alloué à la politique de cohésion est toutefois restée inférieure à 1 % ;
- force est aussi de constater que la fiscalité des carburants – un domaine qui relève de la compétence nationale et non européenne – favorise les ventes de gasoil

(7) Voir le rapport d'enquête du Parlement européen, ainsi que ceux des autorités allemandes (<https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/bericht-untersuchungskommission-volkswagen.pdf>), françaises (<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/164000480.pdf>) et britanniques (<https://www.gov.uk/government/publications/vehicle-emissions-testing-programme-conclusions>). En conditions réelles de conduite, les émissions moyennes des véhicules diesel peuvent être quatre à cinq fois plus élevées que les valeurs d'essai (AEE, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/main-anthropogenic-air-pollutant-emissions/assessment-4>, 2015).

(8) Document d'information « La réaction de l'UE au scandale du « dieselgate » », Cour des comptes européenne, février 2019.

(9) Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil.

(10) Il est passé de 1,6 milliard d'euros pour la période 2007-2013 à 3,4 milliards d'euros pour la période 2014-2020 (Source : données Commission européenne).

(11) Cour des comptes européenne (2018), « L'avenir de la PAC », Document d'information, p. 11.

(12) AEE, *Air quality in Europe – report*, 2017, pp. 24-29.

dans tous les États membres, excepté la Hongrie et le Royaume-Uni<sup>(13)</sup>. Le transport routier, et en particulier les voitures diesel, étant une source majeure d'émission de NO<sub>2</sub>, réduire ces émissions n'est pas chose facile.

## L'action des citoyens joue un rôle croissant

L'information du public est un élément essentiel dans la lutte contre la pollution atmosphérique et la réduction de ses effets néfastes<sup>(14)</sup>. La directive sur la qualité de l'air ambiant fixe des seuils d'alerte pour le SO<sub>2</sub>, le NO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub>, mais pas pour les PM, et oblige les États membres à fournir des informations détaillées au public. Celui-ci est donc en mesure de jouer son rôle dans le contrôle des mesures prises par les États membres, en particulier lorsque les résultats impliquent des choix politiques difficiles. L'action locale est importante, mais suppose une sensibilisation du public : les citoyens ne peuvent participer à la politique et intervenir activement, y compris en changeant eux-mêmes de comportement, que s'ils sont bien informés.

La législation nationale varie fortement d'un pays à l'autre et les organisations de la société civile ont constaté que les citoyens se heurtaient à des obstacles pour accéder à la justice dans certains États membres. Cependant, les récentes actions en justice intentées par des citoyens et des ONG contre des autorités de leur pays témoignent de l'importance croissante de leurs initiatives. En République tchèque, en Allemagne, en France, en Italie et au Royaume-Uni, des juridictions nationales ont rendu des décisions sanctionnant le droit des citoyens à l'air pur et ont enjoint aux États membres concernés de prendre davantage de mesures pour lutter contre la pollution atmosphérique.

Nous avons vérifié les informations diffusées en ligne par les autorités publiques à l'intention des habitants des six villes où des visites ont été effectuées. Les États membres, régions et villes définissent chacun à leur façon les indices de qualité de l'air, de sorte que, pour une même qualité d'air, les évaluations seront différentes (voir le Tableau 2 de la page suivante). Un même niveau de pollution atmosphérique ayant partout les mêmes effets néfastes sur la santé humaine, le fait de qualifier différemment une même qualité d'air nuit à la crédibilité des informations fournies.

La directive exige que les États membres informent le public des effets possibles de la pollution atmosphérique sur sa santé. Les informations publiées en ligne par les autorités publiques, concernant ces effets et les mesures que les citoyens peuvent prendre pour atténuer les risques, étaient parfois limitées et difficiles à trouver. Ce problème est d'autant plus grave que les normes de l'UE sous-estiment les risques liés à une mauvaise qualité de l'air.

(13) AEE (2017), *Transport fuel prices and taxes indicators*.

(14) AEE (2017), « Une meilleure qualité de l'air est bénéfique à la santé humaine et contribue à la lutte contre le changement climatique » ; OMS (2016), *Global Report on Urban Health*, p. 206.

Valeur de l'indice selon le niveau horaire/journalier de PM		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	140	180	≥ 200				
AEE		bonne			satisfaisante		moyenne		médiocre				mauvaise						
Bruxelles	excellente	très bonne		bonne		assez bonne		moyenne		médiocre		très médiocre		mauvaise		très mauvaise		déplorable	
Milan	bonne			satisfaisante			médiocre			mauvaise			déplorable						
Cracovie	très bonne			bonne			moyenne			passable		mauvaise		très mauvaise					
Ostrava	très bonne			bonne			satisfaisante			acceptable		médiocre		très médiocre					
Stuttgart	très bonne		bonne		satisfaisante		passable		mauvaise				très mauvaise						
Sofia	bonne			satisfaisante			passable			mauvaise		très mauvaise		très mauvaise					

Tableau 2 : Indices de qualité de l'air relatifs aux PM<sub>10</sub> (mars 2018).

Les villes ciblées par notre audit emploient divers outils pour informer le public. Le Tableau 3 ci-contre répertorie quelques-unes des bonnes pratiques auxquelles elles recourent pour ce faire.

## Conclusion

L'action de l'Union européenne visant à protéger la santé humaine contre la pollution atmosphérique n'a pas produit les effets escomptés. Le lourd coût humain et économique de la pollution n'a pas encore suscité d'action appropriée à l'échelle de l'UE.

La réduction des émissions est bénéfique pour la qualité de l'air, mais la santé des citoyens continue de pâtir lourdement de la pollution atmosphérique. Parmi les normes de qualité de l'air de l'UE, plusieurs sont trop peu contraignantes au regard des effets avérés de la pollution atmosphérique sur la santé. Les États membres ne respectent pas souvent ces normes et n'ont pas agi avec une efficacité suffisante pour améliorer la qualité de l'air. Le contrôle assuré par la Commission et les mesures coercitives qui y ont fait suite n'ont pas véritablement changé le cours des choses. Certaines politiques de l'UE ne tiennent pas encore suffisamment compte de l'importance à accorder à l'amélioration de la qualité de l'air. Les citoyens peuvent jouer un rôle de premier plan dans le contrôle de la mise en œuvre par les États membres de la directive sur la qualité de l'air ambiant, comme le montrent les décisions

Cartes spatiales avec modélisation	Bruxelles, Milan et Ostrava
Notifications lors des pics de pollution (SMS, courriers électroniques ou autres)	Bruxelles, Cracovie et Ostrava
Applications pour <i>smartphone</i>	Ostrava et Cracovie
Panneaux d'affichage dans les espaces publics (rues et métro)	Cracovie et Sofia
Séries de données téléchargeables destinées à l'analyse	Bruxelles, Stuttgart, Milan et Cracovie
Système d'alerte précoce reposant sur les prévisions météorologiques	Stuttgart

Tableau 3 : Bonnes pratiques en matière d'information des citoyens.

de justice rendues en leur faveur dans plusieurs pays, un public qui est d'ailleurs de mieux en mieux sensibilisé et informé.

Nous adressons à la Commission européenne plusieurs recommandations visant à améliorer la qualité de l'air. Elles ont trait à des actions plus efficaces que la Commission devrait engager, à la révision de la directive sur la qualité de l'air ambiant, à l'intégration de la qualité de l'air en tant qu'aspect prioritaire dans les autres politiques de l'UE, et à l'amélioration de la sensibilisation et de l'information du public.

La Commission termine actuellement un « Bilan de qualité » de la directive. Nous espérons que les résultats de notre audit vont aider la Commission et les autorités législatives à revoir la directive et à mieux en assurer la mise en œuvre, pour une meilleure protection de notre santé.

# Les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) au service des collectivités pour la reconquête de la qualité de l'air

Par Guy BERGÉ  
Président de Atmo France

Avec 68 000 morts par an en France, l'air est une problématique sanitaire, économique et politique incontournable, mais aussi une attente sociétale de plus en plus prégnante. L'amélioration de la qualité de l'air est un enjeu partagé, dans lequel les collectivités territoriales ont toute leur place. En tant que chefs de file et/ou au titre de leurs compétences, elles contribuent, avec les services de l'État, à la mise en œuvre sur leur territoire de mesures visant à améliorer la qualité de l'air.

Elles ont l'opportunité de s'appuyer sur les organismes experts que sont les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Acteurs du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, les AASQA ont développé dans ce domaine une véritable expertise en matière de surveillance, d'étude, d'anticipation et d'action. Elles mettent leur capacité d'action à la disposition des collectivités afin de les aider à intégrer la qualité de l'air dans leurs décisions et leur communication en matière d'urbanisme, de qualité de vie et d'environnement.

## Les AASQA, des expertes de la surveillance de la qualité de l'air depuis plus de quarante ans

Nées dans les années 1970, les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) sont présentes sur l'ensemble du territoire français (voir la Figure 1 ci-contre).

Les AASQA ont vu leurs missions évoluer, passant d'un besoin de connaissances et de disposer d'états des lieux à une logique d'accompagnement des politiques territoriales en faveur de la qualité de l'air.

Avec la mise en application de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 (dite loi LAURE), à laquelle elles avaient contribué, le Code de l'environnement leur confie des missions réglementaires et la réalisation d'un Programme régional de surveillance de la qualité de l'air (PRSQL) qui s'ouvre également à des missions d'intérêt général portées collégialement par leurs membres.

Les AASQA sont aujourd'hui principalement en charge de quatre grandes missions. Ce sont d'abord des obser-

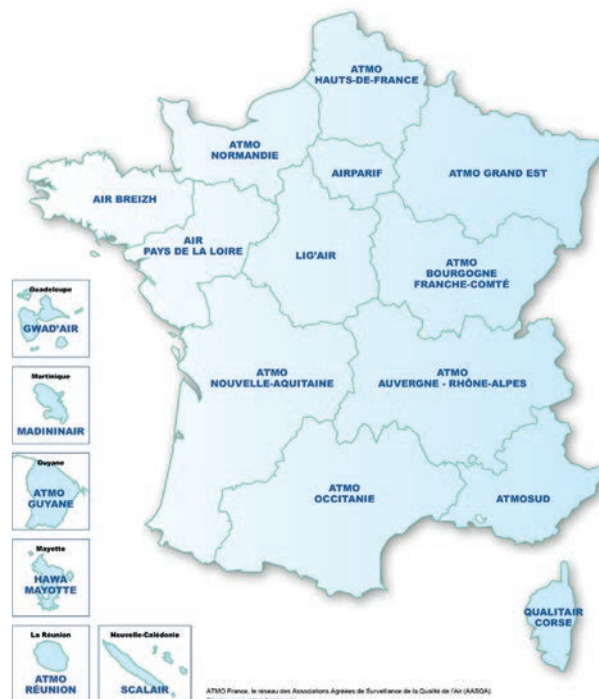


Figure 1 : La carte des AASQA (©Atmo France).



vatoires qui surveillent et prévoient la qualité de l'air par des mesures et des modélisations (cartographies et scénarisations) et qui gèrent les bases de données locales d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre, mais aussi des productions et consommations d'énergie. Leur champ d'intervention couvre un large panel de polluants réglementés (particules, oxydes d'azote et de soufre, ozone...) étendu aux gaz à effet de serre, à l'air intérieur, aux pesticides dans l'air, aux pollens, aux odeurs, etc. Elles ont pour seconde mission d'informer et de sensibiliser la population et les acteurs locaux au quotidien et en cas d'épisodes de pollution. Leur troisième mission est d'accompagner les décideurs par l'évaluation des actions réalisées ou prévues de lutte contre la pollution de l'air, de décarbonation des énergies nouvelles et de réduction de l'exposition de la population à la pollution de l'air. Enfin, elles participent à l'amélioration des connaissances et à la réalisation d'expérimentations innovantes dans les territoires.

Leur gouvernance collégiale inscrite dans la loi sur l'Air de 1996 (État, collectivités territoriales, émetteurs, associations et personnes qualifiées santé/environnement) favorise la concertation entre les experts et les acteurs locaux pour conduire des études sur la qualité de l'air respiré par les citoyens et accompagner la mise en œuvre des solutions de remédiation air-climat-énergie-santé. Leur financement est diversifié (État, collectivités territoriales, entreprises *via* des dons libératoires de taxes générales sur les activités polluantes), ce qui garantit leur neutralité et leur indépendance.

Les AASQA font partie du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, avec le ministère en charge de l'Environnement et le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), lequel regroupe l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) et l'IMT Lille Douai.

Ces associations s'inscrivent ainsi dans le cycle vertueux de la qualité de l'air (voir la Figure 2 ci-contre) en identifiant les sources de pollution (maillon émissions), en observant la pollution respirée (maillon qualité de l'air), en évaluant les expositions à la pollution de l'air extérieur et intérieur (maillon expositions) et en accompagnant les acteurs dans l'élaboration des plans et programmes de dépollution, comme le Plan régional santé environnement (PRSE), le Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET), le Plan Climat Air Énergie territorial (PCAET), le Plan de protection de l'atmosphère (PPA), le Plan local d'urbanisme (intercommunal) (PLU), le Schéma de cohérence territoriale (SCT), le Plan de mobilité, etc.

Depuis de nombreuses années, les AASQA ont adopté une approche transversale air-climat-énergie intégrant le volet sanitaire afin de limiter et de faire face à certains antagonismes et d'exercer leurs missions en tant qu'observatoires de l'air. En effet, les actions menées en faveur du climat peuvent dégrader la qualité de l'air extérieur et intérieur si elles ne font pas l'objet de dispositions particu-



Figure 2 : Le cycle vertueux de la qualité de l'air (©Atmo France).

lières. À titre d'exemple, la rénovation thermique permet de limiter très fortement les consommations énergétiques et donc les émissions dans l'atmosphère, mais elle doit s'accompagner d'une attention particulière à apporter aux enjeux de la qualité de l'air intérieur. Par ailleurs, l'utilisation de bois-énergie, favorable à la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, peut entraîner des rejets importants de polluants impactant la santé, si certaines conditions ne sont pas respectées.

Les associations de surveillance de la qualité de l'air sont regroupées au sein d'une fédération, Atmo France, pour les représenter au niveau national et partager expertise et moyens.

Atmo France et les AASQA poursuivent ainsi un objectif d'intérêt général : contribuer, aux côtés des autres acteurs nationaux, à doter la France d'un dispositif assurant la surveillance de la qualité de l'air et l'évaluation des actions visant à améliorer et à accroître l'attractivité de notre territoire.

## La pollution de l'air, un problème majeur de santé environnementale

Avec 68 000 morts par an en France, l'air est le deuxième sujet de préoccupation des Français après l'emploi. L'impact de la pollution de l'air sur la santé fait même partie du Top 3 des préoccupations environnementales des Français avec la dégradation de la faune et la flore et le réchauffement climatique <sup>(1)</sup>. Forte est l'attente sociale vis-à-vis des institutions publiques dans leur réponse aux inquiétudes des citoyens sur les impacts délétères des polluants atmosphériques, notamment parce que l'État est le garant du respect de la réglementation européenne.

Bien que la qualité de l'air se soit nettement améliorée ces vingt dernières années <sup>(2)</sup> et tende à respecter les di-

(1) <https://www.ademe.fr/enquete-francais-lenvironnement-vague-5>

(2) L'évolution des procédés mais aussi du tissu industriel, le renouvellement régulier du parc routier et des installations de chauffage et le développement des transports en commun ont conduit à des réductions notables des rejets polluants pris dans leur globalité.

rectives européennes, des millions de Françaises et de Français vivent dans des territoires largement affectés par des dépassements des valeurs guides conseillées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) concernant les particules, les oxydes d'azote et l'ozone.

Les polluants atmosphériques ont des effets néfastes sur l'environnement : les bâtis (détérioration des façades), les écosystèmes et les cultures (nécroses foliaires par l'ozone, par exemple). Leurs coûts sont évalués à plusieurs milliards d'euros.

Différentes études montrent que le coût non sanitaire de la pollution de l'air est significatif. En juillet 2015, une commission d'enquête du Sénat présidée par le sénateur Jean-François Husson, par ailleurs président d'ATMO Grand Est, a estimé *a minima* son coût à 100 milliards d'euros par an <sup>(3)</sup>.

La pollution atmosphérique fait partie, selon l'Organisation mondiale de la santé, des dix menaces pesant sur la santé au niveau mondial <sup>(4)</sup>.

Régulièrement des études scientifiques continuent de confirmer les effets néfastes d'une mauvaise qualité de l'air intérieur et extérieur <sup>(5)</sup>.

L'amélioration de la qualité de l'air est donc un enjeu partagé, dans lequel les collectivités territoriales ont toute leur place. En nouant des partenariats avec les AASQA, l'un des acteurs nationaux d'un dispositif assurant la surveillance de la qualité de l'air et l'évaluation des actions visant à l'améliorer, ces collectivités peuvent concrètement améliorer la qualité de l'air sur leurs territoires respectifs et crédibiliser des actions souvent impopulaires.

## Le rôle et les obligations des collectivités territoriales et des EPCI en matière d'amélioration de la qualité de l'air

Les collectivités territoriales et les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) sont des acteurs importants de la lutte contre la pollution atmosphérique.

En tant que chefs de file des régions et/ou au titre de leurs compétences exclusives, ils contribuent, avec les services de l'État, à la mise en œuvre sur leur territoire de mesures visant à améliorer la qualité de l'air. En effet, le Code de l'environnement impose que « l'État assure, avec le concours des collectivités territoriales dans le respect de leur libre administration et des principes de décentrali-

sation, la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement <sup>(6)</sup> ».

Ils sont également en première ligne dans l'obligation de la surveillance de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les établissements recevant du public (ERP), dont ils sont propriétaires <sup>(7)</sup> : crèches et écoles maternelles et élémentaires, centres de loisirs et établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du second degré (collèges, lycées, etc.). Ils doivent notamment assurer une évaluation des moyens d'aération et établir un plan d'action de la QAI ou faire réaliser des mesures de celle-ci.

Lors d'épisodes de pollution, les collectivités sont également parties prenantes. En effet, la loi a octroyé au préfet compétence pour informer la population et arrêter, après consultation des représentants des collectivités territoriales, les mesures d'urgence appropriées afin de limiter l'ampleur de la pollution et ses effets sur les populations. Les collectivités peuvent également agir au titre de leurs compétences propres, par exemple en matière de mobilité, notamment de tarification des transports en commun, ou encore au titre des compétences de police générale du maire.

Les documents d'urbanisme et de planification mis en place par les collectivités intègrent également des mesures pour agir en faveur de la qualité de l'air.

En tant qu'organismes de transports, maîtres d'ouvrage des projets d'urbanisme, ou encore gestionnaires de leur patrimoine bâti, les collectivités et les EPCI doivent anticiper et maîtriser l'impact de leurs décisions sur l'environnement.

Ils peuvent intégrer dans leurs plans trois enjeux majeurs : la réduction des émissions de polluants, la limitation de l'exposition des citoyens et l'action en synergie avec les autres thématiques environnementales.

Parmi les différents outils des collectivités et des EPCI, la problématique de la qualité de l'air peut être intégrée dans différents plans : les SRCAE, les PCAET, les PPA, les PDU, les PLU, les SCT, les Agenda 21 locaux...

Compte tenu de leur échelle d'action, de leur responsabilité et de leurs compétences (urbanisme, mobilité, etc.), les collectivités sont donc des acteurs incontournables de l'action en faveur de la qualité de l'air. Elles jouent un rôle indéniable à travers la prise en compte des enjeux atmosphériques et de leurs impacts sur la santé dans les politiques publiques qu'elles mettent en œuvre.

## Une logique partenariale AASQA/collectivités territoriales

Les AASQA mettent leur expertise à la disposition des collectivités afin de les aider à intégrer la qualité de l'air dans leurs décisions et leur communication en matière d'urbanisme, de qualité de vie et d'environnement.

(3) [http://www.senat.fr/commission/enquete/cout\\_economique\\_et\\_financier\\_de\\_la\\_pollution\\_de\\_lair.html](http://www.senat.fr/commission/enquete/cout_economique_et_financier_de_la_pollution_de_lair.html)

(4) <https://www.who.int/fr/emergencies/ten-threats-to-global-health-in-2019>

(5) Étude du King's College et Airparif sur la pollution de l'air et le trafic routier, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118321687?via%3Dihub> ; Étude du JAMA sur le lien entre l'amélioration de la qualité de l'air et la diminution de l'asthme, <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/2733972> ; Étude sur le nombre de décès dus à la pollution de l'air aux échelles nationale, européenne et mondiale, <https://academic.oup.com/eurheartj/article/40/20/1590/5372326>

(6) Article L. 221-1 du Code de l'environnement.

(7) <https://www.ecologique-solaire.gouv.fr/sites/default/files/Surveillance%20de%20la%20qualit%C3%A9%20de%20l%27air%20enfants%20202018-2023%20-%20collectivit%C3%A9s.pdf>

À travers des accompagnements personnalisés, elles jouent un rôle déterminant d'aide à la décision publique.

Elles aident à dresser un diagnostic territorial de la qualité de l'air afin de mieux connaître les enjeux et les leviers d'action du territoire en la matière. À travers un état initial de l'environnement, ce diagnostic permet de définir des objectifs concrets et d'orienter le programme vers une réduction des nuisances de la pollution atmosphérique et une atténuation du changement climatique.

Elles étudient les différents scénarios envisagés afin d'aider la collectivité à définir et à déployer des solutions adaptées à son territoire : avec un accompagnement dans l'évaluation des solutions de réduction de la pollution de l'air mises en œuvre, il est possible de mesurer l'impact des projets d'infrastructures et d'aménagement sur la qualité de l'air.

Elles évaluent les actions mises en place afin d'améliorer l'évaluation de leur impact et leur efficacité.

Par ailleurs, elles communiquent avec les citoyens afin de les sensibiliser et de faire évoluer leurs comportements. La communication avec le citoyen est l'un des leviers contribuant au succès d'un plan. Les AASQA accompagnent les collectivités en mettant à leur disposition des outils d'information et de sensibilisation variés (panneaux d'exposition, affiches, formations, etc.).

En plus de ces différents partenariats possibles, les collectivités territoriales peuvent prendre part au cycle vertueux de la qualité de l'air (voir la Figure 2 de la page 60). Cela passe à la fois par la prise de conscience du caractère polluant de certaines pratiques, l'engagement sur la voie de la modernisation et du remplacement des appareils les moins performants et la diffusion des bonnes pratiques, notamment dans le cadre des règles de la commande publique, et en faisant appel au volontariat.

### Des exemples concrets d'aides à la décision proposées par les AASQA : les inventaires régionaux spatialisés (IRS) et les cartes stratégiques air (CSA)

#### Les inventaires régionaux spatialisés (IRS)

Les IRS recensent les émissions dans l'atmosphère de plusieurs dizaines de polluants, ainsi que des gaz à effet de serre d'origines diverses notamment issus des secteurs résidentiel, tertiaire, routier, autres transports, agricole, déchets, industriels. Des travaux sur l'énergie sont également disponibles.

De l'échelle communale à celle de la région, ils permettent de disposer d'un état des lieux des tonnages de polluants émis, avec des niveaux de détails élevés, et de confectionner des indicateurs pouvant aider au pilotage de différents travaux et plans réglementaires. Une spatialisation de ces émissions permettra de les cartographier à l'échelle des territoires.

Ces inventaires peuvent être utilisés afin d'identifier des zones à enjeux, qui pourront être par la suite investiguées (études, modélisation...). Mais ils jouent un rôle majeur, comme données d'entrée, dans les chaînes de modélisa-

tion à différentes échelles, notamment en haute résolution pour les agglomérations. Ils participent donc largement à la fabrication de cartographies des concentrations de polluants inhalés en air ambiant.

Les IRS permettent l'évaluation des politiques publiques dans le cadre du Plan national de réduction des émissions des émissions atmosphériques (PREPA) et l'établissement d'un diagnostic des émissions sur l'année considérée. Et dans le cadre de l'accompagnement des AASQA, ils servent largement dans l'aide à la décision par le biais de la scénarisation. En effet, analyser les politiques publiques, réaliser les scénarios d'évolution des émissions (dans le temps, évolution de l'activité) permet aux AASQA de disposer d'une solide expertise qu'elles mettent au service notamment des collectivités dans le cadre des différents plans et programmes : PPA, PCAET, SRADDET...

Les AASQA réalisent depuis de nombreuses années des IRS. L'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant leur confère un caractère réglementaire. Leur approche intégrée et transversale air-énergie-climat apporte, par ailleurs, une valeur ajoutée à proposer aux différents décideurs.

#### Les cartes stratégiques air (CSA)

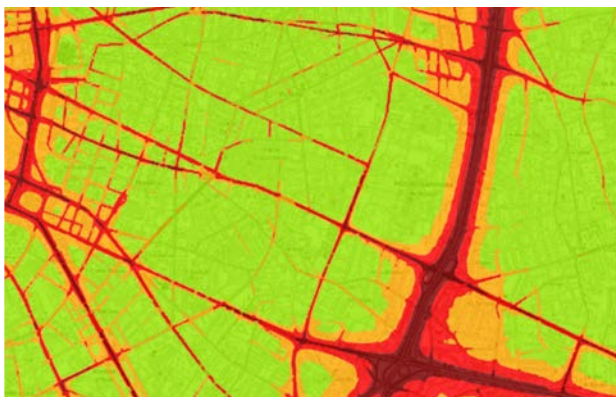
L'atténuation de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique est un enjeu majeur dans l'aménagement du territoire, en particulier dans un contexte où l'intensification urbaine peut contribuer à aggraver cette exposition. De manière générale, le développement urbain est très contraint, et le « critère air » étant délicat à appréhender, son intégration est souvent difficile. Aussi, il est apparu nécessaire de disposer de « cartes stratégiques air » (voir la Figure 3 de la page suivante), des outils de diagnostic simples, harmonisés, partagés et acceptés, pour que l'exposition de la population à la pollution atmosphérique soit prise en compte dans la conception de l'urbanisme. Les AASQA ont ainsi développé avec Atmo France une méthodologie harmonisée (voir la Figure 4 de la page suivante) inscrite dans le 3<sup>ème</sup> Plan national Santé Environnement conduisant à l'élaboration de cartes stratégiques air, en adoptant une approche intégrative de plusieurs polluants et délimitant notamment les « zones d'air prioritaires » pour les actions de dépollution.

Ces CSA permettent ainsi de cerner les principales zones problématiques en termes de qualité de l'air. Elles ont pour vocation de préciser les zones prioritaires, dans lesquelles des actions d'urbanisme pourraient être mises en œuvre afin de limiter l'exposition de la population à la pollution de l'air.

Les CSA sont également des outils de suivi dans le cadre de l'évaluation environnementale avec le guide d'aide à la définition des mesures Éviter Réduire Compenser (ERC<sup>(8)</sup>) du Commissariat général au Développement durable.

(8) <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9matique%20-%20Guide%20d%E2%80%99aide%20%C3%A0%20la%20d%C3%A9finition%20des%20mesures%20ERC.pdf>





Carte stratégique Air

- Zone préservée
- Zone à risque de dépassement réglementaire
- Zone en dépassement réglementaire
- Zone "Air" prioritaire

Figure 3 : Un exemple de carte stratégique air (©Atmo France).

Les collectivités territoriales ont donc l'opportunité de s'appuyer sur les organismes experts que sont les AASQA pour participer pleinement à l'élaboration et à la mise en œuvre de la politique de surveillance de la qualité de l'air et à son amélioration.

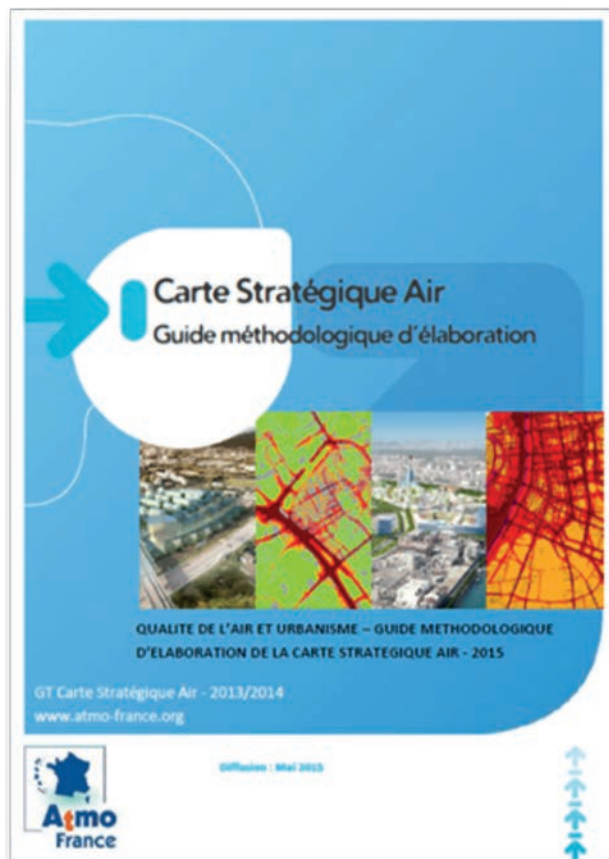


Figure 3 : Le guide d'élaboration des cartes stratégiques air.



# Les collectivités, des acteurs clés pour agir en faveur de la qualité de l'air

Par Nadia HERBELOT  
ADEME

Malgré les progrès sensibles réalisés ces vingt dernières années, les concentrations de polluants dans l'air dépassent dans certaines zones les normes de qualité de l'air des directives européennes, notamment dans les territoires fortement urbanisés et dans certaines vallées montagneuses.

Tous les secteurs d'activité contribuent à la pollution atmosphérique. À titre d'exemple, en 2017, à l'échelle nationale <sup>(1)</sup>, les oxydes d'azote étaient émis à 63 % par les transports, l'ammoniac l'était à 97 % par l'agriculture, et les particules PM<sub>10</sub> <sup>(2)</sup> étaient émis pour 36 % par le résidentiel tertiaire, 28 % par l'industrie, 20 % par l'agriculture et 14 % par les transports. Cela étant, ces chiffres nationaux masquent des disparités spatiales : ainsi, en Île-de-France, les transports sont responsables de 34 % des émissions de PM<sub>10</sub> <sup>(3)</sup>. Il y a donc lieu d'agir sur tous les secteurs d'activité et aux différentes échelles pour réduire la pollution atmosphérique. Or, les collectivités, de par leurs missions, leurs obligations (Plan climat air énergie territoriaux – PCAET) et leurs compétences (urbanisme, habitat, mobilité, énergie...), disposent de leviers d'action efficaces pour œuvrer en faveur de la qualité de l'air.

## Agir via la politique d'urbanisme

Les décisions en matière de planification et d'aménagement des territoires ont des impacts directs sur l'environnement et sur la santé des citoyens. Résultant des orientations fixées dans les documents de planification (schémas de cohérence territoriale (SCoT), plans locaux d'urbanisme intercommunaux (PLUi) et cartes communales, plans de déplacements urbains (PDU)...), ainsi que des choix faits en matière d'aménagement des espaces bâtis et non bâtis, la composition des ambiances urbaines a un impact sur les nuisances (bruit, qualité de l'air...) auxquelles sont exposées les populations.

Les problématiques environnementales et sanitaires engendrées par ces politiques doivent néanmoins être appréhendées en lien avec les problématiques sociales et économiques, en adoptant une approche intégrée.

Ainsi, les politiques urbaines soutenant la mixité fonctionnelle et la densité favorisent l'amélioration de la qualité de l'air en réduisant les émissions de polluants (proximité des

transports collectifs, des lieux de destination des déplacements, pistes cyclables...). En revanche, elles risquent d'accroître l'exposition des populations. Des mesures doivent donc être prises afin de limiter ce phénomène.

De même, les espaces ouverts (nature en ville, parcs, jardins, voire espaces agricoles et naturels) constituent, par opposition à une densité élevée du bâti, des espaces de respiration, permettant la circulation de l'air et la dispersion des polluants. Ils peuvent aussi représenter un potentiel de fixation des polluants atmosphériques (en fonction des types de végétalisation et selon les espèces végétales), mais peuvent également, dans certaines conditions, limiter la ventilation des rues et la dispersion des polluants (notamment dans les rues « canyons » et/ou si le ratio entre le volume des arbres et le volume total de la rue est trop élevé). En outre, certaines espèces sont émettrices de polluants (composés organiques volatils) ou allergisantes. Tous ces éléments sont à prendre en considération dans les choix à faire, en lien avec les autres bénéfices de la nature en ville <sup>(4)</sup>.

(1) Source : CITEPA [https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten#Evolution\\_emi\\_gd\\_secteurs](https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten#Evolution_emi_gd_secteurs)

(2) Particules de diamètre inférieur à 10 micromètres.

(3) <https://www.maqualitedelair-idf.fr/w2020/wp-content/uploads/2018/02/PPAjanvier18-sans-fiche.pdf>

(4) <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/amenager-avec-la-nature-en-ville-010658.pdf>

À l'échelle de l'aménagement de l'espace, plusieurs paramètres ont une influence sur l'exposition des populations et sur la dispersion des polluants. Sont ainsi à prendre en compte : l'occlusivité (obstacles verticaux) qui obstrue les flux d'air, mais peut aussi être mise à profit grâce à des bâtiments « masques » : par exemple, pour protéger des espaces sensibles de voies au trafic soutenu ; la rugosité (obstacles horizontaux) influence fortement la vitesse du vent en fonction des inégalités de hauteur de la canopée urbaine. De même, les configurations « en canyon » bloquent le flux d'air et limitent la ventilation. La complexité des rues et leur obstruction (rapport entre l'écartement des immeubles et leur hauteur) sont aussi des facteurs aggravants. Bien entendu, il ne faut pas occulter les autres priorités de la composition urbaine (prise en compte de la violence du vent au niveau local, exposition des bâtiments...) au nom de la seule qualité de l'air : celle-ci ajoute un niveau de complexité et des besoins d'analyse supplémentaires.

Enfin, les aménagements peuvent permettre de solutionner des problèmes de congestion, de sécurité routière (piétons...), de partage de la route, de réduction de la vitesse, et de favoriser les modes actifs. Dans chacun de ces cas, il convient de se poser la question de l'impact de ces aménagements sur la qualité de l'air, mais aussi sur le climat, sur le plan de la surchauffe urbaine, du bruit et, plus largement, de la qualité de vie dans les espaces urbains.

## Agir sur la mobilité

La réduction de l'impact des mobilités sur la qualité de l'air doit passer en priorité par la diminution ou l'effacement des déplacements et le développement des mobilités actives.

Les collectivités ont un rôle majeur à jouer dans ce domaine : développement de tiers lieux, exemplarité en leur qualité d'employeur s'agissant du télétravail ou de l'indemnité kilométrique vélo, mise en œuvre d'actions pour favoriser la marche et le vélo sur leur territoire (par exemple, réaliser un plan vélo ou un plan mobilités actives incluant notamment des autoroutes interurbaines vélo, le développement de parkings vélo sécurisés, la levée des freins à la pratique de la marche et du vélo liés aux coupures urbaines et/ou aux infrastructures inadaptées...).

Si la mobilité ne peut être réduite ou remplacée par une mobilité active, il y a alors lieu de réduire la mobilité individuelle, en favorisant le partage des véhicules et le recours aux transports collectifs (par exemple, en créant un schéma départemental de covoiturage reposant sur la mise en œuvre de solutions opérationnelles favorisant cette pratique sur courte distance et permettant des déplacements multimodaux à l'aide des outils numériques, des aménagements de la voirie pour favoriser le partage modal : stationnement vélo, diminution de l'emprise de la voiture, réduction des vitesses maximales autorisées et des vitesses moyennes, etc.).

Dans les cas où la mobilité en véhicule motorisé reste indispensable, il est possible de mettre en œuvre des dis-

positifs, tels que :

- Les zones à faibles émissions : ce sont des zones où sont interdits de circuler les véhicules les plus polluants avec pour objectif premier d'améliorer la qualité de l'air. Il en existe plus de deux cents en Europe<sup>(5)</sup>. La mise en place de ce type de zone n'a pas d'impact significatif sur la diminution du parc roulant, mais elle en accélère le renouvellement par des véhicules plus récents.
- Les péages urbains : l'automobiliste se voit imposer le paiement d'une taxe pour accéder ou circuler dans certaines zones urbaines. L'objectif affiché est soit de financer une infrastructure routière, soit de fluidifier le trafic, soit de réduire les nuisances environnementales. Ils ont pour vocation d'orienter le voyageur vers des modes de transport plus propres en modifiant le signal-prix. En général, la totalité des recettes sont redistribuées au profit des transports en commun et d'autres projets de mobilité<sup>(6)</sup>.
- Les zones à trafic limité : elles se définissent comme une zone dont l'accès est restreint pour certains types d'usagers dans le but d'apaiser la circulation dans ladite zone, en réorganisant la mobilité en faveur des transports en commun et des mobilités actives. L'objectif est d'améliorer la qualité de vie et de participer à la sauvegarde du patrimoine à travers une diminution du trafic dans la zone considérée<sup>(7)</sup>.

Ces dispositifs peuvent se combiner entre eux (avec souvent des périmètres « concentriques »). Cependant, ils ne peuvent constituer à eux seuls une solution aux problèmes de dépassements des valeurs limites réglementaires pour la qualité de l'air et doivent donc s'inscrire dans le cadre de plans d'action plus larges. Leur développement, en particulier s'agissant des zones à faibles émissions, paraît toutefois être un outil nécessaire à mettre à la disposition des décideurs pour agir dans le sens du développement durable des villes et territoires urbanisés.

Enfin, le sujet de la logistique urbaine est également à prendre en considération. Une démarche d'engagement volontaire, soutenue par l'ADEME et le ministère de la Transition écologique et solidaire, s'adresse à toutes les collectivités territoriales, communes et à tous les établissements publics de coopération intercommunale qui souhaitent mettre en œuvre une stratégie concertée et planifiée sur les transports de marchandises et la logistique urbaine<sup>(8)</sup>.

Dans tous les cas, et quelles que soient les mesures envisagées, il est fondamental d'identifier les actions permettant une appropriation par les administrés des mesures mises en œuvre (ou envisagées) par la collectivité : sensibilisation à la nécessité de faire évoluer les pratiques de chacun ; avantages et inconvénients des changements envisagés ; identification de relais d'opinion légitimes ;

(5) <https://www.ademe.fr/zones-a-faibles-emissions-low-emission-zones-lez-a-travers-leurope>

(6) <https://www.ademe.fr/etat-lart-peages-urbains>

(7) Objet d'un rapport en instance de publication : <https://www.ademe.fr/mediatheque>

(8) <https://www.ademe.fr/engagement-volontaire-faveur-logistique-urbaine>

développement des savoirs et compétences nécessaires à la mise en œuvre de l'action (par exemple, savoir faire du vélo) ; aides financières nécessaires (en fonction des publics ciblés) ; mise à disposition de moyens matériels (par exemple, locaux vélos sécurisés, bornes de recharge de véhicules électriques) ; etc.

## Agir sur le résidentiel et le tertiaire

### La gestion des déchets verts

Malgré une réglementation restrictive, le brûlage à l'air libre des déchets verts perdure. Cette pratique est pourtant identifiée comme une source notable d'émissions de polluants dans l'air et de risques d'incendies. En outre, les déchets ainsi brûlés constituent une ressource qui pourrait utilement être valorisée pour protéger et fertiliser les sols.

Au-delà de leur rôle en matière de formation et de communication, les collectivités territoriales doivent créer les conditions du développement de solutions alternatives pour gérer leurs propres déchets verts et mobiliser les particuliers afin qu'ils adoptent des pratiques plus vertueuses.

Les solutions alternatives au brûlage à l'air libre des déchets verts sont multiples. Elles sont présentées dans le guide de l'ADEME « Alternatives au brûlage des déchets verts, les collectivités se mobilisent<sup>(9)</sup> ».

Le choix doit être adapté au territoire et la priorité donnée aux actions sur le gisement : préventives, elles minimisent les impacts environnementaux et les coûts de gestion.

### Le chauffage

En 2016, le secteur résidentiel-tertiaire représentait 35 % des émissions de  $PM_{10}$  (source CITEPA), en grande majorité du fait des émissions des installations de chauffage, notamment domestique.

Sur ce thème, les collectivités peuvent agir sur différents aspects complémentaires. En premier lieu, bien entendu, respecter et si possible aller au-delà des prescriptions techniques pour les installations de combustion dont elles ont la gestion. Mais également rénover le parc de bâtiments publics pour en limiter les consommations énergétiques (en veillant dans ce cadre à préserver la qualité de l'air intérieur, voir l'article dédié à ce sujet dans le présent ouvrage).

Elles peuvent également agir auprès de leurs habitants au travers de l'incitation et l'aide : d'une part, en matière de rénovation de l'habitat (en soutenant et en relayant notamment les conseils techniques et financiers dispensés par le réseau FAIRE<sup>(10)</sup>) et, d'autre part, en contribuant au renouvellement des appareils de chauffage non performants et à leur bonne installation et utilisation.

En effet, les émissions de polluants atmosphériques des appareils individuels de chauffage dépendent fortement

du type de l'appareil et de son ancienneté. Des progrès technologiques importants ont notamment été réalisés sur les appareils de chauffage au bois pour réduire de façon très significative leurs émissions. Ainsi, pour une même quantité d'énergie produite, un appareil récent plus performant émet jusqu'à treize fois moins de particules fines qu'un foyer fermé antérieur à 2002 et jusqu'à trente fois moins qu'un foyer ouvert, moyennant des pratiques adéquates d'installation, d'utilisation et d'entretien. Le renouvellement du parc peut donc permettre de réduire fortement les quantités de polluants émises.

Cette action de renouvellement des appareils à bois est à inscrire dans une politique globale de rénovation énergétique des logements et de baisse des consommations, avec pour corollaire une réduction des émissions atmosphériques.

À noter que ces fortes réductions sont atteintes seulement si elles s'accompagnent de la mise en œuvre de bonnes pratiques (qualité du combustible, gestion du feu, entretien) et d'un dimensionnement de l'appareil adapté au besoin. Ces actions nécessitent la diffusion d'informations et la sensibilisation du grand public. Les collectivités peuvent dans ce cadre utiliser notamment des outils de communication développés par l'ADEME<sup>(11)</sup>, les professionnels<sup>(12)</sup> ou les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air<sup>(13)</sup>.

### Les chantiers

Les activités des chantiers du bâtiment et des travaux publics (BTP) émettent de nombreux polluants dans l'air, à l'instar d'autres activités humaines. Selon les inventaires d'émissions du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), les activités du BTP contribuent en France de manière significative aux émissions nationales de polluants (données 2011), notamment les poussières (TSP : 17 %), les particules fines ( $PM_{10}$  : 12 %,  $PM_{2,5}$  : 7 %) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM : 9 %). Ces émissions proviennent des divers matériels et produits utilisés sur les chantiers du BTP (combustion des moteurs des engins ou des véhicules, envol de poussières issues des sols ou des matériaux manipulés, évaporation des solvants et autres composés volatils contenus dans les peintures et enrobés...).

La nature et l'ampleur relative de ces émissions varient selon les types de chantiers et empêchent donc toute généralisation des résultats parcellaires issus d'études de cas. Quelques grandes tendances peuvent tout de même être données.

Les chantiers de démolition de grande ampleur émettent, sur des durées restreintes, beaucoup plus de poussières (TSP) et de particules fines et ultrafines ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,

(9) <https://www.ademe.fr/alternatives-brulage-dechets-verts>

(10) Pour trouver un conseiller près de chez vous : [www.faire.fr](http://www.faire.fr)

(11) <https://www.ademe.fr/poele-a-bois-chaudiere-insert> et <https://www.ademe.fr/chauffage-bois-mode-emploi>

(12) Exemple de vidéos réalisées par France Bois Bûche : <http://www.franceboisbuche.com/les-conseils-pratiques>

(13) Exemple en région Auvergne Rhône-Alpes (AURA) : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/chauffage-au-bois-et-qualite-de-lair>





Photo © Castell/ANDIA.FR

Recours à l'arrosage pour limiter la dispersion des poussières dans un chantier de démolition d'un ancien immeuble HLM à Nantes.

« Dans les chantiers de construction/réhabilitation, les activités de terrassement et l'utilisation d'engins de chantier sont fortement émettrices de poussières et de particules fines, du fait de la mise en suspension des poussières du sol et des particules émises par les moteurs diesel des engins utilisés. Là aussi, de multiples mesures d'atténuation existent, dont beaucoup relèvent "du bon sens" (aspersion, bâchage, logistique...). »

PM,) que les chantiers de construction. Les niveaux de concentrations dans l'air pour ces polluants diminuent néanmoins très rapidement. Des mesures d'atténuation peuvent s'avérer très efficaces, comme les jets d'eau ou les barrières qui sont souvent utilisés dans les chantiers du BTP.

Dans les chantiers de construction/réhabilitation, les activités de terrassement et l'utilisation d'engins de chantier sont fortement émettrices de poussières et de particules fines, du fait de la mise en suspension des poussières du sol et des particules émises par les moteurs diesel des engins utilisés. Là aussi, de multiples mesures d'atténuation existent, dont beaucoup relèvent « du bon sens » (aspersion, bâchage, logistique...).

Enfin, des émissions de COVNM sont plutôt observées lors de la pose d'enrobés ou l'utilisation de peintures et autres produits à base de solvants. Peu d'études ont été réalisées sur la quantification de ces émissions de

COVNM, qui représentent une très large famille de substances complexes à analyser. Pour les peintures, ces émissions peuvent être atténuées grâce à une réglementation se traduisant par des teneurs limites de COV par litre de produit. Pour la pose d'enrobés, de nouvelles techniques se développent (recours aux enrobés tièdes) qui devraient permettre d'atténuer leurs émissions en COVNM.

La mise en œuvre des chantiers du BTP peut localement être plus contraignante, notamment lorsque le risque est particulièrement élevé : quota d'émissions à ne pas dépasser, mise en place d'une surveillance systématique de la qualité de l'air, restrictions d'utilisation des engins motorisés (temps de fonctionnement au ralenti, obligation d'entretien, standards d'émissions minimum, etc.).

Les collectivités, en leur qualité de maîtres d'ouvrage de nombreux chantiers, disposent donc de leviers intéressants pour agir afin de diminuer les impacts de ce secteur sur la qualité de l'air.



# Pollution de l'air : ce que veulent les associations

Par Olivier BLOND

Respire

En France, la pollution de l'air tue 48 000 personnes par an. Elle est ainsi à l'origine d'une crise sanitaire majeure. Mais la réponse de l'État, et plus précisément du ministère de la Santé, n'est pas à la hauteur des enjeux, comme l'indiquent la comparaison avec les politiques publiques contre l'insécurité routière ou le tabagisme, et les avis formulés par les tribunaux administratifs et le Conseil d'État, voire les décisions de l'Union européenne. Les associations appellent donc à ce que soit enfin mis en place un grand plan national de lutte contre la pollution de l'air.

## L'ardente nécessité de l'adoption d'un plan ambitieux de lutte contre la pollution de l'air

La pollution de l'air tue plus que les guerres, les meurtres et les accidents réunis. En France, elle cause entre 48 000 et 67 000 morts prématurées chaque année, selon les études, soit vingt fois plus que les affaires du sang contaminé ou du Mediator, et deux cents fois plus que le scandale de la vache folle. La pollution de l'air est ainsi devenue l'une des trois premières causes de mortalité en France, avec la cigarette et l'alcool. Selon certains calculs, c'est même la toute première.

Lors des pics de pollution qui surviennent avec une régularité insupportable, chacun peut ressentir ce goût collant et métallique dans la gorge ; les yeux ou le nez piquent, les lampadaires s'entourent d'un halo inaccoutumé, la tour Eiffel disparaît dans une brume persistante. Mais le reste du temps, les victimes restent invisibles, comme l'est la pollution.

Pourtant, sur de grandes parties du territoire national, en particulier dans les zones urbaines denses, la pollution de l'air dépasse les normes légales une bonne partie de l'année. En Île-de-France, par exemple, environ un million de personnes habitent ainsi dans des zones où elles sont exposées aux dépassements des normes légales de dioxyde d'azote. Si l'on prend pour référence les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), plus exigeantes, alors la quasi-totalité de la population française respire un air toxique.

Or, le véritable danger ne réside pas tant dans les pics de pollution que dans l'exposition quotidienne à des polluants qui entrent dans nos poumons et se diffusent ensuite dans le reste du corps pour causer cancers et troubles cardiovasculaires mortels. L'OMS affirme ainsi que la pollution de l'air est responsable de près d'un tiers

des accidents cérébro-vasculaires (AVC), des infarctus et des cancers du poumon. Selon l'OMS, toujours, la pollution de l'air est le plus grave facteur de risque environnemental, il est responsable de la mort d'une personne sur 9 dans le monde<sup>(1)</sup>.

Face à cette crise sanitaire majeure, on pourrait attendre des réactions rapides et importantes. Bref, une réponse à la hauteur des enjeux. Il n'en est rien. Il y a vingt ans, Corinne Lepage, alors ministre de l'Environnement du gouvernement d'Alain Juppé, mettait en place la loi sur l'air qui pose les bases de l'action actuelle. La loi porte aujourd'hui son nom. Mais depuis, que s'est-il passé ? Rien, ou presque.

La pollution de l'air est ainsi à l'origine du plus grand scandale sanitaire français. Et comme dans les autres scandales sanitaires, mais à une échelle plus large encore, on retrouve avec la pollution de l'air un écheveau d'aveuglements politiques, de données scientifiques enterrées, d'intérêts industriels égoïstes, de fraudes (dont l'affaire Volkswagen ne constitue qu'un aspect), de lobbying honteux, de dysfonctionnements et d'abandons à presque tous les étages des institutions censées nous protéger<sup>(2)</sup>.

Ces vingt années de déni ou d'intrigues nous placent aujourd'hui dans une situation critique, face à laquelle aucune demi-mesure n'est satisfaisante. Quelques jours de circulation différenciée ne résoudront pas le problème après tant d'années d'inaction : les véritables solutions nécessitent une vision globale à long terme et le courage politique de prendre des mesures fortes. Il faut un grand plan national de lutte contre la pollution de l'air, et Respire (Association nationale pour l'amélioration de la qualité de

(1) <https://www.who.int/airpollution/en/>

(2) BLOND O. (2019), *Respirez, solutions pour lutter contre la pollution de l'air*, Éditions Eyrolles.

l'air et la défense des victimes) demande l'adoption d'un tel plan, depuis des années, avec insistance mais malheureusement sans succès.

La comparaison avec les dispositifs de santé mis en place pour faire face à la canicule, au tabagisme ou à l'insécurité routière donne la mesure de ce manque et de l'inaction de l'État français.

L'État a ainsi mené de grandes campagnes nationales de prévention contre les accidents de la route, mis en place l'obligation du port de la ceinture de sécurité, formé les jeunes conducteurs au travers de la transformation du permis de conduire. En 1993, un Observatoire national interministériel de la sécurité routière a été créé sous l'autorité du Premier ministre. Et les résultats sont là : alors que les accidents de la route tuaient plus de 15 000 personnes par an dans les années 1970, la mortalité a été divisée par presque cinq pour descendre à environ 3 500 personnes par an. Preuve que les gouvernements peuvent agir efficacement !

Quant au programme national de lutte contre le tabagisme lancé en 2018, il est l'aboutissement d'une longue succession de programmes et de plans d'action. Il se donne des objectifs quantitatifs clairs, comme réduire la part des fumeurs quotidiens à moins de 17 % – soit 5 millions de fumeurs de moins qu'en 2017. Il est appuyé par un financement conséquent : un Fonds de lutte contre le tabac doté de 100 millions d'euros par an<sup>(3)</sup>. La lutte contre le tabac inclut des mesures contraignantes fortes (interdiction de fumer dans les lieux publics), des taxes conséquentes (environ 80 % du prix d'un paquet) et des mesures réglementaires qui ont contrarié les industriels (paquet neutre). Il est dirigé par un comité national de pilotage, présidé par le directeur général de la Santé<sup>(4)</sup>.

La lutte contre la canicule, quant à elle, a donné lieu à la création d'un plan national avec quatre niveaux d'alerte, la mobilisation d'un nombre impressionnant d'organismes, allant des directions ou délégations ministérielles aux agences de sécurité sanitaire, à des organismes nationaux comme Météo France, aux professionnels de santé et aux associations<sup>(5)</sup>.

Malheureusement, rien de tel n'existe pour la pollution de l'air, alors que de nombreuses solutions pratiques existent et pourraient être mises en œuvre pour diminuer la pollution et l'exposition des populations<sup>(6)</sup>.

Alors que le consensus est total dans le monde scientifique sur l'ampleur de la crise, alors que les éléments de comparaison montrent combien l'inertie de l'État est scandaleuse, eh bien... rien ne change. Le nombre des morts continue d'augmenter dans une indifférence coupable et choquante.

Et ce ne sont pas seulement quelques militants associatifs qui l'affirment : les autorités judiciaires concernées ont chacune condamné la faiblesse du dispositif français.

Le Conseil d'État, dans une décision du 12 juillet 2017, a ainsi constaté que « les plans de protection de l'atmosphère établis dans les zones concernées n'ont pas permis d'assurer, dans un délai raisonnable, le respect des valeurs limites et en déduit que de nouvelles mesures doivent être prises afin que soient respectées les obligations fixées par la directive et reprises dans le Code de l'environnement. Il enjoint (ainsi) au Premier ministre et au ministre chargé de l'Environnement de prendre toutes les mesures nécessaires pour que soient élaborés et mis en œuvre... des plans relatifs à la qualité de l'air permettant de ramener, dans ces zones, les concentrations de dioxyde d'azote et de particules fines PM<sub>10</sub> en dessous des valeurs limites dans le délai le plus court possible<sup>(7)</sup> ».

Dans des décisions de juin et juillet 2019, les tribunaux administratifs de Montreuil et de Paris reconnaissent la carence fautive de l'État en raison de l'insuffisance des mesures prises en région Île-de-France pour réduire, le plus rapidement possible, les valeurs de dioxyde d'azote et de particules fines dans l'air<sup>(8)</sup>.

« Eu égard à la persistance des dépassements observés (en Île-de-France), ce plan et ses conditions de mise en œuvre ne permettent pas de réduire le plus rapidement possible les valeurs de dioxyde d'azote et de particules fines dans l'air en méconnaissance des objectifs européens repris par le Code de l'environnement. Le tribunal admet ainsi que l'État a commis une faute de nature à engager sa responsabilité. »

L'Union européenne a, elle aussi, après des années de négociations, décidé de renvoyer la France devant la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) pour non-respect des normes de qualité de l'air. Les textes prévoient une sanction d'au moins 11 millions d'euros et des astreintes journalières d'au moins 240 000 euros jusqu'à ce que les normes de qualité de l'air soient respectées<sup>(9)</sup>.

Derrière ce scandale, il en est un autre : le silence presque complet du ministère de la Santé. Pendant les pics de pollution, ledit ministère se contente en général de rappeler quelques mesures élémentaires de précaution comme éviter les efforts physiques. Il laisse visiblement ce sujet au ministère de la Transition écologique. C'est aussi absurde que si le ministère de la Santé laissait l'alcoolisme et la tabagie au ministre de l'Agriculture sous prétexte qu'il ne s'agit que d'un problème de vignes, de houblon ou de plants de tabac.

Encore une fois, cela contraste avec l'énergie que peut consacrer le ministère de la Santé à d'autres sujets.

(3) <https://solidarites-sante.gouv.fr/prevention-en-sante/addictions/article/lutte-contre-le-tabagisme>

(4) <https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNRT2014-2019.pdf>

(5) <https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-climatiques/article/le-plan-national-canicule>

(6) Voir la note 2.

(7) <https://www.conseil-etat.fr/actualites/actualites/pollution-de-l-air>

(8) <http://paris.tribunal-administratif.fr/Actualites-du-Tribunal/Communiques-de-presse/POLLUTION-DE-L-AIR>

(9) [https://www.lemonde.fr/pollution/article/2018/05/17/pollution-de-l-air-bruxelles-renvoie-la-france-devant-la-cour-de-justice-de-l-union-europeenne\\_5300331\\_1652666.html](https://www.lemonde.fr/pollution/article/2018/05/17/pollution-de-l-air-bruxelles-renvoie-la-france-devant-la-cour-de-justice-de-l-union-europeenne_5300331_1652666.html)



Photo © François Henry/REA

Les trois tours d'habitation du quartier de l'Île Verte, hautes de 98 mètres, émergent du voile de pollution atmosphérique recouvrant la ville de Grenoble.

« La pollution de l'air est une urgence silencieuse de santé publique ; elle tue 7 millions de personnes chaque année et endommage la santé de bien davantage encore... Malgré cette épidémie de morts et de troubles évitables, un brouillard de complaisance s'étend sur la planète. »

L'ancienne ministre de la Santé, Marisol Touraine, a ainsi déclaré que « la lutte contre le tabac est un combat de chaque instant. Le gouvernement et les acteurs publics, mais aussi toute la société, doivent prendre conscience des dégâts que ce produit cause et [de la nécessité de] se mobiliser. Nous avons su le faire pour la sécurité routière, avec des résultats remarquables, nous saurons le faire pour le tabac. J'ai choisi mon camp, celui de la santé publique, et je sais pouvoir compter sur le soutien des Français<sup>(10)</sup> ».

Malheureusement, on n'a jamais entendu, en France, aucun ministre de la Santé tenir des propos aussi forts en faveur de la lutte contre la pollution de l'air.

Le décalage est total avec l'attitude du directeur général de l'OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus, qui a écrit, à la veille de la première conférence mondiale de l'OMS sur la pollution de l'air :

« La pollution de l'air est une urgence silencieuse de santé publique ; elle tue 7 millions de personnes chaque année et endommage la santé de bien davantage encore... Malgré cette épidémie de morts et de troubles évitables, un

brouillard de complaisance s'étend sur la planète. (...) Le moment est décisif et nous devons intensifier nos actions pour répondre de manière urgente à ce défi. En dépit des évidences accablantes, une action politique est toujours urgemment attendue pour augmenter les investissements et accélérer l'action pour réduire la pollution de l'air... Le monde a pris le virage du tabac. Il doit maintenant faire la même chose avec l'air toxique<sup>(11)</sup>. »

Malheureusement, le message ne semble pas être parvenu jusqu'au ministère de la Santé.

Que demandent les associations, en particulier Respire ? Tout simplement que soit conçu et mis en œuvre un plan ambitieux, à la hauteur des enjeux sanitaires et à la hauteur de ce qui a été fait pour d'autres problèmes comme l'insécurité routière et la lutte contre le tabagisme. Et comme les organisations internationales le recommandent.

(10) <https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/PNRT2014-2019.pdf>

(11) <https://www.theguardian.com/commentisfree/2018/oct/27/air-pollution-is-the-new-tobacco-time-to-tackle-this-epidemic>

## La judiciarisation du combat écologique

Malgré les demandes insistantes, les tribunes, les actions médiatiques, etc., ce plan national ambitieux se fait toujours attendre. Après avoir épuisé tous les autres moyens à notre disposition, nous portons dorénavant devant les tribunaux le combat contre la pollution de l'air. Nous ne sommes pas les seuls à le faire, ni les premiers. Comme évoqué plus haut, l'Union européenne a considéré que ce type d'action était nécessaire, et d'autres associations en font de même en France ou à l'étranger. Le cabinet britannique Client Earth a ainsi gagné plusieurs combats juridiques majeurs au Royaume-Uni, et ce jusqu'à la Cour suprême.

Ces actions s'inscrivent dans une logique globale de judiciarisation des actions écologiques. Il faut préciser que les grands procès ne sont pas chose nouvelle dans le mouvement écologique : contre des armateurs dans les cas de marée noire, contre des industriels dans les accidents de Bhopal en Inde, ou les empoisonnements de l'eau potable en Californie (affaire Erin Brockovich), ou contre Volkswagen dans l'affaire du trucage des moteurs diesel...

Mais, jusqu'à présent, il s'agissait de procès contre les responsables directs de la pollution. Désormais, les associations attaquent également les gouvernements à qui elles reprochent de ne pas avoir protégé les citoyens, de ne pas respecter leurs obligations.

Ces démarches participent à une délégitimation du pouvoir politique, dont les décisions sont contestées par le pouvoir judiciaire : la séparation des pouvoirs a fait long feu. Cette judiciarisation du politique peut d'ailleurs se retourner contre les écologistes, quand d'autres groupes attaquent en justice des décisions qu'ils soutiennent : c'est le cas, pour rester dans la pollution de l'air, des actions en justice entreprises pour casser la décision de la Mairie de Paris de piétonniser les berges de Seine.

Mais les politiques sont responsables de cette situation. Ce sont eux ou elles qui n'ont pas répondu à la demande sociale, qui n'ont pas rempli leur mission : celle de protéger les citoyens. À la crise sanitaire évidente, l'absence de réponse a ajouté une crise politique.

Ces actions en justice permettront-elles de débloquer enfin la situation ? Nous l'espérons.

Suite au procès intenté en 1997 par une quarantaine d'États américains à l'encontre de l'industrie du tabac, celle-ci a dû payer 246 milliards de dollars de pénalités. Désormais, les dangers de la cigarette sont connus de tous, mais le tabac n'est pas encore mort : si les procès et les campagnes de sensibilisation n'ont pas mis complètement un terme à la consommation de ce poison, ils ont jeté un opprobre définitif sur ce produit, en Occident du moins.

Rétrospectivement, les pratiques d'hier semblent absurdes, les fumeurs eux-mêmes se réjouissent que la cigarette soit interdite dans les restaurants ou les lieux publics. Ceux qui en font la publicité apparaissent aujourd'hui pour ce qu'ils sont : des marchands de mort.

Dans quelques décennies, il est probable que la pollution de l'air aura le même statut, celui d'un mal appartenant au passé. Un passé teinté de mesquinerie et de cruauté. On aura du mal à comprendre pourquoi les gens acceptaient de s'entasser dans des villes irrespirables, pourquoi ils s'enfermaient dans des voitures polluantes, pourquoi ils acceptaient sans réagir de laisser leurs enfants se faire empoisonner. Et pourquoi les gouvernements laissaient faire. Les moteurs diesel seront, comme les plafonds en amiante aujourd'hui, des vestiges toxiques d'un passé qu'il faut manier avec précaution. Espérons-le, en tout cas.



# Le rôle du MRV dans les inventaires nationaux d'émissions de polluants atmosphériques

Par Jean-Pierre CHANG  
et Nadine ALLEMAND  
Citepa

Les inventaires d'émissions de polluants sont nécessaires pour le rapportage international et européen réglementaire que la France doit assurer, pour la définition des politiques publiques d'amélioration de la qualité de l'air et le suivi des mesures mises en place dans ce but. Ces applications ne peuvent être efficaces que si des règles de mesurage, rapportage et vérifications (MRV) sont mises en œuvre. Une description détaillée du MRV relatif aux inventaires d'émissions de polluants est présentée dans cet article.

## Les applications des inventaires d'émissions de polluants

Un inventaire d'émissions est une représentation quantitative des rejets de substances provenant d'un ensemble de sources émettrices d'origine anthropique ou naturelle, répondant à des spécifications précises.

Les pouvoirs publics s'attachent à disposer de tels inventaires d'émissions de polluants atmosphériques, car leurs applications et les besoins sont multiples. On peut citer :

- Un besoin de rapportage réglementaire fixé par la Commission européenne et les instances internationales. En termes de polluants, il s'agit notamment de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-NU), qui a fixé un cadre de travail depuis 1979 et mis en place plusieurs protocoles de réduction des émissions de polluants, dont le plus connu est le Protocole de Göteborg mis en place en 1999. Ce dernier a été révisé en 2012 et cette version révisée entrera en application à la fin de l'année 2019 (puisque un nombre suffisant de ratifications a été obtenu). La Commission européenne, quant à elle, exige des rapportages pour déployer, en outre, sa politique Air et, notamment, la directive Plafonds d'émissions de polluants de 2001 (2001/81/CE) et la directive Réduction des émissions de 2016 (2016/2284). Ces institutions ont travaillé de concert pour mettre au point un cadre de rapportage cohérent (émissions au format NFR (Nomenclature for reporting), par exemple).
- Un besoin de disposer d'outils d'aide à la décision pour la mise en place de politiques publiques adaptées de réduction des émissions. Les méthodologies employées pour réaliser l'inventaire doivent être capables de refléter

les évolutions passées, les politiques et mesures mises en place et prendre en compte les évolutions techniques et structurelles ayant lieu dans les secteurs émetteurs.

Ainsi, la mise au point du Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) a débuté par un examen des potentiels de réduction des émissions existants pour définir un jeu de mesures à la fois techniques, fiscales, structurelles et d'amélioration des connaissances et de recherche. La Figure 1 ci-après présente les progrès accomplis en matière de réduction des émissions de polluants en 2017 par rapport à 2005 et situe les progrès accomplis par rapport aux nouveaux engagements de réduction à respecter à partir de 2020 et 2030 par la France, en application de la directive 2284/2016 et du PREPA. Pour certains polluants ( $\text{SO}_2$ , COVNM et  $\text{PM}_{2,5}$ ), les réductions exigées à partir de 2020 étaient déjà

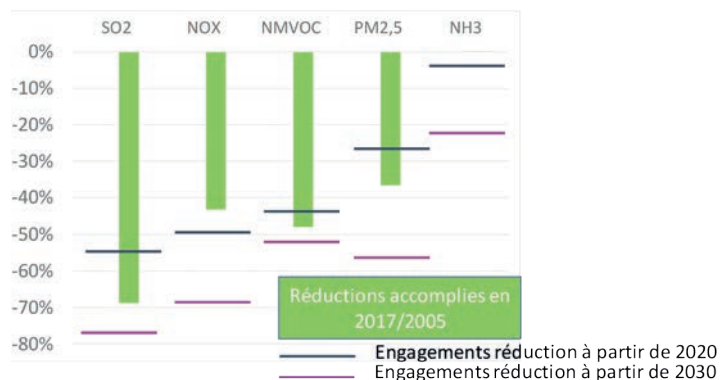


Figure 1 : Réduction des émissions en 2017 par rapport à l'année de référence 2005 et engagements sur les réductions à atteindre à partir de 2020 et 2030 selon la directive 2284/2016 et le PREPA (Citepa (2019), à partir des données d'émissions du rapport d'inventaire CEE-NU de mars 2019).

atteintes en 2017, mais celles exigées pour 2030 ne pourront pas être atteintes sans les mesures additionnelles définies dans le PREPA et les cobénéfices de certaines mesures climat-énergie, telles que l'amélioration de l'efficacité énergétique.

- Un besoin de suivi des politiques publiques. Au regard des engagements européens et internationaux, un suivi rigoureux est nécessaire et l'inventaire, dont la périodicité est annuelle, en est un indicateur fondamental.

Étant donné l'importance de ces indicateurs de la pression exercée sur l'environnement par les activités humaines, des spécifications précises relatives aux caractéristiques et à la qualité des inventaires sont définies aux niveaux international et européen.

Face aux engagements quantifiés de réduction des émissions de polluants et au suivi aux niveaux national et international de ces inventaires au regard de ces objectifs de réduction, des règles de mesurage, rapportage et vérifications (appelées MRV) ont été progressivement mises en place et renforcées ces dernières années.

## Le MRV dans les inventaires d'émissions de polluants

La notion de MRV a émergé historiquement dans le cadre du Protocole de Kyoto, avec, en particulier, l'introduction de mécanismes financiers de flexibilité (échanges d'émissions de gaz à effet de serre (GES)), lequel a induit un niveau élevé d'exigences qualité des inventaires d'émissions de GES en matière de MRV.

Ces critères qualité MRV ont aussi été déclinés pour les inventaires nationaux d'émissions de polluants atmosphériques dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP) de la CEE-NU, mais avec un niveau d'exigence et de contrainte moins fort concernant le volet Vérification comparé à celui imposé dans le cadre du Protocole de Kyoto pour les GES (pas de mécanisme financier d'échanges de permis d'émissions de polluants).

Ces dernières années, les aspects vérifications ont toutefois été renforcés dans le cadre de la directive européenne 2016/2284 qui fixe les objectifs de réduction des émissions nationales à partir de 2020 et 2030, pour NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub> et PM<sub>2,5</sub>.

Le « MRV », dans le cas des inventaires nationaux d'émissions de polluants atmosphériques en Europe, consiste en :

- un mesurage et un suivi (« M ») : les émissions doivent être suivies et mesurées (quantifiées) conformément aux bonnes pratiques définies dans le guide Inventaires EMEP/EEA (voir l'édition de ce guide, actuellement en application (2016), <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guide-book>) ;
- un rapportage (« R ») : les émissions doivent être rapportées, conformément aux lignes directrices de rapportage de la CLRTAP/Protocole de Göteborg et de la directive 2016/2284 ;

- une vérification (« V ») : les émissions doivent être contrôlées, validées et vérifiées (procédure d'assurance et contrôle qualité, et autres vérifications).

## Principes détaillés du MRV

### « M » : mesurage/suivi des inventaires d'émissions de polluants

Pour un suivi et une production efficaces des inventaires d'émissions nationales de polluants atmosphériques, le guide EMEP (*co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe*)/EEA (Agence européenne de l'environnement) préconise de mettre en place un système national de gestion des inventaires d'émissions de polluants atmosphériques, basé sur des arrangements institutionnels et la bonne définition des rôles et missions des différents acteurs et parties prenantes.

En France, le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) est l'entité responsable des inventaires nationaux vis-à-vis des Nations Unies et de l'UE. Il confie la production opérationnelle des inventaires d'émissions au Citepa qui a développé depuis de nombreuses années cette expertise, notamment depuis la fin des années 1980 avec le projet européen CORINAIR, dont l'actuel guide EMEP/EEA dérive. Ce système d'inventaire national a été formalisé dans la réglementation française, dans le cadre de l'arrêté SNIEBA du 24 août 2011 (système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère). Ce dernier précise également le rôle du groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIE), qui :

- suit au niveau national ces inventaires d'émissions, en particulier les évolutions méthodologiques et leurs améliorations, possiblement en lien avec les programmes de recherche ;
- donne, en fin de chaque année, son avis sur la qualité des derniers inventaires réalisés, au titre de sa contribution au processus de validation piloté, au niveau national, par le MTES (voir sur ce point : <https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions>, ainsi que le rapport OMINEA décrivant le système d'inventaire national et les méthodologies mises en œuvre).

Afin de fiabiliser et d'harmoniser les inventaires d'émissions de polluants entre les différents pays, le guide EMEP/EEA représente un référentiel méthodologique à suivre dans le cadre de la Convention LRTAP et de la directive européenne 2016/2284 relative à la réduction des émissions de certains polluants. La France, dans sa mise en œuvre méthodologique des inventaires d'émissions de polluants, se conforme à ce référentiel (voir le rapport annuel OMINEA).

Les principes adoptés dans le guide EMEP/EEA sont les suivants :

- Différents niveaux de méthodes (tier) sont proposés selon l'importance de la source d'émission (notion de catégories clés (ensemble des sources qui, par ordre décroissant d'importance, contribuent à 80 % des émissions nationales (95 % pour les GES)).

- Pour les sources qui ne sont pas des catégories clés, il est possible d'utiliser les méthodes les plus simples du guide (méthodes tier 1).
- Pour les catégories clés, il est nécessaire d'utiliser des méthodes (plus) avancées : c'est-à-dire les méthodes tier 2 du guide EMEP/EEA (des équations avec des paramètres nationaux), ou des approches tier 3 comme des modèles d'émissions internationaux, ou une approche *bottom-up* par site, ou encore des méthodes spécifiques nationales documentées.

Seules les méthodologies tier 2 et 3 permettent de prendre en compte les évolutions techniques et structurelles ayant lieu dans les secteurs émetteurs. Ces évolutions sont souvent impulsées par la mise en place de réglementations limitant les émissions, telles que les réglementations relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement, aux transports, aux produits mis sur le marché, etc. Les évolutions structurelles, elles aussi impulsées par des politiques publiques, telles que l'évolution du mix énergétique, vont, quant à elles, se refléter dans les statistiques alimentant les inventaires d'émissions.

Pour permettre la prise en compte de ces évolutions différenciées, les activités sont alors désagrégées en autant de « sous-secteurs » que nécessaire pour pouvoir représenter la diversité des cas rencontrés. Ainsi, la prise en compte d'une réglementation visant les installations de combustion selon leur taille nécessite un découpage de l'activité en fonction de ce critère de taille réglementaire. Pour chacune des tranches de puissance, la méthodologie prend en compte un certain taux d'application des mesures qui évolue dans le temps, en fonction des contraintes réglementaires mises en place et des délais d'application.

La mise en œuvre de méthodes tier 2 et 3 nécessite de disposer d'un ensemble de données statistiques et techniques très vaste, la réalisation d'enquêtes spécifiques ainsi qu'une connaissance très précise des activités que développent d'ailleurs les experts des inventaires.

Un bon suivi de la qualité et de la fiabilité des inventaires d'émissions passe également par une évaluation régulière de leurs incertitudes. Le guide EMEP/EEA fournit pour ce faire des recommandations pour déterminer les incertitudes de l'inventaire national pour chaque polluant, en adoptant une approche tier 1 simple de calcul de propagation des incertitudes et une approche tier 2 plus élaborée, dite « Monte Carlo », basée sur une simulation informatique des calculs des émissions, prenant en compte les courbes de densité de probabilité des paramètres intervenant dans la détermination des émissions. Le Citepa emploie la méthode tier 1 et la méthode tier 2 pour l'évaluation des incertitudes de certaines sources clés.

### « R » : rapportage des inventaires d'émissions de polluants

Pour assurer la transparence des calculs des émissions de polluants et faciliter leur comparabilité et les audits entre les différents pays, des règles de rapportage sont définies au niveau de la CLRTAP et de la directive 2016/2284. En particulier, un format commun de rapportage des données d'émissions par catégorie est utilisé, format *nomenclature*

*for reporting* (NFR) (voir : [https://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/reporting\\_instructions](https://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/reporting_instructions)).

De plus, pour assurer la transparence, un rapport annuel d'inventaire des émissions de polluants est demandé, en respectant une structure commune des chapitres et sections recommandée pour tous les pays (voir, par exemple, le rapport CEE-NU/NFR de la France sur : <https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/cee-nu>).

Par ailleurs, la rationalisation et l'optimisation du rapportage des émissions sont encouragées pour l'ensemble des rapportages réglementaires demandés au niveau de l'UE. Ainsi, en France, une approche intégrée des inventaires d'émissions a été mise en place depuis plusieurs décennies pour gérer dans un même système d'inventaire, les émissions de GES et de polluants atmosphériques.

### « V » : vérification des inventaires d'émissions de polluants

Au titre des contraintes MRV, le « V » correspond à la notion de vérification dans un sens large. Il s'agit de vérifications de différents types et à différents niveaux.

Il est utile de distinguer les contrôles et les vérifications planifiés et organisés au niveau national (relevant de la responsabilité des États) des vérifications réalisées au niveau international, dans le cadre de la CLRTAP/CEE-NU et de l'UE (les revues d'inventaires ou audits).

Les vérifications des inventaires d'émissions de polluants réalisées au niveau de chaque pays correspondent aux activités dites d'assurance qualité et contrôle qualité (AQ/CQ) liées à la production des inventaires d'émissions nationaux. Le guide EMEP/EEA traite aussi des bonnes pratiques à mettre en œuvre en matière d'AQ/CQ.

Les activités de contrôle qualité (CQ) correspondent aux diverses actions de contrôle et vérification réalisées au sein de l'agence d'inventaire (le Citepa, en France). Ces activités de CQ vont du contrôle de la pertinence des données d'entrée et des hypothèses, de l'exactitude des calculs, de la cohérence temporelle des résultats et de la complétude de l'inventaire, au contrôle et, *in fine*, à la comparaison entre deux éditions d'inventaires, avec justification des changements et perfectionnements apportés.

Les activités d'assurance qualité (AQ) correspondent aux diverses actions de revues et d'évaluations réalisées au niveau national par des tierces personnes (hors agence inventaire), afin d'évaluer la qualité de l'inventaire national et d'identifier de possibles voies d'amélioration. En France, c'est notamment l'un des rôles dévolus au GCIE que d'examiner et donner son avis sur les inventaires d'émissions nationaux. Par ailleurs, des revues volontaires bilatérales entre deux agences d'inventaires sont régulièrement organisées par secteur d'activité (par exemple, l'évaluation croisée entre le Citepa et l'agence d'inventaire anglaise, en 2018, sur le secteur agricole).

D'autres types de vérifications peuvent être encore réalisés sur la base de comparaison avec des estimations alternatives, comme des projets internationaux basés sur des données internationales, ou encore (objet de travaux

de recherche plus récents) sur la base de données de mesures sols et/ou satellitaires de concentrations couplées à des modélisations inverses pour remonter à des estimations d'émissions spatialisées. À titre d'illustration, le projet en cours H2020 « VERIFY » de l'UE, auquel participe d'ailleurs le Citepa, a pour objectif d'utiliser cette approche par modélisation inverse afin de vérifier les inventaires d'émissions de GES (voir, <https://verify.lsce.ipsl.fr>). Cet exemple, concernant les GES, illustre le potentiel de ce type d'approche qui, dans le cas des polluants atmosphériques, serait encore plus complexe à mettre en œuvre du fait du couplage des transformations chimiques avec les phénomènes de transport et dispersion. Les travaux de recherche menés sur la compréhension des phénomènes de pollution atmosphérique permettent également de faire évoluer les méthodes d'inventaire. C'est le cas, par exemple, de la prise en compte des composés organiques semi-volatils dans les émissions de particules.

Des vérifications ont lieu également au niveau international. Celles des inventaires nationaux de polluants atmosphériques ont démarré en 2008 dans le cadre de la CLRTAP/CEE-NU. Ces revues CLRTAP concernent un pays donné et sont réalisées une fois tous les cinq ans en moyenne. À la différence des revues des inventaires nationaux de GES intervenant dans le cadre du Protocole de Kyoto, il n'y avait pas jusqu'à présent de processus de correction immédiate (dans la foulée de la revue) des défauts significatifs observés. Mais, depuis 2017, les revues d'inventaires réalisées dans le cadre de la directive 2016/2284 sont de nature plus contraignante et régulière : les revues NECD (National Emission Ceiling Directive) sont annuelles pour tous les États membres et, avec la directive 2016/2284, un processus de correction/révision immédiates pendant la revue est enclenché si des biais significatifs (seuil de 2 % du total national) sont détectés par les équipes d'audit.

Ce faisant, ces vérifications et audits permettent d'identifier des points d'amélioration continue des inventaires, notamment en matière de transparence, de complétude, de comparabilité, de cohérence et de précision.

Un processus dit d'ajustement des inventaires des émissions de polluants atmosphériques existe pour permettre le contrôle du respect des objectifs de réduction de ces émissions. Le Protocole de Göteborg de 1999 et la directive 2001/81/CE de 2001 ont introduit les premiers plafonds d'émissions à respecter à partir de 2010. Ce processus d'ajustement permet, si besoin, de présenter, en plus de l'inventaire national le plus actualisé, un inventaire « ajusté » comparable en termes de méthodes utilisées à celui développé au moment de la définition des plafonds d'émissions. En France, ce besoin d'ajustement a concer-

né les émissions de NOx du transport routier. En effet, à l'époque de l'établissement des plafonds 2010 (soit avant 1998), c'était le modèle COPERT (voir le guide EMEP/EEA) en version II/III qui était utilisé pour estimer quels seraient les impacts des normes Euro mises en place ou à venir, en 2010. Or, depuis, les mesures des émissions des véhicules en conditions réelles de trafic ont montré que les émissions réelles dépassaient très largement les émissions limites normatives réglementaires. Dans ses versions plus récentes (IV et V), le modèle COPERT a intégré les nouvelles données d'émissions réelles et a donc revu fortement à la hausse ses facteurs d'émissions de NOx. La conséquence de cette meilleure prise en compte des émissions en conditions réelles a été, pour la France, un dépassement du plafond NOx entre 2010 et 2016, sans ajustement de l'inventaire. Avec la prise en compte de cet ajustement, les plafonds NOx 2010 du Protocole Göteborg et ceux de la directive plafonds de 2001 ont été respectés respectivement à partir de 2012 et 2014.

## Conclusions

Les inventaires d'émissions de polluants atmosphériques sont réalisés depuis les années 1990 dans le cadre du programme européen CORINAIR (avant même les inventaires nationaux de GES intervenus au début des années 2000 dans le cadre de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC)). Avec l'avènement du Protocole de Kyoto et de ses mécanismes de flexibilité incluant des mécanismes financiers, les exigences qualité dites MRV sur les inventaires de GES ont rehaussé de façon qualitative et quantitative le niveau de fiabilité de ces inventaires. Un renforcement des exigences MRV sur les inventaires nationaux de polluants atmosphériques a aussi été imposé sous l'impulsion de l'UE dans le cadre de la directive 2016/2284, qui fixe pour certains polluants les réductions à atteindre à partir de 2020 et 2030 par chaque État membre. L'UE met en place à partir de 2019, en plus des audits annuels des inventaires d'émissions, un premier audit des projections d'émissions de polluants de tous les États membres. Peut-on déjà parler de MRV des projections des émissions de polluants atmosphériques ? L'avenir nous le dira. Il est à noter que ces projections sont désormais exigées tous les deux ans comme le sont celles relatives aux GES.

L'inventaire des émissions de polluants est un outil précieux d'aide à la décision et de pilotage des actions de réduction mises en place et de suivi de leur efficacité. Le MRV en est un élément capital. Sa performance conditionne l'emploi des inventaires pour vérifier l'atteinte des objectifs de réduction.



# Les enjeux économiques et les coûts de la pollution de l'air

Par Yves CROZET

Professeur émérite à Sciences-Po Lyon  
Laboratoire Aménagement Économie Transports

La qualité de l'air ne cesse de s'améliorer à Paris, pourtant, en 2018, l'agglomération parisienne a connu six épisodes, étalés parfois sur plusieurs jours, de dépassement des seuils autorisés de pollution. Cette apparente contradiction s'explique par un niveau d'exigence croissant, car on connaît de mieux en mieux les émissions et concentrations des différents types de polluants ainsi que leurs impacts sur la santé. Les données physiques de morbidité et de mortalité liées à la pollution de l'air sont ensuite transformées en données monétaires afin d'en établir les coûts. Il est sur cette base possible de suivre les recommandations des économistes afin d'internaliser les coûts externes, ceux qui ne sont pas pris en compte spontanément par les acteurs économiques. Cette internalisation prend plusieurs formes. La plus courante est celle de la réglementation, avec par exemple les zones à faibles émissions (ZFE). La plus efficace est pourtant celle de la tarification qui, du fait même de son efficacité, se heurte à de multiples oppositions.

**E**n février 2017, la Commission européenne a adressé un dernier avertissement avant saisine de la Cour de justice européenne à plusieurs pays membres, dont la France, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie et le Royaume-Uni. Tous sont accusés de dépasser trop souvent, dans leurs grandes villes, les seuils maximaux de pollution de l'air, notamment pour le monoxyde d'azote (NOx) et les particules. La Commission a rappelé que « 400 000 citoyens meurent prématurément chaque année dans l'Union européenne à cause de la mauvaise qualité de l'air ». En France, une étude a estimé à 48 000 les décès prématurés dus chaque année aux seules particules fines. L'Union européenne a pointé du doigt en France dix-neuf zones urbaines concernées par les dépassements, dont Paris, Grenoble, Lyon et Marseille.

Nous pourrions en déduire que la pollution de l'air dans les villes ne cesse de croître, comme le rappellent les alertes à la pollution, qui se sont multipliées ces dernières années. Une telle affirmation est pourtant fautive, les émissions et concentrations des divers polluants diminuent tendanciellement depuis plusieurs années. Pourtant, malgré cette baisse, les coûts de la pollution de l'air augmentent. Ce paradoxe doit être analysé, ce que nous ferons dans une première partie en présentant la façon dont sont évalués les coûts de la pollution de l'air. Puis, nous nous pencherons sur les outils disponibles pour réduire ces coûts, les internaliser pour reprendre le vocabulaire des économistes.

## Pollution de l'air : une baisse tendancielle, mais des coûts allant croissants

Il existe en France un inventaire permanent des émissions de polluants. Il est réalisé depuis plusieurs années par le

CITEPA, dont le site Internet fournit de nombreuses informations que nous synthétisons ci-après. Mais les émissions ne disent pas tout du degré de pollution, il est aussi nécessaire de mesurer les concentrations, notamment en zones urbaines. Sur la base de ces données physiques, il est possible d'établir des valeurs monétaires pour connaître ce que la pollution coûte à la collectivité.

## La réduction tendancielle des émissions et des concentrations

Le Tableau 1 de la page suivante indique comment ont évolué en France, depuis 1990, les émissions de divers polluants rapportées au nombre d'habitants. Ce premier inventaire s'intéresse à la pollution chimique et aux facteurs d'eutrophisation et d'acidification : dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), monoxyde d'azote (NOx), NH<sub>3</sub>, Aeq, composés organiques (CO) et composés organiques volatils (COVNM). Il montre que les émissions, après avoir progressé dans les années 1960 et 1970, ont ensuite diminué, plus ou moins rapidement selon les polluants. La réduction la plus spectaculaire concerne le dioxyde de soufre, alors que les quantités de monoxyde d'azote ne diminuent que faiblement. Elles sont aujourd'hui, avec les particules, la principale source de pollution dans les zones urbaines ou dans des sites encaissés comme la vallée de l'Arve (département de la Haute-Savoie).

Le Tableau 2 de la page suivante indique les évolutions pour les différentes catégories de particules (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub> et carbone suie). Là aussi, les baisses sont significatives depuis le début des années 1990, mais cela n'empêche pas les alertes à la pollution dues à des concentrations trop élevées dans certaines configurations climatiques (chaleur, hautes pressions, absence de vent...).

source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-indicateurs-d'aeq\_hab.xls

Année	SO <sub>2</sub> kg / hab	NOx kg / hab	NH <sub>3</sub> kg / hab	Aeq (*) kg / hab	COVNM kg / hab	CO kg / hab
1960	39,5	19	-	-	-	179
1965	46,0	24	-	-	-	201
1970	53,7	30	-	-	-	238
1975	58,6	34	-	-	-	263
1980	59,2	38	11,8	3,4	-	241
1985	27,5	34	11,9	2,3	-	211
1990	22,6	35	11,5	2,1	44	181
1995	16,6	31	10,9	1,8	40	155
2000	10,6	27	10,9	1,6	31	110
2001	9,5	27	10,8	1,5	29	103
2002	8,8	26	10,4	1,4	27	99
2003	8,3	25	10,2	1,4	26	93
2004	7,9	24	10,0	1,4	24	94
2005	7,5	23	9,9	1,3	22	86
2006	7,0	22	9,6	1,3	21	76
2007	6,7	21	9,7	1,2	19	73
2008	5,7	19	9,8	1,2	17	69
2009	4,7	17	9,6	1,1	15	61
2010	4,4	17	9,6	1,1	14	67
2011	4,0	16	9,4	1,0	13	56
2012	3,7	16	9,4	1,0	13	50
2013	3,3	15	9,3	1,0	12	51
2014	2,7	14	9,4	0,9	11	43
2015	2,5	14	9,4	0,9	11	42
2016	2,2	13	9,4	0,9	10	42
2017	2,2	12	9,3	0,9	10	42
2018 (e)	2,1	12	9,3	0,9	10	40

Tableau 1 : Émissions dans l'air des différents polluants en France métropolitaine (émissions rapportées au nombre d'habitants).

source CITEPA / format SECTEN - avril 2019

CITEPA-indicateurs-d'pm\_hab.xlsx

Année	TSP kg / hab	PM <sub>10</sub> kg / hab	PM <sub>2,5</sub> kg / hab	PM <sub>1,0</sub> kg / hab	Carbone suie kg / hab
1990	22	9,8	7,6	6,4	1,3
1995	20	9,1	7,1	6,0	1,4
2000	18	7,4	5,6	4,6	1,1
2001	18	7,1	5,3	4,4	1,1
2002	17	6,7	4,9	4,0	1,1
2003	18	6,6	4,9	4,0	1,1
2004	17	6,4	4,6	3,7	1,0
2005	16	5,9	4,2	3,4	0,9
2006	15	5,4	3,8	3,0	0,9
2007	15	5,2	3,6	2,8	0,8
2008	15	5,0	3,5	2,7	0,8
2009	14	4,7	3,3	2,6	0,8
2010	14	4,9	3,4	2,7	0,8
2011	14	4,4	3,0	2,3	0,7
2012	14	4,5	3,0	2,3	0,6
2013	14	4,5	3,0	2,3	0,6
2014	13	4,0	2,6	1,9	0,5
2015	13	4,0	2,6	1,9	0,5
2016	13	4,0	2,6	1,9	0,5
2017	13	3,9	2,5	1,8	0,4
2018 (e)	13	3,8	2,4	1,7	0,4

Tableau 2 : Émissions dans l'air de particules en France métropolitaine (rapportées au nombre d'habitants).

La Figure 1 ci-après illustre la relation fragile existant entre émissions et concentrations. Ces dernières diminuent, mais faiblement, notamment en ce qui concerne le dioxyde d'azote et les particules. Or, elles sont les principales responsables des problèmes de santé repérés lors des pics de pollution, notamment les cas de bronchiolite qui touchent souvent les jeunes enfants. Ces particules ne viennent pas que des carburants fossiles. L'usure des pneus, des plaquettes de freins et des disques d'embrayage sont aussi des sources importantes d'émissions de particules. Pour cette raison, leur concentration est également forte dans les couloirs du métro. Rappelons qu'une partie seulement des particules provient de la circulation des véhicules, la majorité des particules sont issues de l'industrie et aussi du chauffage des habitations. Il a ainsi été montré que dans la vallée de l'Arve, le chauffage au bois était en partie responsable des pics de pollution aux particules. Mais il s'agit alors des particules les plus lourdes. Les plus fines sont émises par la circulation routière, notamment par les véhicules diesel.

Ainsi, malgré la forte réduction des émissions de polluants atmosphériques, la qualité de l'air reste un problème important, notamment en zone urbaine. Il est nécessaire d'en connaître les coûts. Nous le ferons en nous concen-

trant sur les coûts engendrés par les transports de personnes et de marchandises.

### Les coûts de la pollution de l'air

S'il est nécessaire d'évaluer les coûts de la pollution, c'est pour les comparer aux avantages que procurent les activités à l'origine de la pollution, laquelle ne tombe pas du ciel, mais est produite, notamment, par les systèmes de transport. Il est essentiel de comprendre que le **niveau optimal de pollution n'est pas le niveau zéro**, mais celui auquel les coûts environnementaux sont équivalents aux avantages que procure l'activité à l'origine de la pollution. Évidemment, personne ne connaît précisément ce point d'équilibre entre les coûts et les avantages. L'objectif de l'évaluation des coûts externes, ceux qui ne sont pas pris en compte par les acteurs économiques, est justement d'arriver, par tâtonnement, à s'approcher de ce point d'équilibre en réduisant progressivement les nuisances.

Pour cela, il est nécessaire de trouver un instrument de mesure commun aux coûts et aux avantages. Comme ces derniers sont connus en termes monétaires, les coûts environnementaux doivent aussi se voir attribuer une valeur monétaire. Dans le champ de la pollution, cela est réalisé

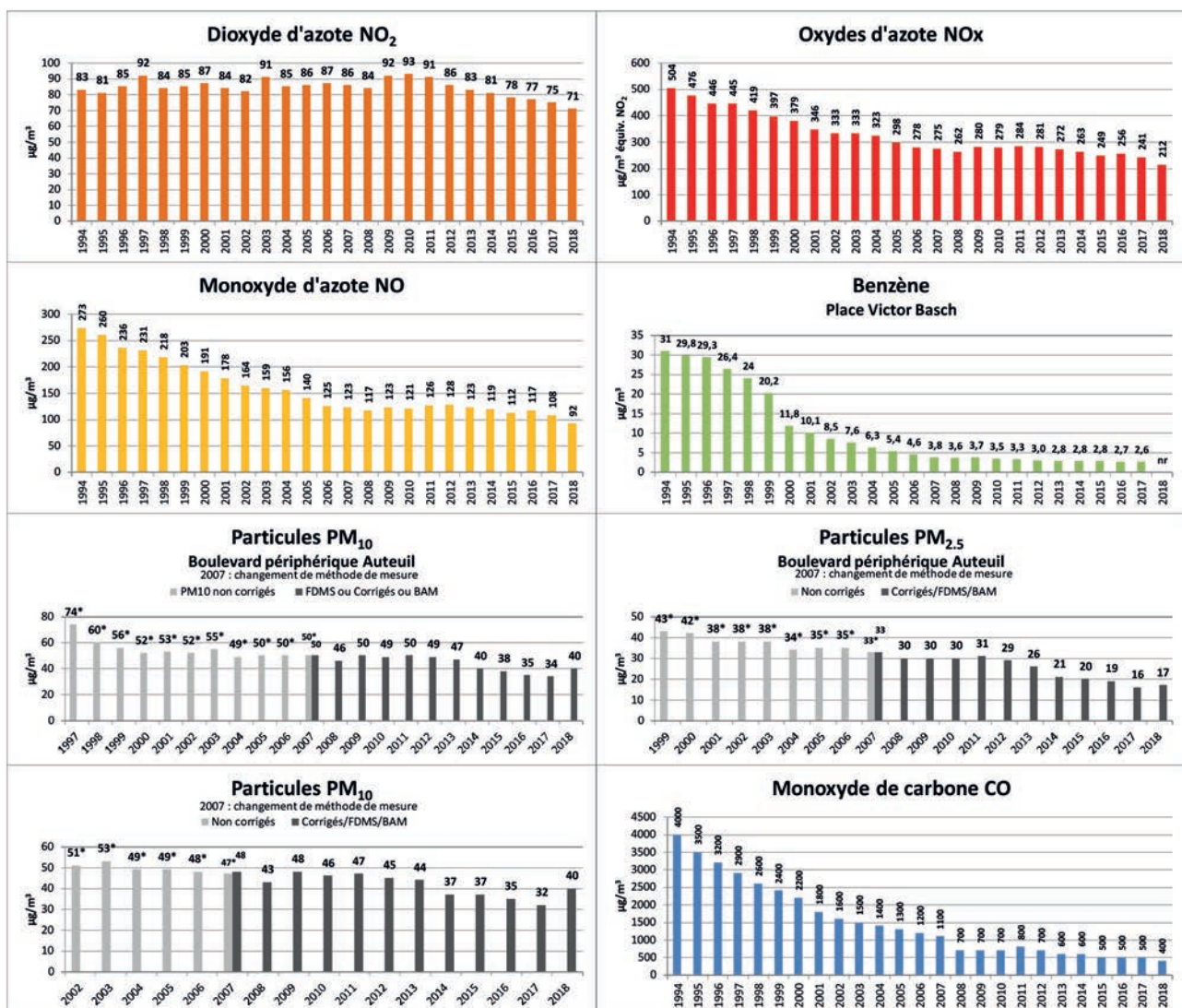


Figure 1 : Évolution des concentrations de polluants en divers points de Paris (Source : Airparif).



en établissant, sur la base de multiples études de cas, des fonctions dose-réponse. Avec telle concentration de polluants, quels types et quels degrés de morbidité et de mortalité peut-on observer ? Les pertes sociales liées aux décès ou à la maladie sont ensuite calculées en se fondant sur la valeur donnée par la société à la vie humaine (VVS, valeur de la vie statistique). Cela peut surprendre, mais l'on peut, et même on doit donner une valeur à ce qui n'a pas de prix : la vie. Non pas pour dire ce que vaut la vie, mais pour définir la somme que la collectivité est prête à dépenser pour racheter un mort à la fatalité. Or, cette somme n'est pas infinie et elle n'est pas nulle non plus. En France, elle a été fixée en 2013 à 3 millions d'euros.

Ce niveau a été estimé sur la base d'enquêtes de « préférences déclarées ». Concrètement, des personnes doivent répondre à des questionnaires très élaborés qui les conduisent par un lent processus à révéler ce qu'elles seraient prêtes à payer, en plus des impôts ou des assurances déjà en place, pour réduire d'un certain pourcentage l'insécurité routière ou la survenue de telle ou telle pathologie, la bronchiolite de leur enfant par exemple.

Une fois définie la valeur de la vie humaine, il est possible de définir ce que vaut une année de vie humaine (en anglais VOLY, *value of life year*) ou un trimestre. Une étude<sup>(1)</sup> de référence a recommandé une valeur moyenne de 50 000 euros que l'on retrouve dans une publication récente<sup>(2)</sup> très fouillée de l'Union européenne, qui actualise le « manuel européen » d'évaluation des coûts externes. On y découvre que le coût total pour l'Europe de la pollution de l'air liée aux transports routiers s'élève à 68,5 milliards d'euros. Un niveau inférieur aux coûts de l'insécurité routière (près de 250 milliards), mais équivalent à ceux du dérèglement climatique.

Mais le plus intéressant est de donner une valeur concrète à ces chiffres trop généraux. Pour cela, rapportons le coût total aux différents trafics. Le manuel européen nous indique ainsi que les coûts de la pollution atmosphérique s'élèvent à 1,9 centime d'euro par véhicule-km pour une voiture diesel contre 0,53 pour un véhicule essence et 9,38 pour un poids lourd. Des chiffres qui vont nous permettre de choisir quelle forme doit prendre l'internalisation.

## L'internalisation des coûts de la pollution de l'air

Les méthodes d'internalisation des coûts externes sont au nombre de quatre :

- La forme la plus simple est la réglementation qui peut aller jusqu'à l'interdiction. Il s'agit d'ici d'intervenir en amont de l'action des acteurs économiques en imposant des normes.
- Une deuxième méthode consiste à subventionner une activité jugée moins polluante qu'une autre. C'est le cas des transports en commun en zone urbaine, plus respectueux de l'environnement que l'automobile. Mais le

coût peut être très élevé pour les finances publiques.

- La troisième méthode n'a pas bonne presse. Il s'agit des taxes environnementales, appelées aussi taxes pigouviennes, du nom de l'économiste anglais Arthur C. Pigou (1877-1959), qui en a proposé le principe, il y a près de cent ans.
- La quatrième forme d'internalisation n'intervient sur les prix qu'indirectement, car son principal levier est l'action sur les quantités d'émissions. Il s'agit d'attribuer aux émetteurs des nuisances – lorsque celles-ci sont mesurables et leur source identifiable – un quota maximum d'émissions, tout en permettant aux acteurs d'échanger ces quotas sur un marché des permis négociables. C'est ce que l'Union européenne a mis en place pour les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) des grands sites industriels. Mais ce marché ne fonctionne pas très bien, du fait que les quotas initiaux ont été attribués trop généreusement.

Dans le cas de la pollution atmosphérique, nous allons nous pencher sur la première et la troisième méthodes, soit la réglementation et la tarification.

### L'internalisation par le biais de la réglementation

La réglementation en matière de pollution de l'air est ancienne. Il y a des décennies que des décrets ont fixé, par exemple, des normes précises pour les carburants. Ainsi, le plomb dans l'essence a été interdit il y a plus de trente ans, et le soufre a aussi pratiquement disparu de la plupart des carburants. Grâce à cela, certaines formes de pollution ont quasiment disparu en Europe. Dès 1988, l'Union européenne a imposé aux véhicules neufs des normes de plus en plus contraignantes. Ainsi, entre la norme Euro 0 (1990) et la norme Euro VI (2013), les émissions unitaires de polluants des moteurs des poids lourds ont été réduites de façon spectaculaire : division par 36 pour le monoxyde d'azote, par 7,5 pour le monoxyde de carbone, par 18,5 pour les hydrocarbures et par 36 pour les particules (voir le Tableau 3 de la page suivante). Cela s'est traduit par une réduction sensible des émissions totales de polluants. À l'échelle de la France, entre 1990 et 2015, les émissions du secteur des transports ont évolué de la façon suivante : monoxyde d'azote : – 60 % ; monoxyde de carbone : – 90 % ; dioxyde de soufre : – 88 % ; plomb : – 99 % ; particules : entre – 51 et – 66 % selon la taille<sup>(3)</sup>.

Le niveau des coûts externes est donc aujourd'hui très différent d'un véhicule à un autre, selon la catégorie dont il relève et de l'endroit où il circule. Par exemple, sur une autoroute en zone métropolitaine, une voiture diesel de norme Euro III engendre un coût de la pollution atmosphérique de 2,45 centimes d'euro par kilomètre parcouru alors qu'il est seulement de 0,76 centime pour un véhicule diesel de norme Euro VI. Mais s'il s'agit d'un véhicule essence de norme Euro VI, alors le coût est seulement de 0,12 centime.

Mais ces résultats ne doivent pas faire oublier le scandale dit du « dieselgate ». Grâce à des logiciels très perfectionnés utilisés au moment de l'homologation des

(1) DESAIGUES *et al.* (2011), "Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY)", *Ecological Indicators* 11, pp. 902-910.

(2) [https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable-transport/internalisation-transport-external-costs\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable-transport/internalisation-transport-external-costs_en)

(3) Source : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), <https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten#Evolution>



Normes	Textes de référence	Date de mise en application	NOx (g/kWh)	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	Particules (g/kWh)
<b>Euro 0</b>	88/77	1 <sup>er</sup> octobre 1999	14,4	11,2	2,4	-
<b>Euro I</b>	91/542 (A)	1 <sup>er</sup> octobre 1993	9	4,9	1,23	0,36
<b>Euro II</b>	91/542 (B)	1 <sup>er</sup> octobre 1996	7	4	1,1	0,15
<b>Euro III</b>	1999/96	1 <sup>er</sup> octobre 2001	5	2,1	0,66	0,13
<b>Euro IV</b>	1999/96	1 <sup>er</sup> octobre 2006	3,5	1,5	0,46	0,02
<b>Euro V</b>	1999/96	1 <sup>er</sup> octobre 2009	2	1,5	0,46	0,02
<b>Euro VI</b>	Règlement (CE) n°595/2009	31 décembre 2013	0,4	1,5	0,13	0,01

Tableau 3 : Évolution des normes d'émission des véhicules lourds dans l'Union européenne.

NB : Ce tableau indique la valeur limite, en grammes par kilowatt-heure (g/kWh), des oxydes d'azote (NOx), du monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures (HC) et des particules (Source : ministère de la Transition écologique et solidaire).

véhicules, plusieurs constructeurs automobiles ont triché sur les émissions réelles de leurs automobiles. Et la pollution en zone urbaine reste souvent, dans beaucoup de pays – dont la France –, au-dessus des normes acceptables pour la santé de la population. De ce fait, d'autres réglementations sont mises en place, notamment des limitations ou des interdictions de circulation. De nombreuses villes européennes ont ainsi annoncé qu'elles souhaitaient bannir à terme les véhicules diesel.

En réponse aux rappels à l'ordre de l'Union européenne, plusieurs villes (Grenoble, Lille, Paris...) se sont orientées vers la création de zones à circulation restreinte (ZCR) appelées aussi zones à faibles émissions (ZFE) dans la loi d'orientation des mobilités (LOM), qui doit être votée en France en 2019. Dans ces zones, la circulation est limitée en volume et en vitesse. La circulation de certains véhicules y sera interdite en cas d'alerte, le niveau de pollution des automobiles étant désormais défini par un système de vignettes (Crit'Air) conduisant à classer chaque véhicule dans une catégorie (de 0 à 5) permettant ou non de circuler dans lesdites zones<sup>(4)</sup>. Il est important de signaler que ces vignettes et les décisions des collectivités relèvent de l'internalisation par la réglementation, mais que cette dernière tient compte des différences de coûts entre les véhicules que nous avons rappelées *supra*.

### L'internalisation des coûts de la pollution par le biais d'un péage urbain

La question que l'on peut se poser sur la réglementation est celle de son efficacité. Suffira-t-il d'interdire la circulation de la partie la plus ancienne du parc automobile, ou d'accélérer son renouvellement grâce à des subventions, pour obtenir les résultats souhaités ? Ne serait-il pas temps d'associer des mesures de taxation aux leviers habituels que sont la réglementation et les subventions à l'achat de véhicules électriques ? Tout se passe en effet comme si, en matière de pollution urbaine, nous nous trouvions en présence d'une certaine incohérence des politiques publiques. D'un côté, les élus tiennent des discours alarmistes sur les coûts de la pollution. De l'autre,

les mesures adoptées pour y faire face sont d'une grande timidité. Elles se cantonnent au domaine technique, alors que les outils économiques sont beaucoup plus puissants. C'est ce que montre l'expérience du péage urbain mis en place à Stockholm. Depuis qu'une tarification de la voirie urbaine y a été instaurée en 2006, la ville de Stockholm a vu le trafic automobile se réduire de 25 %, tout comme les émissions de polluants. Pourquoi cette expérience n'a-t-elle pas fait plus d'émules en Europe ?

L'analyse des expériences étrangères de péages urbains permet de conclure que ces mesures ont tout d'abord un effet significatif sur les niveaux de trafic. Que ce soit à Londres (- 16 %), à Milan (environ - 15 %), à Singapour (- 45 %) ou à Tokyo (- 10 %), leur introduction a ainsi été suivie d'une baisse non négligeable de la circulation (et parfois d'une modification du parc roulant en faveur de moteurs plus propres, comme à Stockholm). Même si les analyses environnementales ne sont pas systématiques, on constate ensuite que les péages urbains ont fréquemment un effet bénéfique sur la qualité de l'air (dans le cas de Milan, les émissions de NOx ont baissé de 11 % et celles de PM<sub>10</sub> de 14 %). D'une manière symétrique, la plupart des villes ont vu augmenter la fréquentation de leurs transports collectifs (+ 4,5 % à Stockholm, + 5 % à Rome et + 5 % à Londres). Même si la tarification des routes s'est parfois accompagnée d'une hausse de la tarification des transports en commun (Milan, Göteborg), les recettes des péages routiers (80 M euros/an à Singapour, 135 M euros/an à Londres) ont en effet permis d'améliorer les offres modales alternatives.

Malgré ces succès bien réels, il convient de préciser que les coûts d'investissement et d'exploitation des péages urbains constituent souvent un poste majeur de dépenses (46 % des recettes à Londres, 55 % à Milan et 100 % ou plus à La Vallette), le choix fait en faveur des technologies par reconnaissance optique pouvant mettre à mal leur bilan socioéconomique. Les péages urbains ne sont donc pas la panacée, mais ils mettent l'accent sur les zones où la pollution atmosphérique est la plus problématique. Ils peuvent évidemment être complémentaires de mesures réglementaires, comme les zones à faibles émissions (cas de Londres).

(4) <https://www.crit-air.fr/fr>

# Des outils réglementaires et fiscaux pour réduire les émissions de polluants atmosphériques de l'industrie

Par Paul BOUGON  
et Richard LAVERGNE  
Conseil général de l'Économie (CGE)

La réglementation et la fiscalité dites « environnementales » constituent deux moyens utilisés par les pouvoirs publics pour contraindre les agents économiques à prendre en compte dans leurs décisions l'impact des pollutions générées par leurs activités, et à les réduire. À la lumière de l'exemple de la mobilisation de ces deux outils pour réduire les émissions polluantes des installations industrielles, les auteurs proposent une analyse des forces et des faiblesses de chacun d'eux.

## Introduction

Les décisions et comportements des agents économiques (entreprises, ménages, secteur public) n'intègrent pas spontanément le coût des dommages à l'environnement (climat, qualité de l'air, pollutions...) ou les risques d'épuisement des ressources, notamment vivantes (biodiversité), résultant de leurs choix ou activités. L'analyse économique montre que les pouvoirs publics sont fondés à prendre des mesures pour corriger ces imperfections de marché, afin de maximiser le bien-être social, par exemple en introduisant une fiscalité assise sur les comportements que l'on souhaite décourager. On parle dans ce cas de taxes « pigouviennes <sup>(1)</sup> » : cette fiscalité environnementale vise à internaliser des « déséconomies » externes, ou externalités négatives, c'est-à-dire des dommages engendrés par l'activité d'un agent économique qui en rejette le coût sur la société. Les pouvoirs publics peuvent également corriger ces imperfections du marché en utilisant des outils plus directs, notamment normatifs (limites d'émission dans le cas de la pollution de l'air).

L'internalisation des coûts externes rétablit en principe les « vrais » prix en résorbant l'écart entre coût social et coût privé. La fiscalité environnementale est ainsi un des instruments de politique publique pour intégrer, dans le coût supporté par l'acteur économique, les coûts sociaux et environnementaux que ce dernier occasionne.

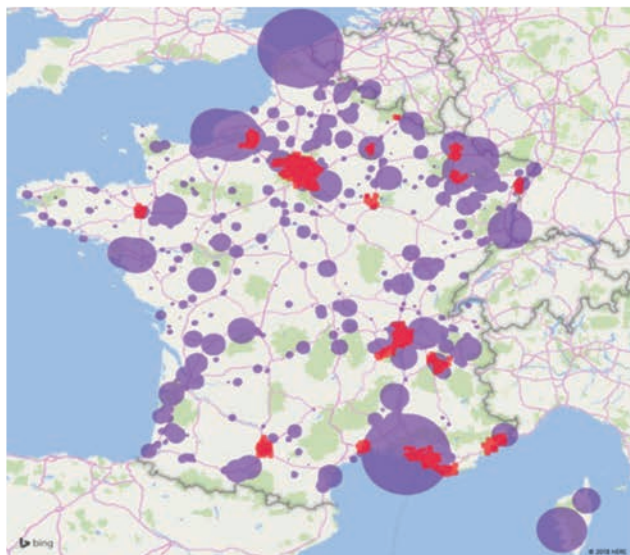
En résorbant l'écart entre le coût privé et le coût pour la collectivité, une taxe environnementale conduit chaque agent à arbitrer entre polluer et payer la taxe, ou réduire sa pollution pour payer moins de taxe. Dans la continuité des travaux d'Arthur Pigou, comme la règle dite de Ramsey <sup>(2)</sup> pour la taxation optimale, de nombreux économistes ont étudié la façon d'améliorer l'efficacité de la fiscalité environnementale. Si les acteurs économiques sont rationnels, alors chaque agent met en œuvre toutes les actions de réduction des atteintes à l'environnement, dont le coût est moins élevé que le montant de la taxe et, à l'équilibre, le niveau de la taxe aligne donc le coût marginal de réduction de la nuisance pour les pollueurs sur le bénéfice social que la société tire de la réduction des nuisances. La taxe permet ainsi de minimiser le coût total de l'effort pour un objectif environnemental donné.

Outre les questions d'acceptation, que la crise des « Gilets jaunes » a mises en évidence à l'automne 2018 avec un projet de hausse de la « taxe carbone », la mise en œuvre d'une taxe environnementale soulève plusieurs difficultés liées à la tarification des externalités considérées, la quantification (calibration) de leur coût étant souvent complexe et parfois sujette à débats (des évaluations coût-bénéfice étant rarement effectuées en matière environnementale), ainsi que sur le mode de fixation de la taxe :

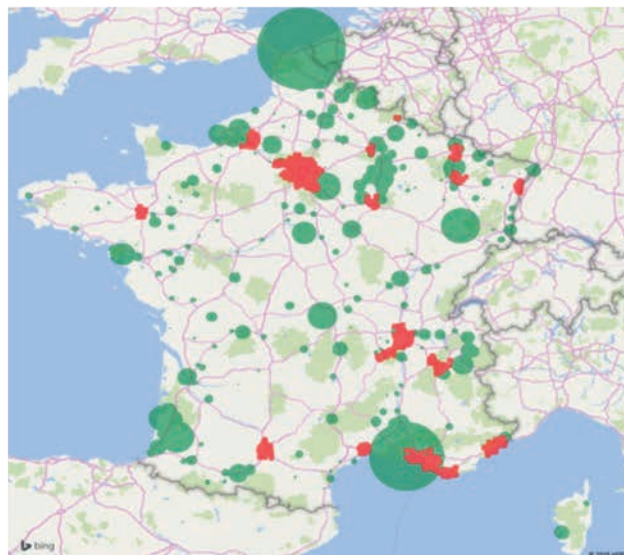
- Le taux doit-il être égal au dommage environnemental

(1) D'après l'économiste britannique, dit « libéral », Arthur C. Pigou (1877-1959).

(2) D'après le mathématicien, philosophe et économiste britannique, Frank P. Ramsey (1903-1930). La règle de Ramsey énonce que la taxation optimale est inversement proportionnelle à l'élasticité de la demande du bien taxé (hors asymétrie d'information).



**NO<sub>x</sub> : zones de dépassement en concentrations (rouge) et principales zones d'émissions industrielles (violet)**



**Poussières (PM<sub>10</sub>) : zones de dépassement en concentrations (rouge) et principales zones d'émissions industrielles (vert)**

Figure 1 – Sources : Données direction générale des Douanes et des Droits indirects et carte mission CGE-CGEDD-IGF.

fixé selon le coût de réparation de la nuisance (principe pollueur-payeur) ou selon un principe d'incitation à réduire la nuisance ?

- L'assiette de la taxe est-elle la pollution générée par chaque pollueur ou par certains d'entre eux seulement ?

La fiscalité n'a d'impact sur une nuisance que si les comportements qui en sont à l'origine présentent une certaine élasticité : or, la fiscalité peut être affectée à divers niveaux de la chaîne de valeur d'un produit ou d'un service, plus précisément à celui de la consommation finale ou de la production. Par ailleurs, l'utilisation de la fiscalité pour internaliser les externalités liées à une pollution suppose d'être en mesure de déterminer les coûts sociaux associés à celle-ci.

## Problématique pour la pollution atmosphérique

En vue de réduire les émissions industrielles des polluants dans l'atmosphère, deux outils sont utilisés en France par la puissance publique :

- la réglementation, qui soumet les installations industrielles à un régime d'autorisation, assorti de prescriptions individuelles fixant pour chaque installation des valeurs limites d'émission de polluants, lesquelles sont déterminées par référence aux meilleures technologies disponibles<sup>(3)</sup> ;
- la fiscalité, à travers la TGAP Air, qui s'applique aux ins-

tallations soumises à autorisation, est assise sur la quantité de polluants effectivement émise chaque année.

L'analyse des émissions de polluants montre, depuis plusieurs décennies, qu'en France, cette combinaison d'outils a été très efficace, et ce même si la TGAP Air n'est pas réellement incitative, compte tenu de la faiblesse des taux pratiqués. Dans les autres pays de l'OCDE, qui ont tous développé des politiques de lutte contre la pollution, le même constat de diminution des émissions, et donc de succès de ces politiques, peut être fait. Cela vaut à la fois pour les pays qui n'ont recours qu'à des outils réglementaires (la majorité, en fait, dont l'Allemagne et le Royaume-Uni) et pour les pays qui ont puissamment utilisé le levier fiscal, comme la Suède. En fait, l'utilisation cumulée de ces deux outils, fiscalité et réglementation, pour lutter contre la pollution atmosphérique, n'est observée que dans un petit nombre<sup>(4)</sup> d'États membres.

## Historique de la réglementation et de la fiscalité applicables aux émissions de polluants atmosphériques de l'industrie

### La réglementation a permis une forte réduction des émissions industrielles

Historiquement, c'est d'abord la réglementation qui a prévalu en France dans la lutte contre les émissions polluantes des installations industrielles. Les premières réglementations<sup>(5)</sup> remontent au Premier Empire : elles visaient

(3) Via les BREF, pour *Best available techniques REFERENCE documents*, qui sont, au titre de la directive 2010/75/UE (dite « IED »), définis dans un cadre communautaire et précisent pour différents secteurs industriels les niveaux de dépollution possibles et les méthodes pour y parvenir.

(4) Estonie, France, Italie, République tchèque, Slovaquie et Suède.  
(5) Notamment le décret impérial du 15 octobre 1810 sur les établissements dangereux, insalubres et incommodes.



alors simplement à interdire la construction d'ateliers ou d'usines « dangereux, insalubres et incommodes » à proximité des zones habitées. Cette réglementation est par la suite complétée et enrichie tout au long du XX<sup>e</sup> siècle. La loi du 20 avril 1932 relative à la suppression des fumées industrielles introduit la notion de pollution de l'air dans le corpus législatif français. La loi du 2 août 1962 (abrogée par la loi n°2006-686 du 13 juin 2006) relative à la lutte contre la pollution de l'air et les odeurs a prévu que les établissements industriels, de même que les immeubles, les établissements commerciaux ou agricoles ne peuvent être construits, exploités ou utilisés qu'à la condition de satisfaire à des prescriptions techniques destinées à limiter les pollutions de l'atmosphère.

Par la suite, la réglementation concernant spécifiquement les installations industrielles sera modernisée, en 1971, avec la définition du régime des installations classées pour l'environnement (ICPE), et progressivement harmonisée avec celles des autres pays européens, au travers de la transposition de directives successives adoptées en la matière, qui ont peu à peu conduit à harmoniser l'encadrement des installations industrielles en Europe depuis 1984.

Ainsi, les installations susceptibles d'émettre en quantité notable des polluants atmosphériques sont soumises à un régime d'autorisation préalable. Cette autorisation est accordée par le préfet et comporte des prescriptions individuelles encadrant les émissions polluantes, par la fixation de valeurs limites d'émission et éventuellement d'autres exigences (périodicité des contrôles, conduite à adopter en cas de pic de pollution). Pour chaque installation, ces prescriptions sont définies en se référant aux meilleures techniques disponibles recensées au sein de documents établis au niveau communautaire, les BREF. Les prescriptions peuvent également tenir compte de circonstances particulières liées à l'environnement : à titre d'exemple, autour de l'étang de Berre, zone de forte implantation d'industries pétrochimiques situées à proximité de bassins de population importants (zone de Fos-Berre et métropole Aix-Marseille), le préfet a édicté, pour chaque installation,

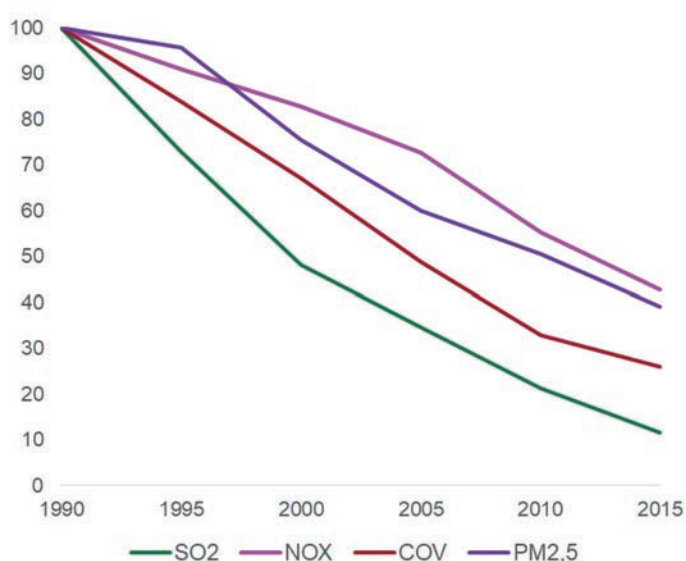


Figure 2 : Les émissions de polluants atmosphériques ont fortement baissé depuis 1990 en France (source : CITEPA).

des exigences particulières en matière d'émissions de composés organiques volatils.

### La fiscalité sur les émissions polluantes

La fiscalisation des émissions polluantes des installations industrielles en France a été introduite en 1985, au travers de la taxe parafiscale sur la pollution atmosphérique. Cette taxe parafiscale est en premier lieu conçue selon un principe de mutualisation des investissements pour réduire les émissions des installations : la taxe est collectée par l'Agence pour la qualité de l'air<sup>(6)</sup> et est redistribuée sous forme d'aides aux industriels qui consentent des investissements de réduction de leurs émissions, ainsi que, pour une part modeste, sous forme d'aides aux actions de développement de techniques industrielles dans le domaine de la réduction des émissions ou de mesure de la pollution de l'air.

En 1999, la taxe parafiscale est remplacée par la composante « émissions polluantes » de la TGAP, nouvellement créée. Si la TGAP Air reprend les principales caractéristiques techniques de la taxe parafiscale (assiette, montant), les objectifs évoluent peu à peu. Exit la « mutuelle de l'air », la taxe a désormais pour objectifs principaux :

- le financement du développement du réseau de surveillance de la qualité de l'air, au travers d'un mécanisme de don libérateur permettant aux industriels de déduire du montant de la taxe due 100 % du montant des dons qu'ils effectuent au profit des Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ;
- le renforcement du principe pollueur-payeur visant à faire contribuer les industriels aux coûts induits par leurs émissions polluantes ;
- l'incitation à la réduction générale des émissions polluantes des entreprises industrielles.

En 2016, le rendement total de la TGAP Air s'élevait à 59 M€, dont 27 M€ directement versés sous forme de dons libérateurs aux AASQA, le solde étant versé au budget général de l'État. Il applique un taux voté par la loi aux émissions dans l'air extérieur de dix-huit polluants. Cet impôt est payé par 817 industriels exploitant 1 205 installations classées ; il est assis sur les émissions de 18 polluants différents<sup>(7)</sup>. Les principaux secteurs concernés sont la production d'électricité (16 % du total des montants versés), la sidérurgie (15 %) et le raffinage du pétrole (14 %)<sup>(8)</sup>.

Seul le premier des trois objectifs précités est en partie rempli par la TGAP Air actuelle via le mécanisme des « dons libérateurs » aux AASQA. Grâce à ce mécanisme, les industriels contribuent significativement au financement de la surveillance de la qualité de l'air.

(6) L'Agence pour la qualité de l'air a été fusionnée avec d'autres agences en 1991, pour donner naissance à l'ADEME.

(7) Oxydes de soufre, oxydes d'azote, protoxyde d'azote, acide chlorhydrique, hydrocarbures non méthaniques et composés organiques volatils, mercure, nickel, vanadium, chrome, arsenic, zinc, cuivre, benzène, sélénium, hydrocarbures aromatiques polycycliques, cadmium et poussières en suspension.

(8) Données de 2016.



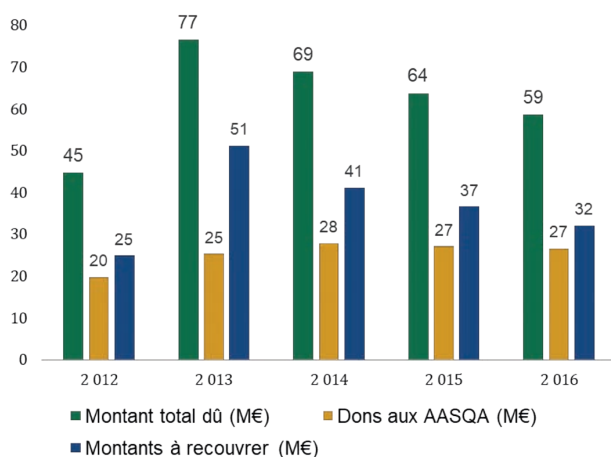


Figure 3 : Montant total dû au titre de la TGAP Air de 2012 à 2016 et part des dons libérateurs (Données : direction générale des Douanes et des Droits indirects).

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 a en effet confié la surveillance de la qualité de l'air en métropole à un réseau constitué alors de plus de quarante associations agréées par l'État, les AASQA ; le dispositif regroupe aujourd'hui dix-huit structures (une par région administrative en métropole et outre-mer). Leur gouvernance est organisée en quatre collèges, à savoir l'État, les collectivités territoriales, les entreprises et les associations et personnalités qualifiées pour la santé publique ou pour l'environnement. Les AASQA sont financées par l'État, les collectivités territoriales et les entreprises qui en sont membres. Les contributions de ces dernières proviennent, comme précité, de dons libérateurs au titre de la TGAP Air. En 2016, le montant total de ces apports s'est élevé à 27 M, soit 47 % des ressources totales des AASQA (avec d'importantes disparités régionales), montants qui restent stables malgré la baisse générale de la TGAP Air due par les industriels.

En ce qui concerne les objectifs d'incitation à la réduction des pollutions, ni les taux pratiqués ni l'assiette des polluants retenus ne sont en cohérence avec le coût des externalités ou les coûts d'abattement.

## Forces et faiblesses des outils disponibles

### Problème des transports, de l'agriculture, des émissions importées

L'analyse comparative des deux dispositifs concourant en France à la politique de maîtrise des émissions polluantes des installations industrielles permet de distinguer les forces et les faiblesses de chacune des approches.

D'une part, du point de vue strictement économique, la fiscalité apparaît comme l'outil le plus approprié pour conduire les agents à internaliser les coûts sociaux causés par leurs activités. En effet, en présence d'une telle fiscalité, les agents sont conduits à procéder à leurs propres arbitrages en vue d'adapter leur production et les conditions de celle-ci (notamment en ce qui concerne les émissions polluantes) au niveau qui leur permet de maximiser leur profit. Si la fiscalité sur les émissions est correctement

évaluée, cette situation est également celle qui conduit au bien-être collectif le plus élevé. En particulier, dans cette situation, les industriels sont incités soit à réduire, voire à cesser les productions dont ils ne sont pas en mesure de réduire les émissions polluantes, soit à investir pour développer et mettre en œuvre les moyens de dépollution les plus efficaces.

Pour autant, cette efficacité idéale de la fiscalité appliquée aux entreprises repose sur deux hypothèses fortes : celle de ne pas nécessiter de redistribution pour compenser l'impact sur la compétitivité et celle d'être en mesure de déterminer correctement le coût social des émissions polluantes que l'on souhaite combattre. Or, cet exercice est d'une complexité particulière, pour plusieurs raisons :

- le coût social d'une tonne de polluant émise à un endroit donné n'est pas nécessairement le même partout : pour certains polluants, les effets des émissions sont très localisés, le coût social dépend alors fortement de la densité de population au voisinage du lieu d'émission<sup>(9)</sup>. Pour d'autres polluants, la pollution peut avoir des effets sur de grandes distances, de sorte que l'on peut parler de « pollution importée » (les oxydes de soufre, par exemple, qui sont responsables des pluies acides, ou le CO<sub>2</sub> qui entraîne une nuisance globale sur le plan du changement climatique, même si les émissions de CO<sub>2</sub> sont traitées séparément des émissions polluantes) ;
- le coût social d'une tonne de polluant émise peut également varier dans le temps, ou selon des facteurs indépendants de l'installation qui les émet : conditions atmosphériques et météorologiques, autres sources d'émissions – c'est, par exemple, le cas des émissions de NOx susceptibles d'entraîner des épisodes de pollution à l'ozone en présence de conditions climatiques favorables et en combinaison avec des émissions de composés organiques volatils ;
- la détermination du coût lié aux dommages, en grande partie sanitaires, causés par la pollution de l'air est soumise à de nombreuses incertitudes.

En tout état de cause, dans le cas de la TGAP française, il convient de remarquer que les taux de cette taxe sont restés définis à des valeurs très inférieures aux coûts sociaux estimés des émissions polluantes.

À l'inverse, la réglementation, générale comme individuelle, permet de garantir un socle d'exigences en matière de limitation des émissions polluantes commun à l'ensemble des installations et de prévoir des exigences supplémentaires dans les zones présentant une fragilité accrue en raison de la densité de population alentour, de la présence d'autres installations polluantes ou de vulnérabilités écologiques particulières. Pour autant, en imposant des limites fixes et, dans certains cas, des solu-

(9) Ainsi, il existe depuis plusieurs années des valeurs de référence pour donner un coût aux émissions polluantes dues aux transports. Les valeurs retenues sont systématiquement différenciées en fonction du milieu : urbain dense, urbain peu dense, périurbain, rural. Voir, par exemple, <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/valorisation-de-la-pollution-atmosphc3a9rique-dans-le-calcul-socio-c3a9conomique1.pdf>

tions technologiques de dépollution, la réglementation est potentiellement source d'inefficacité économique.

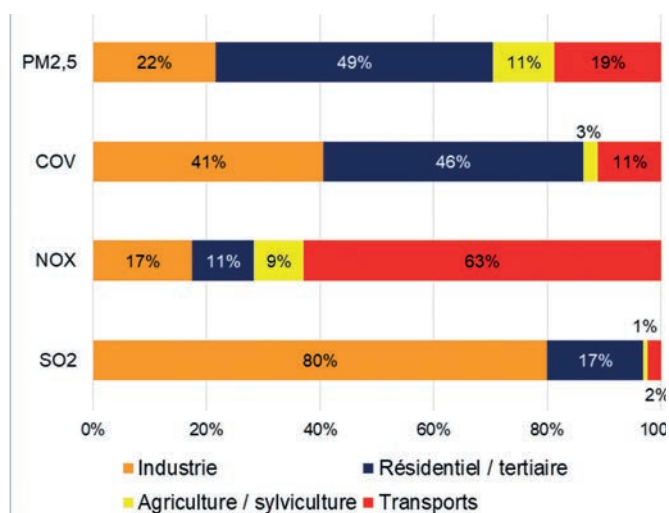


Figure 4 : L'industrie ne constitue qu'une part minoritaire des émissions anthropiques, sauf pour le SO<sub>2</sub> et certains métaux (source : CITEPA).

Par rapport à la fiscalité, la réglementation présente quelques inconvénients, dont il convient de prendre la mesure :

- Des infractions peuvent être plus ou moins bien tolérées en fonction du contexte socio-économique (mais des allègements fiscaux sont également concevables).
- Son contrôle nécessite de disposer de fonctionnaires suffisamment nombreux et bien formés, ce qui est d'autant plus coûteux que les nouvelles technologies nécessitent des qualifications élevées.

## Pistes d'amélioration

Le principe d'une taxe à la production, telle que la TGAP Air, peut paraître contestable, car elle a tendance à pénaliser les entreprises françaises dans la mesure où leurs concurrents n'y sont pas assujettis. De ce point de vue, une réglementation européenne harmonisée et évolutive pour améliorer continûment la qualité de l'air, comme c'est le cas actuellement grâce aux directives européennes, paraît préférable.

Il reste en outre à relativiser l'impact des efforts demandés à l'industrie par rapport à ceux réalisés par d'autres responsables d'émissions, notamment les transports, l'agriculture, le chauffage domestique et les émissions importées. L'amélioration de la qualité de l'air devra passer par des actions appropriées, elles aussi, motivées par la réduction de ces émissions.

## Bibliographie

IGF-CGE-CGEDD (2018), rapport « Évaluation de l'impact environnemental et économique de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) sur les émissions de polluants atmosphériques », octobre 2018 (disponible sur le site Internet du Conseil général de l'Économie).

Rapport national d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France, Séries sectorielles et analyses étendues, Format SECTEN, CITEPA, avril 2017.

# Chronique d'une réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) dans le secteur du raffinage

Par Franck CHEVALLIER

UFIP (Union française des industries pétrolières)

L'industrie pétrolière s'est engagée depuis longtemps pour améliorer la qualité de l'air, tant au niveau de ses plateformes industrielles de raffinage du pétrole qu'au niveau de la qualité de ses produits. Les industriels du raffinage ont ainsi déployé des efforts importants en termes techniques, organisationnels et économiques pour réduire à la fois leurs propres émissions atmosphériques et celles de leurs clients utilisateurs.

Le cas du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est un bel exemple de ces progrès qui ont vu les émissions du raffinage français diminuer de plus de 80 % en trente ans, alors que les traitements du pétrole brut ont évolué dans une proportion moindre. Des investissements très importants ont été engagés pour mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles afin de réduire les émissions sur les sites industriels et, dans le même temps, pour fabriquer des carburants à très basse teneur en soufre d'une qualité toujours plus grande, qui permettent aux constructeurs automobiles le développement de technologies réduisant toujours plus les émissions des moteurs thermiques.

L'industrie du raffinage a également développé et utilise des outils de modélisation pour réaliser des études d'impact et des prévisions lors des épisodes de pollution associant une anticipation de la dispersion des fumées émises dans l'atmosphère avec les prévisions météorologiques.

Des effets positifs de ces efforts sur la qualité de l'air sont observables et les dépassements de la valeur limite de concentration dans l'air ambiant du dioxyde de soufre sont désormais très rares au niveau des sites industriels et des agglomérations.

Compte tenu de ces faibles niveaux d'émissions et de concentrations désormais atteints en France pour le dioxyde de soufre, toute mesure de réduction supplémentaire doit être précisément évaluée, car elle pourrait avoir des coûts de plus en plus élevés pour une efficacité et un bénéfice de plus en plus réduits.

## Le raffinage français et la qualité de l'air

L'industrie pétrolière est un acteur engagé dans la protection de l'environnement et la qualité de l'air, tant au niveau de ses plateformes industrielles de raffinage du pétrole qu'au niveau de la qualité des produits nécessaires aux activités de la vie courante (chauffage, transports...) et ceux utilisés dans des processus industriels (pétrochimie, lubrifiants, revêtements routiers...).

Aujourd'hui, la France compte neuf raffineries, dont une aux Antilles, et une bioraffinerie de taille mondiale. Quatre raffineries sont intégrées à des sites pétrochimiques au cœur de bassins industriels.

Pour les industriels du raffinage, l'amélioration de la quali-

té de l'air est un enjeu majeur :

- Ils ont déployé des efforts importants pour réduire leurs émissions atmosphériques et les impacts de celles-ci. Les exemples de ces initiatives sont nombreux : développement de technologies innovantes, mise en œuvre des meilleures techniques disponibles, réalisation d'études d'impact à chaque nouveau projet...
- Localement, les raffineries contribuent à la surveillance de l'air au travers du dialogue et de la coopération avec les différentes parties prenantes, ainsi que du financement des associations de surveillance de la qualité de l'air agréées par l'État. Des moyens techniques et organisationnels sont également mis en œuvre afin d'anticiper et de réduire les émissions et les pics de pollution.

Ils ont ainsi contribué à l'amélioration de la qualité de l'air extérieur observée en France depuis plusieurs décennies<sup>(1)</sup>. Le cas du dioxyde de soufre, développé dans cet article, est un exemple emblématique des progrès réalisés.

## Les émissions du raffinage et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Le raffinage, au cours des opérations de transformation du pétrole brut en produits pétroliers finis, émet principalement dans l'atmosphère du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et des particules (PM), qui viennent s'ajouter à des gaz à effet de serre liés à la combustion (CO<sub>2</sub>).

Le secteur du raffinage contribue pour moins de 20 % aux émissions de SO<sub>2</sub> au niveau national, derrière l'industrie manufacturière. Et il reste un contributeur très minoritaire (moins de 2 %) pour les autres polluants comme l'indiquent les données du tableau suivant correspondant aux émissions nationales de l'année 2015<sup>(2)</sup>.

Émissions (kt/an)	Raffinage	France métropolitaine	Part Raffinage
SO <sub>2</sub>	30,1	153	19,7%
NO <sub>x</sub>	10,8	835	1,3%
COVNM	7,3	623	1,2%
PM <sub>2,5</sub>	0,3	165	0,2%

Tableau 1.

Les émissions de SO<sub>2</sub> du raffinage dépendent du soufre présent dans les pétroles bruts qui alimentent les raffineries (dans différentes proportions en fonction de leurs origines géographiques). Elles sont en constante réduction du fait de l'évolution des procédés mis en œuvre pour récupérer le soufre et réduire les émissions.

Ce soufre est présent dans les combustibles liquides et gazeux autoconsommés pour fournir l'énergie nécessaire aux procédés de raffinage, et sa présence dans les produits nécessite de désulfurer ceux-ci pour éliminer les émissions liées à leur usage et répondre aux spécifications réglementaires, normatives et commerciales. Au-delà de diminuer les émissions directes de SO<sub>2</sub> liées au soufre des combustibles, comme pour les fiouls marins ou industriels, le soufre doit aussi être extrait des carburants essences et diesel, car il empêche les systèmes de post-traitement catalytiques, installés sur les véhicules, de fonctionner correctement et suffisamment longtemps.

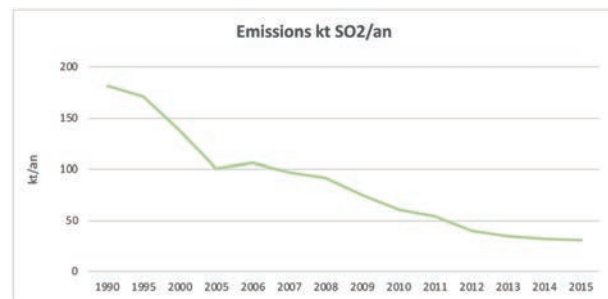
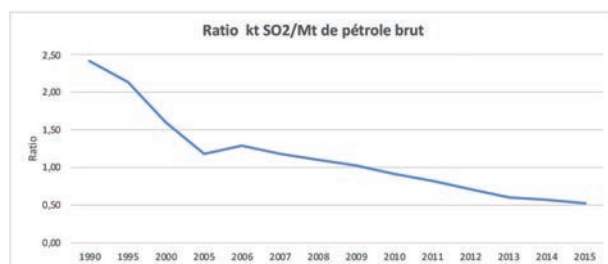
## La contribution du raffinage à la baisse continue sur quarante ans des émissions de SO<sub>2</sub>

Après un pic à la fin des années 1970, les émissions atmosphériques de SO<sub>2</sub> ont été réduites continuellement et

très significativement sur le territoire national sous l'effet de la diminution des consommations d'énergies fossiles liée à la mise en œuvre du programme électronucléaire, à la mise en place d'actions d'économie d'énergie et des progrès réalisés par les industriels dans leurs procédés, ainsi que de l'usage de combustibles moins soufrés et de l'amélioration du rendement énergétique des installations.

À ces réductions, sont venues s'ajouter diverses dispositions réglementaires sur la teneur en soufre des combustibles et carburants, renforçant la baisse constatée au niveau national.

Le raffinage y a largement contribué. Les inventaires établis régulièrement par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) montrent la chute très importante des émissions depuis plusieurs décennies. S'agissant du SO<sub>2</sub>, les émissions ont diminué de 152 kt entre 1990 et 2015, soit une baisse de 83 %, bien plus forte que celle des traitements du pétrole brut (24 %). Le ratio émissions de SO<sub>2</sub> par tonne de pétrole brut traité<sup>(3)</sup> a donc également baissé (voir les Figures 1 et 2 ci-dessous).



Figures 1 et 2.

Cette trajectoire vertueuse de baisse des émissions de SO<sub>2</sub> du raffinage a concerné les installations de combustion qui apportent l'énergie nécessaire au fonctionnement des procédés de raffinage (fours, chaudières, turbines...) et les unités techniques de procédés comme les craqueurs catalytiques en lit fluidisé servant à fabriquer des essences ou les unités d'extraction et de récupération du soufre contenu dans les produits (unités d'hydrodésulfuration et usines à soufre). Elle s'explique notamment :

- par la baisse de la teneur en soufre des combustibles liquides autoconsommés et par une moindre utilisation des fiouls lourds au profit du gaz naturel ;
- par la mise en œuvre des meilleures techniques dispo-

(1) CGDD (2018), « Bilan de la qualité de l'air en France en 2017 », octobre.

(2) CITEPA (2017), rapport SECTEN, avril.

(3) Source : UFIP-CPDP.



nibles (MTD) dans les unités de combustion et de fabrication, et cela avant que la directive sur les émissions industrielles, dite IED<sup>(4)</sup>, ne l'impose pour le raffinage à la fin 2018 avec l'application des conclusions sur les MTD parues en octobre 2014 ;

- par la mise en place d'actions d'économie d'énergie et par l'amélioration du rendement énergétique des installations.

## Dans leur phase d'utilisation, les produits du raffinage contribuent à la réduction des émissions : exemple du transport

En éliminant le soufre des carburants essences (divisé par 200) et carburants gazoles (divisé par 100), le raffinage a également contribué très largement à lutter contre la pollution de l'air en réduisant les émissions du transport routier<sup>(5)</sup>, comme illustré dans le tableau suivant :

Émissions du transport routier (kt/an)	1990	2010	2016 (estimé)
SO <sub>2</sub>	143	0,8	0,8
NO <sub>x</sub>	1224	582	453
PM <sub>2,5</sub>	70	41	26

Tableau 2.

La teneur en soufre des essences et des gazoles est limitée à 10 ppm en France et en Europe depuis 2009. À titre de comparaison, cette norme sera étendue à la Chine, l'Inde et les États-Unis seulement au cours de la prochaine décennie.

Le raffinage français et européen a par ailleurs agi avec force pour l'abaissement d'autres composés présents dans les carburants, comme les composés aromatiques, les oléfines, le benzène, le manganèse et le plomb.

L'industrie pétrolière française développe ainsi des carburants de qualité toujours plus élevée, qui permettent aux constructeurs automobiles le développement de technologies permettant de réduire considérablement les émissions des moteurs thermiques de dernière génération. De nombreux produits premium proposés dans les stations-service reposant sur des additifs de haute technologie (détergence, performance...) réduisent les consommations et contribuent également à restreindre les émissions.

## D'importants investissements ont été mis en œuvre

Pour atteindre ces performances sur les émissions de SO<sub>2</sub>, les raffineries ont mis en œuvre les meilleures techniques disponibles adaptées à leurs effluents et procédés fonctionnant en marche continue. L'aspect coûts vs efficacité environnementale est aussi pris en compte dans les choix d'investissement retenus.

Pour la baisse des émissions de SO<sub>2</sub>, on peut mentionner entre autres :

- les mesures en faveur de l'efficacité énergétique (échanges thermiques, combustion...);
- les améliorations dans l'organisation opérationnelle des sites industriels contribuant à préserver la qualité de l'air : par exemple, la gestion des opérations en cas d'épisodes de pollution ;
- le changement de combustibles avec le passage au gaz en substitution au fioul lourd ;
- l'augmentation des capacités associée à une amélioration de l'efficacité des unités d'extraction et de récupération du soufre des produits et effluents en contenant ;
- l'amélioration du lavage aux amines pour enlever le soufre des gaz de raffinerie autoconsommés ;
- l'usage d'additifs pour extraire le soufre des procédés catalytiques en lit fluidisé ;
- des stripeurs d'eau haute pression permettant une meilleure séparation des gaz contenant des composés soufrés, puis l'apport d'un traitement adapté ;
- la récupération et la purification de gaz torchés ou brûlés.

Pour réduire les émissions d'autres polluants comme les oxydes d'azote, les poussières et les composés organiques volatils, le raffinage a mis en œuvre d'autres solutions techniques comme des brûleurs bas-NO<sub>x</sub>, des procédés de dénitrification des fumées *via* les procédés catalytiques SCR<sup>(6)</sup> sur les turbines ou non catalytiques SNCR<sup>(7)</sup> sur les chaudières, des dépoussiéreurs par précipitateurs électrostatiques, des systèmes de détection systématique des émissions fugitives, des unités de récupération de vapeur..., et le recours aux meilleures techniques permettant de limiter les émissions sur les bacs de stockage (par exemple, des joints d'étanchéité plus performants).

Pour mettre en œuvre ces technologies et réduire les émissions atmosphériques, le raffinage français a investi, tous polluants confondus, plus de 500 millions d'euros, auxquels se rajoutent, pour chaque site, des frais opératoires de plusieurs millions d'euros par an. Le cas échéant, des surcoûts d'achats de pétrole brut à faible teneur en soufre sont nécessaires pour respecter les valeurs d'émissions autorisées par installation.

Ces investissements ont été en grande partie engagés avant 2010 (dans le cadre de l'arrêté ministériel Raffinage de juin 2005 et des plafonds d'émissions nationaux 2010 de la directive, dite NEC<sup>(8)</sup>). Après 2010 et pour tenir compte des incidences de la révision des permis d'exploiter (liée à la directive IED), les sites ont continué à investir et à mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles, déjà largement en place, de manière ciblée, en recherchant toujours les baisses d'émissions les plus efficaces, c'est-à-dire à un coût (investissements + frais opératoires) en euros/tonne de polluant évitée le plus bas.

(4) Directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles.

(5) CITEPA (2017), rapport SECTEN, avril.

(6) SCR : Selective Catalytic Reduction.

(7) SNCR : Selective Non Catalytic Reduction.

(8) NECD : National Emission Ceiling Directive.

Pour ces deux grandes périodes, avant et après 2010, l'ordre de grandeur des coûts liés à la maîtrise des émissions atmosphériques de  $\text{SO}_2$  est équivalent à plusieurs milliers d'euros/tonne évitées.

Pendant la période 2000-2010, le raffinage français a également massivement investi (1 milliard d'euros) pour produire des carburants à très basse teneur en soufre (10 ppm), qui ont largement contribué à l'amélioration de l'efficacité des moteurs et à une baisse drastique des polluants en sortie d'échappement. Il faut ajouter à ce chiffre un autre milliard d'euros d'investissements dans des capacités d'hydrocraquage qui consistent à convertir le fioul lourd en produits légers et à réduire ainsi considérablement les émissions liées à la combustion du fioul lourd.

## Des conséquences positives pour la qualité de l'air observables

On constate que les concentrations moyennes annuelles pour le  $\text{SO}_2$ , mesurées en fond urbain, ont été divisées par cinq depuis le début des années 2000 et que les dépassements de valeur limite de concentration dans l'air ambiant en moyenne horaire ou en moyenne journalière sont désormais très rares au niveau des sites industriels. Aucune agglomération n'a enregistré un dépassement des normes réglementaires de qualité de l'air pour le  $\text{SO}_2$  en 2017<sup>(9)</sup>.

## Prévoir et analyser les impacts pour optimiser les mesures

### Le raffinage a développé et utilisé des outils de modélisation et de prévision

Les impacts sanitaires des émissions atmosphériques sont évalués dans le volet Santé des études d'impact. Les outils de modélisation permettent de calculer à l'échelle locale les concentrations et dépôts atmosphériques

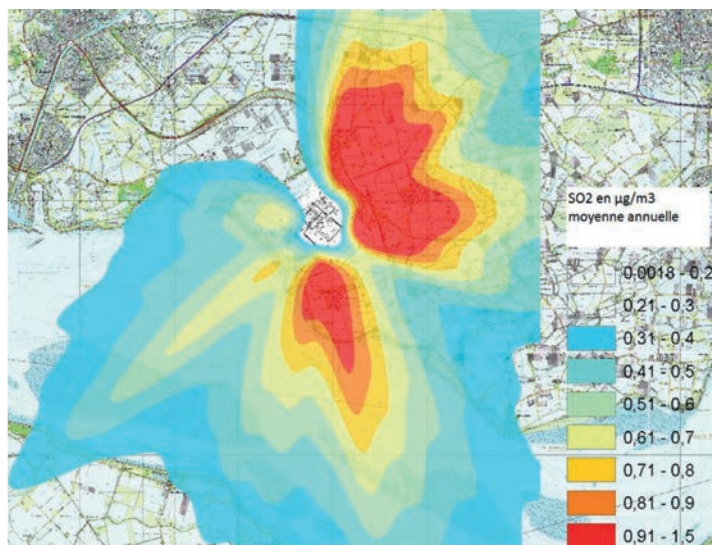


Figure 3 : Exemple de modélisation d'impact moyen annuel en  $\text{SO}_2$  autour d'un site de raffinage en Europe.

(9) CGDD (2018), « Bilan de la qualité de l'air en France en 2017 », octobre.

résultant de la dispersion atmosphérique de différents polluants émis et de hiérarchiser les zones de retombées atmosphériques (concentrations) des émissions d'une installation en fonctionnement normal.

Les outils de modélisation utilisent en données d'entrée de leurs calculs, les paramètres d'émissions et leurs éventuelles variations, la direction et la force des vents, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère locale, mais également la topographie, le bâti et l'occupation des sols. Ils sont un moyen de mieux estimer les impacts d'une activité, mais ils constituent aussi un moyen de tester les gains résultant de différents scénarios de réduction des émissions (puisque les émissions et concentrations ne sont pas linéaires) afin d'optimiser, en termes de coûts/efficacité, les mesures de progrès.

La France possède une expertise reconnue internationalement en matière de modélisation, à laquelle a contribué l'industrie du raffinage et dont elle se sert.

Des outils d'aide à la décision en cas de pics de pollution ont, par exemple, été développés spécifiquement pour anticiper et limiter les impacts de l'activité des sites de raffinage sur la qualité de l'air<sup>(10)</sup>. Le principe est d'associer un modèle de dispersion des fumées émises dans l'atmosphère avec des prévisions météorologiques pour prévoir, par simulation, l'impact environnemental d'une raffinerie en fonction de sa prévision de marche. Ces outils peuvent fonctionner 24h/24 et génèrent un indicateur du risque environnemental associé à une probabilité pour les jours à venir. L'innovation a été d'obtenir une prévision météorologique à fine échelle fiable qui permet à un site industriel d'anticiper des actions efficaces et adaptées pour réduire les risques d'impact. Les résultats se sont traduits par une nette diminution des dépassements des normes qualité de l'air pour le  $\text{SO}_2$  à partir de la mise en œuvre de ces outils qui auront aussi contribué aux progrès constatés autour des sites industriels.

Au niveau national ou régional, des outils de modélisation sont également utilisés pour évaluer l'impact des mesures réglementaires. Par exemple, dans le cadre du Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA), les mesures prises ont fait l'objet d'analyses spécifiques pour évaluer leurs performances en regard de leurs coûts<sup>(11)</sup>. Ces évaluations sont particulièrement nécessaires dans le contexte du  $\text{SO}_2$  compte tenu des faibles niveaux d'émissions et de concentrations désormais atteints en France. En effet, il est souhaitable d'éviter que les coûts de réductions supplémentaires soient hors de proportion avec les bénéfices attendus.

(10) "An integrated tool to forecast and reduce refinery contribution to  $\text{SO}_2$  pollution peaks", *International Journal of Environment and Pollution* 44(1/2/3/4), February 2011, pp. 115-121.

(11) [https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/06-1\\_PREPA\\_Synthèse\\_-\\_aide\\_a\\_la\\_decision\\_pour\\_l\\_elaboration\\_du\\_PREPA.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/06-1_PREPA_Synthèse_-_aide_a_la_decision_pour_l_elaboration_du_PREPA.pdf)

# Les innovations technologiques sont-elles vraiment au service de la qualité de l'air et de la santé des citoyens ?

Par Caroline VAN RENTERGHEM  
WAIR

Des innovations toutes plus révolutionnaires les unes que les autres ne cessent de se multiplier pour nous permettre de respirer un air plus sain pour notre santé.

Si ces innovations peuvent nous aider sur le court terme, seuls des changements de comportements et de politiques permettront de résoudre le problème sur le long terme.

Les médias nous abreuvent régulièrement d'inventions révolutionnaires capables de dépolluer l'eau ou l'air. Ce fut le cas en octobre 2016 avec la "Smog Free Tower" installée par l'artiste hollandais Daan Roosegaarde dans un jardin public de Pékin. Cette étonnante sculpture avait la particularité d'« aspirer » la pollution pour la concentrer et en faire des bijoux, aussi splendides que sinistres. Grâce à une technologie utilisant les ions positifs « attirant » ainsi la pollution environnante, son créateur clamait qu'elle pouvait nettoyer 30 000 mètres cubes d'air par heure, créant ainsi une bulle d'air pur pour les passants.

Pourquoi une telle innovation n'a-t-elle pas encore été implantée dans tout le pays ? Son efficacité est-elle réelle ? Combien d'œuvres colossales de ce type seraient nécessaires pour sensiblement réduire les niveaux ahurissants de pollution atmosphérique atteints par la mégalopole chinoise ?

En France, nous avons vu apparaître de timides tentatives d'installations visant à améliorer notre air, telles que des murs à la fois anti-bruit et anti-pollution (visant principalement la captation des NOx, notamment le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)) le long du périphérique parisien.

À une échelle plus individuelle, l'air semble être le nouvel eldorado des inventeurs et des *start-ups*. Surfant sur une préoccupation grandissante et une prise de conscience récente, nous voyons progressivement apparaître des produits capables de dépolluer notre air, tels que des purificateurs d'air intérieur ou encore des masques anti-pollution.

La logique de ces innovations est de nous permettre de respirer un air plus sain pour notre santé, partout où nous nous trouvons. L'air vicié est en effet subi et il semblerait vain

d'opter pour la solution la plus radicale qui serait de déménager alors que 92 % de nos concitoyens sont concernés par ce phénomène. De plus, s'expatrier à la campagne, par exemple, peut s'avérer une fausse bonne idée, certaines campagnes étant plus polluées que certaines villes du fait notamment de l'épandage de pesticides.

Si ces innovations traitent la pollution, d'autres se sont, elles, attaquées aux sources de celle-ci et tentent de réguler ces émissions engendrées par l'activité humaine. C'est le cas des véhicules électriques ou à hydrogène, des teintures moins polluantes...

Qu'elle agisse sur la source de la pollution ou bien qu'elle la traite et la diminue, la technologie semblerait porter notre salut.

Mais toute cette technologie va-t-elle réellement nous sauver, éviter à notre planète asphyxiée de devenir totalement irrespirable et impropre à la vie ? Ne serait-elle pas, à certains égards, un déplacement du problème plutôt qu'une solution ?

Nous verrons, dans un premier temps, les différentes mesures de lutte contre la pollution atmosphérique pour nous interroger, dans un second temps, sur leur impact à long terme. Enfin, nous verrons que la recherche a encore beaucoup de progrès à faire et que le meilleur moyen de réduire nos émissions ne réside pas dans la technologie qui génère d'autres sources de pollution, mais bien dans la déconsommation.

80 % des Français sont préoccupés par la qualité de l'air qu'ils respirent, et 71 % sont inquiets des effets de la pollution sur leur santé. Les médias ont joué leur rôle ces dernières années, et l'enjeu de l'air, si peu connu il y a quelques années, a enfin pénétré les esprits, mais rares



sont les solutions qui répondent aux prédictions de ces Cassandra.

L'air a toujours été le parent pauvre de l'écologie, et pour cause, la pollution de l'air est invisible et l'air n'appartient (du moins jusqu'à ce jour où nous écrivons ces lignes) à personne, personne ne se sent donc concerné d'en assurer la qualité.

Seules les villes ont commencé à s'attaquer à ce casse-tête, non pas par pur intérêt pour leurs concitoyens, mais pour conserver leur attractivité. Les expatriés envoyés à Pékin se voient proposer des primes, dont le montant fluctue en fonction de la qualité de l'air dans le pays. Sur le principe du pollueur-payeur (adopté par l'OCDE en 1972 et qui a notamment inspiré les propositions en faveur de la taxe carbone), c'est un nouveau modèle de « pollué-rémunéré » qui s'est mis en place. L'immense population locale, elle, n'est bien évidemment pas indemnisée en contrepartie de son ingestion quotidienne de polluants mortels et doit se protéger avec les moyens à sa disposition. Un des premiers moyens pour lutter contre la pollution est donc une incitation (ou sanction) économique. Les niveaux de pollution ne sont en aucun cas modifiés par ces mesures.

D'autres moyens industriels visent à réduire les taux de pollution dans l'air.

Il existe une multitude de systèmes de filtration à l'échelle des bâtiments, dont les puissances, les coûts et les fonctionnements varient en fonction des domaines adressés.

D'autres procédés ont vu le jour récemment. L'utilisation de micro-algues, implantées dans des bassins autour des usines, est en expérimentation sur divers sites industriels français. Ces micro-algues ont la particularité d'absorber le CO<sub>2</sub> rejeté par l'activité de l'usine et de le transformer en minéraux précieux pour l'organisme. Elles sont donc à la fois dépolluantes, mais aussi source de revenus !

Un autre procédé appelé photocatalyse est aussi connu depuis les années 1990. Il utilise les propriétés du dioxyde de titane qui a la faculté, au contact de la lumière (ou plutôt des UV) d'adsorber les polluants (principalement les COV, mais aussi les microbes et les particules) présents autour de lui sur la base d'un principe d'oxydation. Ce procédé peut être appliqué à du textile, des vitres (qui deviennent « autonettoyantes ») ou bien du mobilier public (car il empêche la prolifération des microbes). L'innocuité de cette technique pose encore question. Une fiche publiée en 2013 par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) soulignait le manque d'informations quant aux effets sur la santé des nanoparticules de dioxyde de titane. Elles ont en outre été classées comme « cancérigène possible ».

Une autre technique est l'hygrométrie, le taux d'humidité dans l'air agissant directement sur la qualité de l'air. Plutôt utilisé en intérieur, ce procédé permet mécaniquement de « coller au sol » les microbes et COV, les molécules d'eaux « alourdissant » l'air. Un épisode de pluie en extérieur aura le même effet, il réduira la pollution en faisant retomber les particules au sol.

Mais c'est dans le domaine du numérique que les innovations ont été les plus nombreuses ces dernières années. La grande tendance est aux capteurs, et plus particulièrement aux micro-capteurs tant la miniaturisation de ceux-ci ainsi que leur résistance aux exigences de la mobilité en font un axe de recherche prisé de nombreuses *start-ups* et grands groupes. Le nombre de substances à surveiller, leurs natures diverses ainsi que la nécessité pour les capteurs d'être « calibrés » régulièrement sont les principales raisons des difficultés à la création de capteurs embarqués, qui soient efficaces, fiables et capables de mesurer une large gamme de polluants. Les gaz sont captés chimiquement alors que les particules sont désormais généralement mesurées grâce à la technique de la spectrométrie de masse (un laser qui, installé dans une microscopique boîte noire, compte le nombre de particules passant devant son champ optique).

En parallèle à ces avancées réalisées sur les capteurs, les sociétés d'analyse de ces données de qualité de l'air se sont multipliées. Le principe est d'élaborer des algorithmes capables, sur la base de ces données collectées par des capteurs fixes comme mobiles, de déterminer la qualité de l'air en temps réel et à quelques mètres près, voire de la prédire. Aux données pures de mesure de l'air viennent s'ajouter de nombreux autres paramètres intervenant tous dans la qualité de l'air, comme la météo, la géographie, l'urbanisme, le trafic routier... Si l'on pense au nombre d'années qu'il nous a fallu pour pouvoir décrypter et prédire la météo, nous pouvons aisément imaginer à quel point il est difficile d'établir une mesure précise et *a fortiori* une prévision des niveaux de pollution.

Ces outils de *monitoring* sont désormais au service des villes grâce à des logiciels, c'est ce qu'a développé la *start-up* israélienne Breezometer, mais aussi des citoyens sous la forme d'applications pour *smartphones*. Les plus connues étant celle de Plume en France et celle de AirVisual dans le reste du monde.

Par extension, des stations météo connectées incluant à la mesure climatique la dimension qualité de l'air, mais plutôt intérieur, sont arrivées sur le marché. Les précurseurs de ces technologies étant NetAtmo ou Foobot.

En dernier recours, de nombreux moyens de protection individuels sont désormais à la portée des citoyens soucieux d'améliorer la qualité de l'air qu'ils respirent. Il existe des dizaines de purificateurs d'air. Ces systèmes étant relativement complexes, pour les mêmes raisons qu'évoquées plus haut, nous recommanderons donc de privilégier les appareils *premium* et d'en lire attentivement les niveaux d'efficacité, les normes atteintes et, surtout, de bien respecter leur entretien. Un purificateur non entretenu peut s'avérer contre-productif. On citera parmi les plus élaborés ceux de Teqoya qui ont également l'avantage d'être fabriqués en France !

En matière d'air extérieur, seuls les masques anti-pollution sont à la portée des citoyens. Largement décrié et rarement conseillé, un bon masque anti-pollution peut cependant réduire fortement l'exposition aux polluants et atténuer les symptômes liés, notamment les réactions





Photo © Wu Hao/FEATURECHINA-REA

Performance de l'artiste chinoise Kong Ning revêtue d'une robe de mariée confectionnée avec 999 masques anti-pollution, dans le cadre d'une action de sensibilisation à la lutte contre la pollution atmosphérique à Pékin, octobre 2014.

« En matière d'air extérieur, seuls les masques anti-pollution sont à la portée des citoyens. »

allergiques, les bronchites, les rhinites, etc. S'ils ont été remis en cause récemment par l'ANSES (rapport paru en mai 2018), c'est principalement par manque d'information et pour prévenir contre les mensonges *marketing* de certaines marques. Les masques anti-pollution sont pourtant des EPI (équipement de protection individuel) de catégorie 3, c'est-à-dire protégeant contre des risques mortels. Mais il existe une multitude de types de masques, des masques dits « de chirurgien » aux masques ARI (appareil respiratoire isolant) utilisés par les pompiers ou en cas de présence de gaz toxiques et qui fonctionnent grâce à une ventilation assistée en circuit fermé. Les EPI étaient jusqu'à présent réservés au monde professionnel. Ce n'est que depuis une dizaine d'années que des masques sont apparus à l'attention du grand public et pour protéger de la pollution atmosphérique. Les normes en vigueur ne sont donc pas adaptées à cet usage, il est facile de les contourner – le ministère du Travail, en charge des EPI, est débordé. Ce qu'il faut retenir, c'est que leur efficacité dépend de la qualité du filtre, mais aussi de son herméticité. D'ailleurs, l'étude de l'ANSES concluait ainsi : « De nombreux facteurs peuvent affecter l'étanchéité d'un masque : absence d'information ou de formation de l'utilisateur, mauvais ajustement du masque, morphologie du visage (présence de barbe, enfant, etc.), augmentation du débit respiratoire lié à une activité physique, absence d'entretien ou de renouvellement du masque, etc. » (extrait du rapport de l'ANSES, mai 2018). Répondant à ces

critiques, les masques WAIR ont été développés sur la base d'une structure brevetée, inspirée du médical, qui permet d'assurer une étanchéité quasi parfaite sur n'importe quel visage. Ils ont été testés selon les réglementations EPI EN1827 et EN1274-7, filtrent les particules, les odeurs, les pollens et les bactéries.

Mais plutôt que d'agir sur la pollution déjà émise, ne serait-il pas plus pertinent de s'attaquer aux causes de cette pollution ? Oui, mais comment ?... La pollution atmosphérique ayant de multiples causes (industrie, chauffage, trafic routier, agriculture, feux...), les domaines de recherche sont nombreux.

Dans l'agriculture et l'élevage, ce sont les émissions d'ammoniac et de méthane qui sont pointées du doigt. Mélangées à d'autres polluants primaires ou secondaires, ces molécules contribuent à la création d'ozone. Les principales innovations dans ce domaine pour réduire la pollution de l'air sont liées à l'agroécologie : usages d'engrais et de pesticides naturels plutôt que chimiques, méthanisation pour produire des biogaz et du compost, incorporation rapide d'effluents, diversification des cultures, gestion des temps agricoles en correspondance avec les saisons, plantation de légumineuses pour enrichir le sol en azote... Des capteurs et des drones sont également venus à la rescousse des agriculteurs pour déterminer plus précisément les besoins de l'exploitation en fonction des conditions météorologiques. Les pionniers Weenat et Airi-

nov ont été complétés par le drone Sequoia de Parrot Pro.

Dans le tertiaire, ce sont les travaux d'isolation des logements qui sont les plus utiles. Car en luttant contre la déperdition de chaleur, on chauffe moins et on pollue donc moins ! En revanche, les logements bien isolés peuvent dégrader l'air intérieur. Il faut donc les aérer davantage encore !

Dans le transport et l'énergie, suite au scandale Volkswagen, les systèmes de filtration des voitures se sont grandement améliorés et sont encore plus contrôlés. Reste à rappeler aux automobilistes la nécessité de les entretenir correctement. Les infrastructures routières influent également sur la pollution : un rond-point plutôt qu'un feu rouge contribue à fluidifier la circulation et donc à réduire la pollution émise. Là aussi, le numérique a apporté beaucoup d'innovations. Les capteurs Oocar et Drust proposent aux conducteurs de faire un meilleur usage de leur voiture pour, entre autres, moins consommer. Il existe des applications de location de voitures entre particuliers comme OuiCar.fr, de location de parking comme Park-Match, et également des outils pour trouver plus vite un stationnement public en ville comme OnePark et ZenPark (une grande partie de la pollution en ville serait due aux automobilistes cherchant une place).

Le domaine des énergies renouvelables s'est fortement développé. Des panneaux solaires dotés de capacités de production toujours plus importantes sortent régulièrement. Ces panneaux sont désormais à la portée des particuliers – c'est ce que propose Solorea –, et existent même en version souple (Lacoste a développé avec la société De Rigueur Lab un modèle de sac intégrant un panneau solaire). HeliLite cherche à améliorer le rendement et l'utilisation des panneaux grâce à des trackers. Echy utilise, quant à elle, des réseaux de fibre lumineuse pour éclairer l'intérieur des bâtiments sans aucune autre énergie que celle du soleil. Les *start-ups* rivalisent d'ingéniosité dans les énergies hydrauliques, éoliennes et même hydroliennes (une éolienne sous l'eau !). C'est le cas de NewWind qui a inventé un « arbre à vent », de FairWind qui veut rendre accessible l'éolien aux PME grâce à des structures compactes ou encore de feu la *start-up* Nénuphar qui avait créé des éoliennes flottantes, de Tidalys et de son hydrolienne géante ou encore d'Unéole une éolienne au *design* original. La géothermie qui utilise l'eau chaude provenant des nappes phréatiques est également une énergie de plus en plus utilisée.

Mais toutes ces nouvelles technologies sont de faux amis. On ne sait comment recycler les panneaux solaires et leur fabrication est très gourmande en énergies et en matériaux rares, tout comme les éoliennes. La multiplication des données issues des objets connectés pose le problème de leur stockage. Aujourd'hui, 247 milliards de courriels transitent chaque jour par la Toile. Propre en apparence, le monde virtuel est en réalité aussi polluant qu'énergivore. Si Internet était un pays, il serait le cinquième consommateur mondial d'électricité. Un peu partout sur la planète, mais loin de nos regards, fleurissent des *datacenters* gigantesques stockant ces milliards de données. Toutes les technologies de filtration posent à la fois le problème de leur fabrication et celui du non-recyclage des filtres. Aucune filière de recyclage n'existe à ce jour, alors que ce sont des millions de km<sup>2</sup> de filtres qui sont jetés chaque jour.

Alors la meilleure innovation pour polluer moins ne serait-ce pas, tout simplement, de consommer moins ? L'utilisation de modes de transport propres, doux ou partagés, la réduction des besoins de mobilité (télétravail...), le recyclage, la réparation, la consommation mesurée de toutes les denrées (eau, nourriture, vêtements), le local, le tri, etc., ce sont là autant de manières efficaces d'améliorer l'air de tous !

Il est également essentiel d'envisager la lutte contre la pollution à un niveau national, voir supranational. S'engager dans des actions de sensibilisation est donc un acte hautement impactant. Si nous parvenions à faire abaisser les valeurs limites d'émissions définies par la législation nationale et européenne et renforcer les contrôles de l'État en cas de dépassements, nous pourrions alors imposer une réduction progressive des émissions des industries.

Seules des mesures de grande ampleur, et donc politiques, auront la capacité de faire évoluer les taux de pollution dans le bon sens. Mais compte tenu de la gravité de la situation, il faudra attendre vingt à trente ans pour voir les effets de toute mesure prise. Les technologies sont donc nécessaires pour patienter en attendant la réduction des causes.

Les innovations peuvent donc nous aider sur le court terme, mais ce sont des changements de comportements et de politiques qui seuls permettront de résoudre le problème sur le long terme.

# La surveillance : son organisation, sa métrologie

Par Tatiana MACÉ

LNE

L'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant spécifie que le LCSQA doit « garantir l'exactitude et la qualité des données d'évaluation de la qualité de l'air ». Pour répondre à cette exigence, le LCSQA a mis en place un dispositif permettant d'assurer la fiabilité et la comparabilité spatio-temporelle des données de l'observatoire sur le territoire national et européen, ainsi que leur adéquation avec les exigences européennes et les besoins de surveillance.

Ce dispositif repose sur les actions suivantes :

- raccordement des mesures de la qualité de l'air aux étalons de référence nationaux ;
- participation du LCSQA et des AASQA à des comparaisons interlaboratoires ;
- réalisation d'audits techniques des AASQA par le LCSQA ;
- vérification de la conformité technique des appareils de mesure par rapport aux exigences stipulées dans les normes européennes.

## Description du dispositif de surveillance

Le Code de l'environnement (chapitre « Surveillance de la qualité de l'air et information du public » – Articles L. 221-1 à L. 221-6) prévoit une surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire français.

Pour répondre à cette exigence, le ministère chargé de l'Environnement a mis en place un dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, dont il assure l'animation dans le cadre défini par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE<sup>(1)</sup>). À ce titre, il assure, avec le concours des collectivités territoriales, la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et est en charge, en liaison avec le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), de la définition et de la mise en œuvre de la politique nationale de surveillance, de prévention et d'information sur l'air. Enfin, il contribue à l'élaboration, puis à l'application des politiques internationales dans le cadre des directives européennes.

Le nouvel arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de la surveillance de la qualité de l'air fixe les missions confiées par l'État aux différents acteurs de ce dispositif, à savoir le LCSQA et les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), ainsi que le consortium PREV'AIR.

(1) Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996, prise conformément à la directive européenne du 27 septembre 1996, abrogée par la directive n°2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

## Le LCSQA

Le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) est constitué de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) et de l'École nationale supérieure Mines-Télécom Lille Douai (IMT Lille Douai). Depuis 2005, le LCSQA a pris le statut de groupement d'intérêt scientifique (GIS).

Il est chargé de la coordination scientifique et technique de la surveillance de la qualité de l'air depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011 et est le laboratoire national de référence requis par les directives européennes.



Figure 1 : Les principales missions du LCSQA.



## Les AASQA

Dans chaque région, la surveillance est confiée à des organismes agréés par le ministère : les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) réunies au sein de la Fédération Atmo France. Les AASQA sont des associations « Loi 1901 ». Elles ont pour mission la mise en œuvre de la surveillance et de l'information sur la qualité de l'air, la diffusion des résultats et des prévisions, ainsi que la transmission immédiate aux préfets des informations relatives aux dépassements ou à la prévision des dépassements des seuils d'alerte, qu'elles peuvent accompagner de recommandations. Elles sont administrées collégalement par les acteurs locaux (représentants de l'État, des collectivités territoriales, des industriels, des associations de protection de l'environnement et de consommateurs, et de personnalités qualifiées). Du fait de la réforme territoriale de 2016 (régionalisation), un nouveau zonage administratif de la surveillance est intervenu à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2017, portant à 18 le nombre des AASQA.

## Le consortium PREV'AIR

Le consortium PREV'AIR, qui réunit Météo France, l'Ineris, le CNRS et le LCSQA, est chargé du développement, de la maintenance et de l'exploitation de la plateforme de prévision et de cartographie de la qualité de l'air à l'échelle nationale. Il élabore et met à disposition quotidiennement, librement et gratuitement, sur son site Web ([www.prevoir.org](http://www.prevoir.org)) des cartographies de prévisions de concentrations pour le jour même, le lendemain et le surlendemain en France métropolitaine, mais également des cartographies de modélisation des concentrations constatées la veille (cartes analysées), en intégrant les données d'observation des AASQA.

## Organisation : la notion de zonage

Afin de répondre aux exigences européennes, la France est découpée en zones administratives de surveillance (ZAS). Ce zonage est indispensable pour répondre aux besoins d'évaluation et de rapportage des données de mesure auprès de la Commission européenne pour les polluants réglementés.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017, un nouveau zonage a été mis en place. Les ZAS sont classées en trois catégories (voir l'arrêté du 26 décembre 2016 sur le découpage des régions) :

- « zones à risques – agglomération » (ZAG) : zone englobant une agglomération de plus de 250 000 habitants telle que définie par l'arrêté prévu à l'article L. 222-4 du Code de l'environnement, ou ayant une densité d'habitants au km<sup>2</sup> supérieure à un seuil établi par le ministère chargé de l'Environnement ;
- « zones à risques – hors agglomération » (ZAR) : zones qui ne répondent pas aux critères des ZAG et dans lesquelles les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article R. 221-1 du Code de l'environnement ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être ;
- « zone régionale » (ZR) : zone couvrant le reste du territoire de la région.

Tous les polluants réglementés – ozone (O<sub>3</sub>), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM<sub>10</sub>), particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>), monoxyde de carbone (CO), benzo[a]pyrène (B[a]P), benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), arsenic (As), plomb (Pb), cadmium (Cd) et nickel (Ni) sont ainsi surveillés sur chacune des ZAS tout au long de l'année.

En fonction des niveaux mesurés, différentes méthodes de surveillance sont mises en œuvre. Lorsque les niveaux mesurés sont proches des normes environnementales définies par l'Europe, les méthodes à mettre en œuvre sont nécessairement les plus justes et les plus fiables en termes de qualité (surveillance par des mesures réalisées à partir de stations fixes s'appuyant sur des méthodes de référence). *A contrario*, si les niveaux mesurés sont bien en dessous de ces normes, la présence de stations de mesure fixes n'étant pas justifiée, d'autres méthodes de surveillance peuvent être déployées, comme les campagnes de mesures ponctuelles, voire le recours à la modélisation.

De plus, le nombre de sites à instrumenter dans une ZAS est fonction de la densité de la population de la zone. Plus cette densité sera importante, et plus le nombre des sites de mesure le sera lui aussi.

## Les données nationales de qualité de l'air

### Les données de mesure

Le dispositif national de surveillance s'appuie sur des appareils de mesure conformes aux normes en vigueur, répartis sur près de 670 stations de mesure gérées par les 18 AASQA, ainsi que sur des outils de modélisation.

Ces données produites par les AASQA sont remontées dans la base nationale de données de qualité de l'air GEOD'AIR gérée par le LCSQA.

L'ensemble des données horaires mesurées pour une partie des polluants réglementés sont mises à la disposition du grand public en temps réel, *via* la plateforme [data.gouv.fr](http://data.gouv.fr).

Le LCSQA effectue le rapportage réglementaire des données de la qualité de l'air selon les termes des directives et décisions européennes pour le compte du ministère en charge de l'Environnement. Les données sont ainsi transmises à l'Agence européenne de l'environnement (AAE) dans le respect d'un formalisme défini et documenté dans des guides de référence.

### La modélisation et la prévision de la qualité de l'air

La modélisation permet d'étudier et de scénariser la répartition des polluants sur un territoire, d'acquies une meilleure compréhension des phénomènes locaux de pollution, d'anticiper les épisodes de pollution et de calculer la population exposée.

Elle est mise en œuvre par les AASQA aux niveaux régional et local et par le consortium PREV'AIR au niveau national.



Les données de mesure, voire celles issues de la modélisation, produites par chaque AASQA ainsi que par le consortium PREV'AIR font l'objet d'un bilan annuel de la qualité de l'air publié par le ministère en charge de l'Environnement.

## Procédures métrologiques mises en place pour garantir la qualité spatio-temporelle des données

Afin de permettre la comparabilité spatio-temporelle des données sur le territoire national et européen, le LCSQA a mis en place un dispositif permettant d'assurer la fiabilité des mesures de qualité de l'air réalisées par les AASQA en tout point du territoire national, tel que l'exigent les directives européennes, à savoir :

- garantir la qualité, l'exactitude et la traçabilité des mesures par la mise en place de procédures de raccordement des mesures aux étalons de référence nationaux ;
- contrôler le bon fonctionnement du dispositif grâce à la participation du LCSQA et des AASQA à des comparaisons interlaboratoires (CIL) et à la réalisation d'audits techniques annuels des AASQA par le LCSQA ;
- vérifier la conformité technique des appareils de mesure utilisés par les AASQA en s'assurant de la capacité des appareils à satisfaire aux exigences stipulées dans les normes européennes correspondantes.

Il est à noter que le retour d'expérience et les compétences acquises dans le domaine des mesures en air ambiant permettent une amélioration constante et une optimisation métrologique du dispositif au regard des exigences réglementaires en vigueur et à venir, ainsi que des besoins sociétaux (apparition de nouveaux polluants à l'état de traces, innovation métrologique, maîtrise des incertitudes en vue de leur réduction...).

### La chaîne de traçabilité métrologique des mesures de la qualité de l'air

Une chaîne de traçabilité métrologique a été mise en place afin de garantir la cohérence spatiale des mesures de la qualité de l'air sur le long terme pour les principaux polluants atmosphériques gazeux.

Cette chaîne de traçabilité métrologique comprend trois niveaux (LCSQA, laboratoires d'étalonnage inter-régionaux et stations de mesure) permettant d'assurer la traçabilité des mesures de la qualité de l'air réalisées par les AASQA en tout point du territoire national, grâce au raccordement de tous les appareils de mesure à un même étalon national de référence, lui-même raccordé au système de mesure international.

Des étalons de référence spécifiques ont été développés par le LCSQA-LNE pour les principaux polluants atmosphériques gazeux : oxyde d'azote (NO), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), monoxyde de carbone (CO), ozone (O<sub>3</sub>), benzène, toluène, éthylbenzène et xyliènes (BTEX).

Ainsi, depuis 1996, le LCSQA-LNE fabrique chaque année des étalons de référence nationaux et met à la disposition des AASQA des étalons de transfert qui servent à étalon-

ner leurs appareils de mesure automatiques garantissant ainsi la cohérence des mesures de la qualité de l'air sur le long terme.

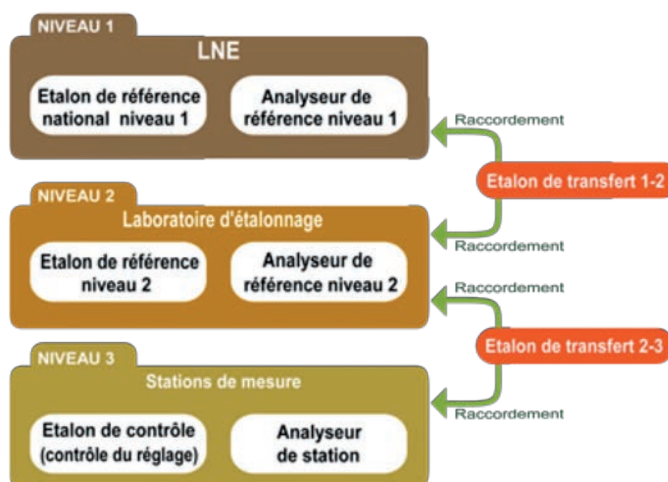


Figure 2 : Schéma général de la chaîne de traçabilité métrologique dans le domaine de la pollution atmosphérique.

Cette chaîne de traçabilité se décline en différentes actions décrites ci-après :

- Le niveau 1 – Le LCSQA-LNE  
Le LCSQA-LNE, sous accréditation COFRAC (NF EN ISO 17025), étalonne, à partir des étalons de référence nationaux, les étalons de transfert 1-2 circulant périodiquement entre les niveaux 1 et 2.
- Le niveau 2 – Les laboratoires (inter)régionaux  
Ces laboratoires (inter)régionaux, tous sous accréditation COFRAC (NF EN ISO 17025), raccordent les étalons de transfert 2-3 des niveaux 3 avec leurs propres étalons et analyseurs de référence, eux-mêmes raccordés au niveau 1 (LCSQA-LNE) par les étalons de transfert 1-2.
- Le niveau 3 – Les AASQA gestionnaires des stations de mesure  
Lesdites AASQA sont chargées de régler périodiquement les analyseurs de leurs stations avec les étalons de transfert 2-3 et de raccorder les étalons de contrôle de ces stations avec les étalons de transfert 2-3. Ces étalons de contrôle, dont la concentration doit être stable au cours du temps, sont utilisés à intervalles de temps réguliers pour s'assurer du bon fonctionnement des analyseurs des stations de mesure.

Suite à la régionalisation, les 18 AASQA de France métropolitaine et des DOM se sont organisées en 8 zones géographiques permettant le raccordement de l'ensemble des analyseurs des stations de mesure aux étalons de référence (voir la Figure 3 de la page suivante).

S'agissant des territoires d'outre-mer et de la zone « Caraïbes », le LCSQA/LNE raccorde au niveau 1 le niveau 2 implanté dans l'AASQA Madininaise à la Martinique, cette dernière procédant au raccordement de ses propres stations de mesure ainsi qu'à celui des étalons de Gwad'air (AASQA de la Guadeloupe) et d'ATMO Guyane.

Concernant l'île de la Réunion, l'AASQA ATMO Réunion est directement raccordée au LCSQA-LNE (niveau 1) ; elle

assure le raccordement de ses propres stations de mesure ainsi que celui des étalons d'Hawa Mayotte.



Figure 3 : Les huit zones géographiques mises en place pour couvrir l'ensemble du territoire français.

### L'organisation de comparaisons interlaboratoires (CIL)

Les comparaisons interlaboratoires (CIL) organisées périodiquement à tous les niveaux de la chaîne de traçabilité métrologique sont un moyen fiable et performant pour attester du bon fonctionnement du dispositif de surveillance de la qualité de l'air mis en place en France.

Les objectifs de ces comparaisons interlaboratoires sont les suivants :

- vérifier l'exactitude et la reproductibilité des résultats d'étalonnages et d'essais produits à chaque niveau de la chaîne de traçabilité métrologique, tant au niveau national qu'international, ce qui garantit la qualité des résultats de mesure ;
- déterminer les performances d'analyse de chaque intervenant (LCSQA, AASQA, laboratoires d'étalonnage ou d'analyse...) en le positionnant par rapport aux autres participants (par exemple, en identifiant des écarts significatifs pour lesquels des investigations devront être menées afin de proposer des actions correctives ; en suivant l'évolution de ces performances au cours du temps...);
- établir l'efficacité et la comparabilité de nouvelles méthodes d'essai ou de mesure et veiller à la bonne application des méthodes utilisées ;
- assurer la traçabilité des résultats de mesure lorsque le raccordement aux étalons nationaux ou internationaux des équipements d'analyse, d'essais ou d'étalonnage

est difficilement réalisable (par exemple, pour des raisons techniques dans le cas des mesures des concentrations massiques des particules) ;

- évaluer les incertitudes de mesure en tenant compte de la variation de différents facteurs (changement de lieu, de méthode, de conditions, d'instrument...) et les comparer avec celles obtenues lors de l'estimation des incertitudes basée sur les méthodes décrites dans le guide NF ISO/CEI GUIDE 98-3:1994, « Incertitude de mesure » – Partie 3 : « Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure » (GUM, 1995).

Les différents types de comparaisons interlaboratoires menées en France pour l'air ambiant sont récapitulés dans la Figure 4 de la page suivante.

En parallèle des mesures automatiques, la surveillance de certains composés présents dans l'air ambiant, tels que les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les pesticides et les métaux (arsenic, cadmium, plomb et nickel), peut être effectuée par les AASQA par des prélèvements passifs ou actifs (par exemple, pour les gaz, sur des tubes contenant un adsorbant, ou pour les particules, par des filtres). Cette méthode se décompose en deux temps :

- le prélèvement d'air sur des échantillonneurs par les AASQA ;
- l'analyse de ces prélèvements par des laboratoires d'analyse prestataires des AASQA (voire par les AASQA elles-mêmes).

Des comparaisons interlaboratoires sont organisées régulièrement par le LCSQA avec ces laboratoires pour tester leurs compétences analytiques.

Des essais de comparaison sont également proposés par le LCSQA pour les modélisations.

### La réalisation d'audits techniques des AASQA par le LCSQA

Pour respecter les dispositions de l'arrêté du 19 avril 2017 (art. 23), le LCSQA élabore et met à jour le référentiel technique national. Ce référentiel est un recueil documentaire composé de normes techniques, de guides méthodologiques et de résolutions techniques précisant les prescriptions encadrant le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

Ce référentiel sert de base pour les audits techniques des AASQA.

Ces audits techniques, réalisés par le LCSQA au titre de l'article 23 de l'arrêté du 19 avril 2017, concernent les missions réglementaires confiées par l'État aux AASQA, notamment la mise en œuvre du référentiel technique national et des démarches d'assurance de la qualité.

Lors de ces audits techniques, le LCSQA évalue la mise en application par les AASQA des dispositions réglementaires (arrêté du 19 avril 2017) ainsi que des exigences du référentiel technique national (dernière version applicable disponible sur : [www.lcsqa.org](http://www.lcsqa.org)) pour la réalisation de leurs missions définies dans l'article 3 de cet arrêté.

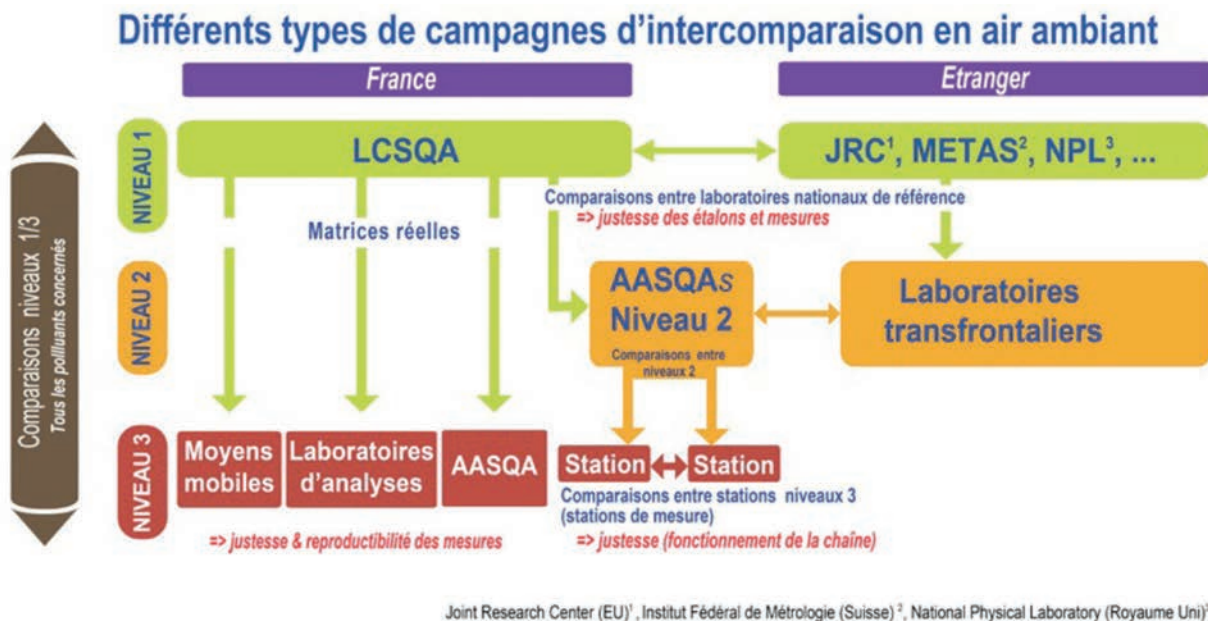


Figure 4 : Différents types de comparaisons interlaboratoires menées en air ambiant.

Ces audits techniques permettent également d'identifier les éventuelles difficultés et les points sensibles de la mise en application de ces exigences ainsi que les voies d'amélioration.

### La vérification de la conformité technique des appareils de mesure

La conformité technique des appareils de mesure des polluants atmosphériques réglementés utilisés sur le territoire national par les AASQA doit être assurée, conformément aux exigences des directives européennes.

Depuis 2015, le LCSQA assure le suivi du processus de vérification de la conformité technique de ces instruments, c'est-à-dire l'aptitude de l'appareil (dans une configuration technique spécifique, y compris le logiciel) à remplir les exigences stipulées dans les normes européennes correspondantes (suite à des essais menés en laboratoire et sur le terrain).

Ces normes sont désignées comme « méthode de référence » dans la réglementation européenne. Le processus actuel prévoit également une prise en compte renforcée du retour d'expérience des utilisateurs sur le terrain (AASQA) concernant le fonctionnement des appareils.

La liste des appareils considérés comme étant conformes pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air est disponible sur le site Web du LCSQA, elle est régulièrement mise à jour (*a minima* deux fois par an).

Par conséquent, lorsqu'un État membre souhaite mettre en œuvre une méthode de mesure « autre » que la méthode de référence, l'équivalence de cette méthode à la méthode de référence doit être prouvée *via* une démonstration d'équivalence (sur la base du guide européen idoine de la Commission européenne), puis par le suivi continu de celle-ci dans le temps.

En France, les particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$  sont mesurées en recourant à des méthodes dites « équivalentes », et le LCSQA, en collaboration avec les AASQA, est en charge du suivi en continu de leur équivalence. Ce suivi se traduit par la réalisation périodique de comparaisons interlaboratoires (trois à quatre exercices annuels) basées sur la mise en œuvre de la méthode de référence sur un nombre de sites devant être représentatifs de l'ensemble des conditions rencontrées sur le territoire national.

# Mesure des polluants depuis l'espace

Par Carole DENIEL  
CNES  
et Camille VIATTE  
LATMOS/CNRS

Les techniques instrumentales dédiées à la mesure depuis l'espace des gaz atmosphériques n'ont cessé de se perfectionner et permettent aujourd'hui de sonder les plus basses couches de la troposphère et de contribuer au suivi de la qualité de l'air. Pour la détermination de la composition atmosphérique, les outils spatiaux se présentent essentiellement sous la forme de spectromètres à haute résolution spectrale dans le domaine allant de l'infrarouge thermique jusque dans l'ultraviolet. Combinés aux mesures obtenues depuis le sol et à des modèles atmosphériques, les observations spatiales sont désormais incontournables : elles sont utilisées dans la plupart des études scientifiques et dans de nombreuses applications atmosphériques pour améliorer nos connaissances des processus physico-chimiques de l'échelle globale à l'échelle locale. L'exemple de la cartographie mondiale des concentrations d'ammoniac obtenue pour la première fois depuis l'espace par l'instrument IASI montre la sous-estimation majeure des cadastres des émissions. Avec le programme européen Copernicus, nous pourrions compter sur de nouveaux services pour assurer la gestion des crises environnementales.

## Introduction

L'atmosphère terrestre est un système à la fois complexe, qui est défini, en particulier, par sa composition chimique qui n'a cessé d'évoluer depuis 4,6 milliards d'années, et fragile, car il résulte d'un équilibre altérable de ses sous-systèmes en interaction à différentes échelles de temps et d'espace. Depuis l'ère industrielle, et l'accroissement concomitant de la population mondiale, les émissions anthropiques de gaz traces se sont accrues et ont accentué les changements physico-chimiques de notre atmosphère de façon non naturelle.

Dans ce contexte, les observations de la composition atmosphérique sont actuellement indispensables, non seulement pour la quantification des concentrations des constituants, mais également par leur utilisation dans des modèles atmosphériques afin de comprendre les mécanismes impliqués dans ces phénomènes et prédire leurs évolutions spatio-temporelles. Pourtant, c'est seulement depuis les années 1990 que les programmes d'observation par satellite fournissent une vision globale des basses couches de l'atmosphère, en permettant de suivre l'évolution spatiale et temporelle des gaz et des particules qui sont impliqués dans le phénomène de pollution.

## L'apport de l'observation satellitaire pour l'étude de la pollution atmosphérique

Les mesures de la composition atmosphérique par satellite n'ont cessé de s'améliorer : d'abord globales et qualitatives, elles permettaient de cartographier le transport de quelques polluants sur de longues distances. Dès 1978, des instruments spatiaux, tels que les TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), permettent de bien caractériser la formation du trou dans la couche d'ozone, ce qui a conforté la mise en place de protocoles internationaux d'interdiction des chlorofluorocarbones en cause. Avec l'amélioration des techniques de mesure et des algorithmes de restitution des concentrations, il est possible à l'heure actuelle de fournir des informations quantitatives sur les concentrations d'une multitude d'espèces à des échelles régionales, voire locales, et avec une résolution verticale de plus en plus fine (allant de la colonne totale au profil de concentrations).

La complémentarité des mesures multiplateformes, à bord de satellites ou *in situ* à partir du sol, permet une meilleure observation de la composition chimique de l'atmosphère. Les mesures *in situ* présentent l'avantage de fournir des données plus précises de la composition atmosphérique de manière très localisée, tandis que les mesures satellite apportent une meilleure couverture spatiale, fournissant



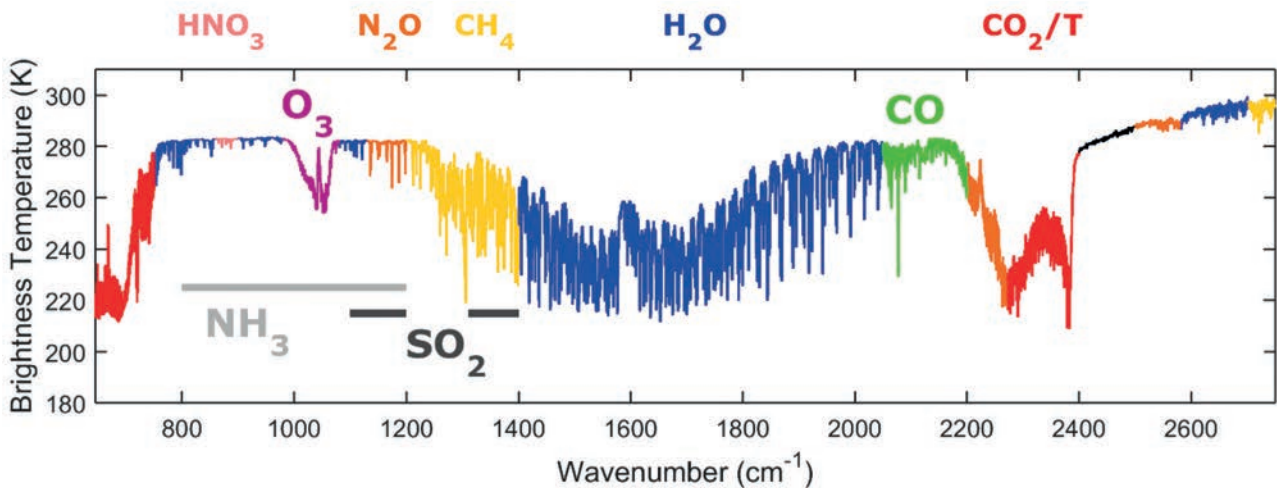


Figure 1 : Exemple de spectre IASI contenant les signatures de différents gaz impliqués dans les phénomènes de pollution atmosphérique.

des informations sur le transport des panaches de pollution. De plus, les observations satellitaires renseignent sur la composition atmosphérique dans des régions isolées et très peu couvertes par des réseaux de mesure au sol. Ces observations satellitaires sont donc importantes et servent notamment à contraindre les inventaires d'émissions, valider nos connaissances sur les processus physico-chimiques de l'atmosphère en les comparant aux simulations des modèles, et à améliorer la prévision et le suivi des pics de pollution par une assimilation dans les modèles dédiés.

Pour observer les constituants atmosphériques, les instruments spatiaux passifs mesurent les spectres atmosphériques résultant de l'interaction entre le rayonnement (solaire ou émis par la Terre ou l'atmosphère) et les molécules. L'exploitation de ces signaux contenant les signatures des différentes molécules permet de restituer les concentrations de gaz en colonne totale ou en profil. En effet, l'ensemble des raies d'absorption moléculaires qui constituent un spectre sont autant d'empreintes digitales caractéristiques de chaque molécule : la position indique l'identité de la molécule, et la longueur renseigne sur la concentration de ce gaz dans l'atmosphère. Pour cela, il est nécessaire de disposer des caractéristiques de l'instrument (détecteur, optique, etc.), de données spectroscopiques faites en laboratoires, de données auxiliaires issues de modèles et de modélisation du transfert radiatif de l'atmosphère.

### L'instrument TROPOMI

En octobre 2017, l'ESA (Agence spatiale européenne) a mis en orbite basse (824 km d'altitude) l'instrument TROPOMI (ou Sentinelle5 précurseur), qui dispose de bandes spectrales ultraviolettes et visibles (UV-Vis – 270-500 nm), proches infrarouges (675-775 nm) et infrarouges (2 305-2 385 nm). Cela permet d'acquérir un large éventail de polluants troposphériques, tels que le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ), le formaldéhyde (HCHO), le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le méthane et le monoxyde de carbone, avec une précision et une résolution spatiale ( $3,5 \times 7 \text{ km}^2$ )

jamais égalées depuis l'espace (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>). Ce spectromètre imageur multi-spectral a été développé conjointement par l'ESA et le Bureau spatial néerlandais dans le cadre du programme opérationnel de surveillance de l'environnement européen Copernicus. Il devrait être suivi à partir de 2021 d'instruments similaires placés en orbite basse (Sentinelle5) ou en géostationnaire (Sentinelle4).

### Les instruments IASI

Sur l'autre partie du spectre, le domaine de l'infrarouge thermique (TIR), l'instrument IASI (interféromètre atmosphérique de sondage dans l'infrarouge) permet de compléter le paysage avec des mesures complémentaires de polluants (en gaz, échantillonnage temporel ou vertical, etc.) (voir : <https://iasi.cnes.fr/fr/iasi/en-resume/accueil>). Ce spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), développé conjointement par le CNES (Centre national d'études spatiales) et EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites), est conçu pour délivrer des données météorologiques (profils de température et de pression) pour l'amélioration des prévisions du temps. Les grandes performances de cet instrument sur plus de huit mille canaux (voir la Figure 1 ci-dessus) lui ont très vite permis de s'imposer également dans le domaine de la recherche sur les processus de pollution dans la troposphère et la basse stratosphère, avec plus de vingt-cinq molécules détectées dans ses spectres.

Trois instruments IASI identiques ont été construits et lancés successivement : MetOp-A, le 19 octobre 2006 ; MetOp-B, le 17 septembre 2012 ; et MetOp-C, le 7 novembre 2018. Chaque instrument acquiert plus de 1,2 million de spectres, soit 15 GB de données par jour et par satellite. Toutes ces mesures sont analysées et distribuées en quasi-temps réel, ce qui permet d'accéder aux concentrations de gaz partout dans le monde dès le lendemain de la mesure.

IASI est la première mission spatiale qui constitue depuis plus de douze ans un système pérenne d'observation de la composition atmosphérique. Grâce au lancement prévu

de son successeur IASI-NG (IASI-Nouvelle génération) qui présente des caractéristiques instrumentales différentes (une résolution spectrale améliorée d'un facteur 2 et un meilleur rapport signal/bruit), la mission satellitaire IASI sera la première et la seule à fournir sur plus de quarante ans des données homogènes pour une série de gaz clés impliqués dans les phénomènes de pollution.

## Études de la pollution grâce aux mesures spatiales

Grâce à la complémentarité des observations faites dans l'infrarouge et dans l'ultra-violet, la communauté des utilisateurs dispose d'informations précieuses pour mener à bien ses recherches sur les processus de pollution, et ce de façon cohérente sur l'ensemble du globe.

Ainsi, les analyses comparatives des données d'O<sub>3</sub> (obtenues avec IASI dans le TIR) et de NO<sub>2</sub> (issues de spectromètres GOME 2 dans l'UV-Vis) ont permis de mieux comprendre la part des intrusions stratosphériques et des émissions anthropiques dans les épisodes de pollution dans plus de neuf villes de l'hémisphère Nord. Ces données ont également permis d'étudier l'impact de la mousson dans les villes d'Asie (Safieddine *et al.*, JGR 2013). Ces mesures satellitaires ont pu également détecter la réduction des émissions de polluants dans la région de Beijing lors des Jeux olympiques de 2008 par rapport à la même période estivale des trois années suivantes.

De plus, une étude récente (Cuesta *et al.*, 2018) a montré que les observations spatiales ont permis à elles seules de mettre en évidence la production photochimique d'ozone en Asie en dessous de 3 km d'altitude et l'impact du transport transfrontalier (voir la Figure 2 ci-après).

En 2018, les mesures de IASI ont permis une découverte assez inattendue en pointant un désaccord sur le nombre et l'intensité des sources ponctuelles d'émissions d'ammoniac répertoriées par les inventaires.

## Observations d'ammoniac et lien avec les pics de particules – Étude de cas en Île-de-France

L'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est un polluant considéré comme étant la principale source d'azote réactif dans l'atmosphère, dont les émissions sont au moins quatre fois plus élevées que lors de la période préindustrielle (Fowler *et al.*, 2013), ce qui crée une multitude de dommages environnementaux (Röckstrom *et al.*, 2009). Il est également un précurseur de nitrate et de sulfate d'ammonium qui composent la partie volatile des particules en suspension, connues pour leurs effets nocifs sur la santé humaine (Pope III *et al.*, 2009) et le climat (Myhre *et al.*, 2013). Par rapport aux polluants primaires, comme le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ou les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), la plupart des pays du monde n'ont mis en place aucune mesure de réduction des émissions de NH<sub>3</sub>, et ce malgré l'importance de ce gaz dans la formation des particules secondaires, la dégradation de la visibilité et/ou les phénomènes d'acidification et d'eutrophisation.

Nos connaissances concernant 1) les sources et la distribution spatio-temporelle de NH<sub>3</sub> à l'échelle régionale et 2) l'implication de ce gaz dans la formation de PM<sub>2,5</sub> sont ainsi très limitées, notamment parce qu'il y a très peu de mesures systématiques et les cadastres des émissions sont peu précis.

Les mesures de la concentration ambiante de NH<sub>3</sub> dans l'air sont éparpillées et difficiles à réaliser étant donné la nature collante, volatile et réactive de cette molécule, conduisant à des artefacts dans les mesures *in situ* (von Bobruzki *et al.*, 2010). Très récemment, les mesures satellitaires de IASI ont permis de cartographier pour la première fois la répartition des concentrations de NH<sub>3</sub> au kilomètre près (Van Damme, 2018). Plus de deux cents sources locales de NH<sub>3</sub> ont été identifiées à travers le monde et l'étude a montré que les émissions provenant de sources connues sont très largement sous-estimées par les inventaires des émissions.

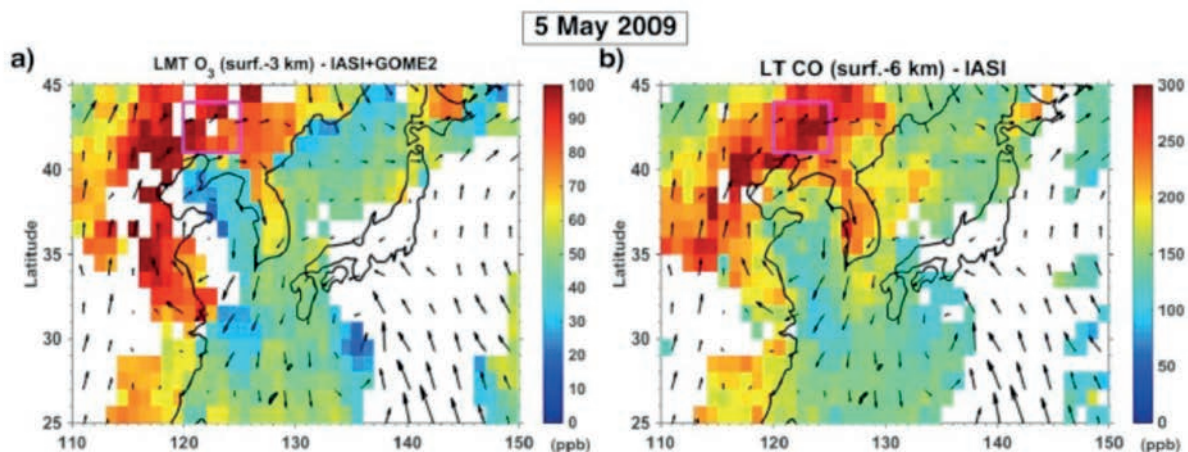


Figure 2 : Répartition en Asie a) de la colonne partielle (0-3 km) d'ozone et b) de la colonne partielle (0-6 km) de CO, avec superposition des vecteurs de vents moyens correspondants (Cuesta *et al.*, 2018).



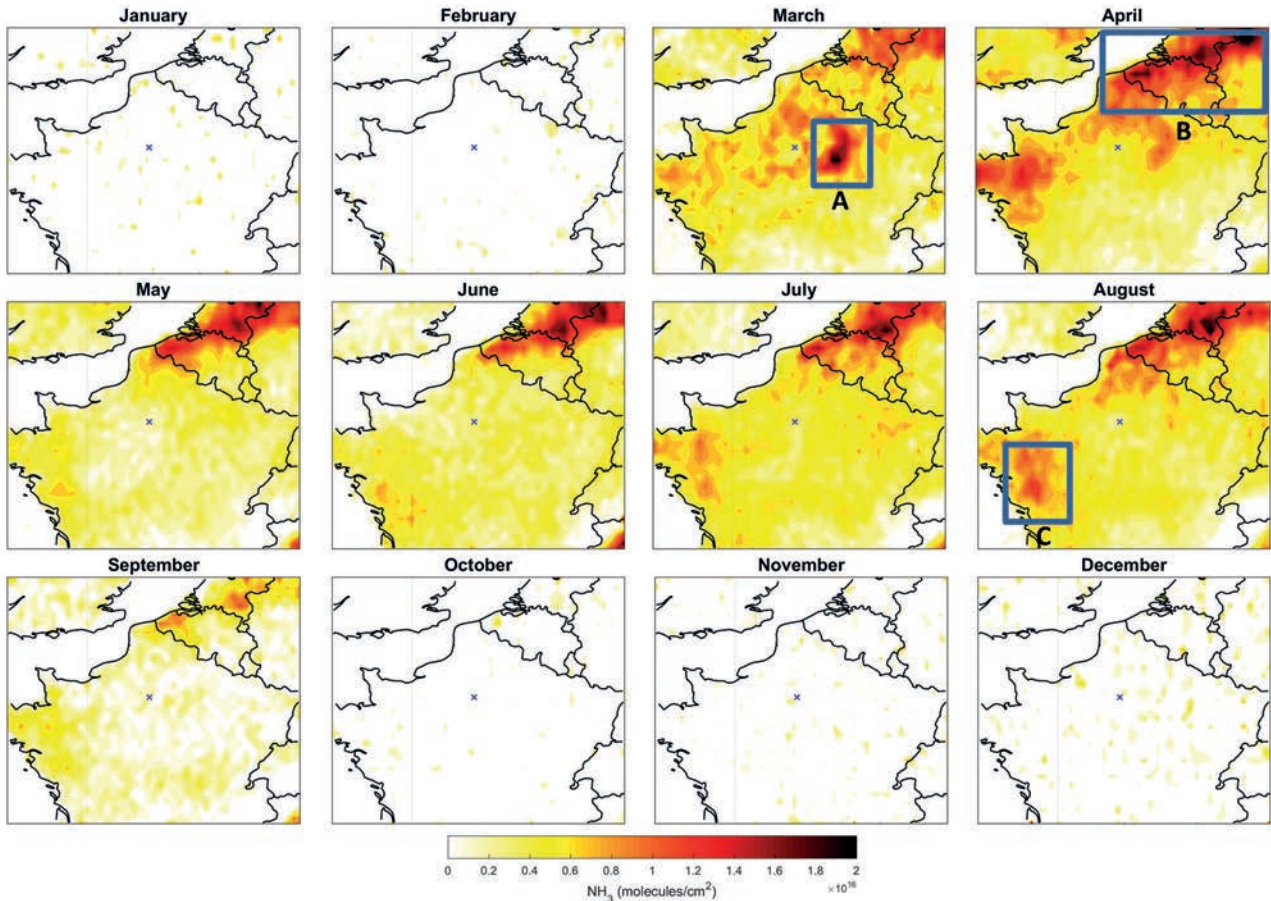


Figure 3 : Variabilité saisonnière de  $\text{NH}_3$  établie à partir de dix années de mesures IASI. La croix représente Paris (Viatte *et al.*, 2019).

En France, le  $\text{NH}_3$  est majoritairement émis par l'agriculture (98 %, dont 64 % provient de la déjection animale et 34 % de l'épandage d'engrais azoté sur les cultures (CITEPA, 2018)). Au printemps, lors de l'épandage d'engrais sur les cultures avoisinantes, Paris (qui est la ville la plus peuplée de l'Union européenne avec 10,5 millions d'habitants) connaît de nombreux épisodes de pollution aux particules causant près de 2 000 morts par an (Corso *et al.*, 2016). Étant donné le rôle important que joue le  $\text{NH}_3$  dans les problèmes environnementaux et de santé publique, ses émissions sont réglementées en France et doivent être réduites en 2030 de 13 % par rapport à 2005 (CEIP, 2016). Cependant, les émissions de  $\text{NH}_3$  vont croître dans le futur sous l'effet de l'augmentation de la demande alimentaire (Van Vuuren *et al.*, 2011) et le changement climatique (Sutton *et al.*, 2013).

Il n'existe à l'heure actuelle aucune mesure continue et à haute résolution du  $\text{NH}_3$ , même si des développements sur les réseaux de surveillance sont en cours. À Paris, les observations des émissions de  $\text{NH}_3$  à haute résolution temporelle n'existent que sur des campagnes de mesures ponctuelles. Grâce à sa couverture globale, IASI fournit des informations très pertinentes concernant les sources des émissions et le transport de panaches d'ammoniac dans l'atmosphère avec une résolution spatiale allant de 12 à 40 km (en fonction de la taille du pixel au sol) et une résolution temporelle limitée (deux mesures par jour, au

mieux). La Figure 3 ci-dessus montre la très grande variabilité saisonnière des trois principales sources de  $\text{NH}_3$  pouvant être transporté jusqu'à l'agglomération parisienne et affecter localement la qualité de l'air (Viatte *et al.*, 2019).

Pour compléter ces observations satellitaires, qui nous renseignent sur les conditions atmosphériques à l'échelle régionale, le LATMOS est en charge d'installer en 2019 un dispositif instrumental fiable (c'est-à-dire un mini-DOAS : mini Differential Optical Absorption Spectroscopy) au centre de Paris, devant permettre la détection en continu, précise et à haute résolution temporelle de l'ammoniac. L'instrument mini-DOAS basé sur la technique de spectroscopie d'absorption dans le domaine de l'ultraviolet fournit des données précises et stables en gardant un temps d'analyse très faible (<1 minute) (Volten *et al.*, 2012). Cette technique de mesure à trajet ouvert délivre les résultats les plus satisfaisants pour déterminer les concentrations de  $\text{NH}_3$  dans l'air ambiant (Dammers *et al.*, 2017). Ces mesures de surface par mini-DOAS seront couplées aux observations satellitaires IASI et aux données de la plateforme QUALAIR (hauteur de la couche limite par mesures LIDAR et paramètres météorologiques avec les mesures de la station météorologique, voir la Figure 4 de la page suivante) pour en déduire les sources d'émissions et comprendre leurs liens avec les épisodes de pollution particulière en Île-de-France. Les résultats attendus permettront de repousser les limites actuelles de détection

de cette molécule et, grâce au couplage avec les observations multimodales, d'améliorer nos connaissances sur l'évolution spatio-temporelle de l'ammoniac, ainsi que son rôle dans la formation de particules dangereuses pour la santé humaine.



D.R.

Figure 4 : Emplacement du mini-DAOS au sein de la plateforme QUALAIR.

## Conclusion

Avec l'avancée des technologies spatiales et du numérique, il est désormais possible de se doter de systèmes précis de surveillance globale de l'atmosphère pour ainsi mieux comprendre et prévoir les phénomènes de pollution. Avec l'arrivée des services Copernicus en Europe, l'utilisation des données spatiales en synergie avec des données sol et des modèles ne sera plus limitée à la recherche scientifique. En effet, elle va permettre des applications opérationnelles dédiées au suivi de la composition atmosphérique sur l'ensemble du globe. C'est l'objectif du service CAMS (Copernicus Atmospheric Monitoring Service) piloté par le Centre européen de prévision du temps (ECMWF) (voir : <https://atmosphere.copernicus.eu/>).

Pour cela, les données spatiales devront (si possible) répondre aux exigences opérationnelles requises par le système d'analyse et de prévision météorologiques (stabilité dans le temps, redondance, données disponibles en quasi-temps réel...). Les deux prochaines familles de sentinelles « atmosphère » de Copernicus répondront à ces exigences. Les Sentinelles 4 et 5 (héritage instrumental de TROPOMI) et la nouvelle génération des instruments IASI (IASI-NG), qui seront mis en orbite à partir de 2021 et 2022, installés sur les satellites d'Eutmesat placés en orbite géostationnaire (MTG) et basse (METOP), permettront de faire de nouvelles découvertes sur notre fragile atmosphère en poursuivant ainsi la synergie entre les mesures infrarouge et les mesures ultraviolet pour les vingt prochaines années.

## Références bibliographiques

CEIP – Centre on Emission Inventories and Projections (2016), "EMEP officially reported emission data", <http://www.ceip.at/>

[ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/reported\\_emissiondata](https://www.ceip.at/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/reported_emissiondata)

CITEPA – Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (2018), « Format SECTEN », <https://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/aep-item/ammoniac>

CORSO M. *et al.* (2016), *Quelle est la part des pics de pollution dans les effets à court terme de la pollution de l'air sur la santé, dans les villes de France ?*, Saint-Maurice, Santé publique France, ISBN : 979-10-289-0259-9.

CUESTA J., KANAYA Y., TAKIGAWA M., DUFOR G., EREMENKO M., FORET G., MIYAZAKI K. & BEEKMANN M. (2018), "Transboundary ozone pollution across East Asia: daily evolution and photochemical production analysed by IASI+GOME2 multispectral satellite observations and models", *Atmos. Chem. Phys.* 18, pp. 9499-9525, <https://doi.org/10.5194/acp-18-9499-2018>

DAMMERS E. *et al.* (2017), "Measuring atmospheric ammonia with remote sensing campaign: Part 1 – Characterisation of vertical ammonia concentration profile in the centre of The Netherlands", 169, pp. 97-112, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.067>

FOWLER D. *et al.* (2013), "The global nitrogen cycle in the twenty-first century", *Philos. Trans. R. Soc. B.* 368(1621), pp.16-13, doi:10.1098/rstb.2013.0164

MYHRE G. *et al.* (2013), "Radiative forcing of the direct aerosol effect from AeroCom Phase II simulations", *Atmos. Chem. Phys.* 13, pp. 1853-1877, <https://doi.org/10.5194/acp-13-1853-2013>

PETETIN H. *et al.* (2016), "Assessing the ammonium nitrate formation regime in the Paris megacity and its representation in the CHIMERE model", *Atmos. Chem. Phys.* 16, pp. 10419-10440.

POPE III C. A. *et al.* (2009), "Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States", *N. Engl. J. Med.* 360(4), pp. 376-386, doi:10.1056/NEJMsa0805646

ROCKSTRÖM J. *et al.* (2009), "Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity", *Ecology and Society* 14(2): 32.

SAFIEDDINE S. *et al.* (2013), "Tropospheric ozone and nitrogen dioxide measurements in urban and rural regions as seen by IASI and GOME-2", *Journal Of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, pp. 1-12, doi:10.1002/jgrd.50669

SUTTON M. A. *et al.* (2013), "Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution. Global Overview of Nutrient Management", Centre for Ecology & Hydrology on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative, 114 p.

VAN DAMME M. *et al.* (2018), "Industrial and agricultural ammonia point sources exposed", *Nature* 564 (7734): 99, doi:10.1038/s41586-018-0747-1

VAN VUUREN D. P. *et al.* (2011), "The Representative Concentration Pathways: An overview", *Clim. Change* 109 (1-2), pp. 5-31, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

VOLTEN H. *et al.* (2012), "Two instruments based on differential optical absorption spectroscopy (DOAS) to measure accurate ammonia concentrations in the atmosphere", *Atmos. Meas. Tech.* 5, pp. 413-427.

VON BOBRUTZKI K. *et al.* (2010), "Field inter-comparison of eleven atmospheric ammonia measurement techniques", *Atmos. Meas. Tech.* 3, pp. 91-112, 10.5194/amt-3-91-2010.

VIATTE C. *et al.* (2019), "Atmospheric ammonia variability and link with PM formation: a case study over the Paris area", *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-138>



# État et perspectives de la recherche dans le domaine de la qualité de l'air

Par Gilles FORET,  
Isabelle COLL  
et Patrice COLL

Laboratoire Interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA), UMR CNRS 7583,  
Université Paris-Est-Créteil, Université de Paris, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

La pollution de l'air reste un problème environnemental majeur. Malgré les efforts importants réalisés pour limiter cette pollution, les niveaux de polluants présents dans l'atmosphère restent encore problématiques pour la santé, notamment en Asie et en Afrique.

Si l'état des connaissances a considérablement progressé au cours des dernières décennies dans les domaines de la physico-chimie de l'atmosphère, de la toxicologie et de l'épidémiologie, d'importants verrous scientifiques subsistent. Notre capacité à relier sources de pollution et leurs impacts doit être améliorée pour mettre en œuvre des solutions plus efficaces. Cela passe par une meilleure estimation de l'exposition individuelle, mais aussi par une meilleure connaissance des pathologies et des mécanismes associés.

Cette problématique nécessite non seulement de mettre en œuvre des approches transdisciplinaires entre acteurs académiques, mais aussi de développer des approches intégrant les institutionnels, les partenaires socio-économiques, les collectivités et, plus directement, les citoyens.

Les polluants atmosphériques sont des espèces rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines, ou issues de la transformation des espèces émises par ces activités. Si ces polluants sont susceptibles d'avoir des effets néfastes sur l'environnement, ils peuvent également s'avérer dangereux pour notre santé. La notion de qualité de l'air recouvre le bilan des polluants présents dans l'air extérieur, mais elle inclut également l'atmosphère des environnements confinés (lieux d'habitation, de travail, de loisirs...). Aujourd'hui, la dégradation de la qualité de l'air dans les espaces urbanisés est devenue une problématique majeure de santé publique : l'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime ainsi que 7 millions de décès prématurés par an seraient attribuables à la pollution atmosphérique (OMS, 2018).

Le besoin de maîtriser la qualité de l'air s'est imposé suite aux dramatiques épisodes de pollution qui ont affecté la vallée de la Meuse, la Pennsylvanie, ou encore les villes de Londres et de Los Angeles entre les années 1930 et 1950. L'avancée des connaissances scientifiques et le développement de techniques de mesure précises et spécifiques ont permis d'établir les liens de causalité entre la pollution et ses impacts, mais également de créer les conditions d'une bonne acceptabilité publique des réglementations en faveur d'une meilleure qualité de l'air. Les autorités, d'abord locales, se sont attachées à trouver des solutions opérationnelles pour prévenir ces phénomènes de pollu-

tion aiguë. Puis, dans les années 1960 en Amérique du Nord et 1970 en Europe, ces efforts se sont concrétisés par la mise en place de réglementations harmonisées à l'échelle continentale, prescrivant des valeurs limites pour les polluants majeurs et s'appuyant sur une maîtrise technologique accrue des processus émetteurs de polluants (industrie et combustion automobile, notamment). Les efforts se sont aussi portés sur la création de structures nationales et régionales, en charge de la surveillance et de la gestion opérationnelles des niveaux de polluants dans l'atmosphère. Les actions conduites pour respecter les seuils réglementaires de pollution ont entraîné des baisses significatives des concentrations des polluants primaires concernés. Ainsi, les niveaux de concentration atmosphérique du dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) – un polluant emblématique du *smog* de Londres, également associé aux pluies acides des années 1970 et très majoritairement issu de la combustion du charbon – ne sont aujourd'hui plus une menace en Europe. Toutefois, les niveaux observés dans les environnements urbains pour la plupart des autres polluants primaires ( $\text{NO}_2$  et particules primaires, notamment) et en périphérie des villes pour les polluants secondaires (ozone et particules organiques secondaires) sont suffisamment élevés pour constituer un danger pour la santé humaine à court, moyen et long termes. Ce sont aujourd'hui les manifestations les plus ostensibles de la pollution atmosphérique – notamment la réduction de la visibilité –, ainsi que la perception d'effets sanitaires in-

désirables durant les épisodes (irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures, gêne respiratoire...) – qui contribuent à maintenir une forte pression sociale sur l'action publique. En parallèle, la situation dans le reste du monde, notamment en Asie, a considérablement changé depuis trois décennies : la révolution industrielle chinoise des années 1980 et le déplacement de la production industrielle vers l'Asie, associés à la croissance de la population, ont eu comme conséquence une dégradation spectaculaire de la qualité de l'air dans cette région du globe. Les dernières années ont cependant vu s'amorcer un virage, et les tendances récentes, en tout cas pour les émissions chinoises, semblent encourageantes. En revanche, les situations de l'Inde, de certaines zones du Moyen-Orient et de l'Afrique demeurent très préoccupantes.

Du point de vue de la connaissance, d'importants progrès ont été réalisés depuis les années 2000 afin de mieux identifier et quantifier les sources, et de contraindre les bilans réactionnels de la pollution atmosphérique. Les techniques d'analyse « modernes » permettent la caractérisation des polluants atmosphériques à l'échelle moléculaire, ce qui a permis d'importantes avancées pour comprendre les mécanismes chimiques mis en jeu dans l'atmosphère et identifier les sources responsables de cette pollution. Notre capacité à aborder ces questions à toutes les échelles (depuis l'échelle moléculaire jusqu'à l'échelle globale) s'est aussi largement améliorée avec l'émergence d'observations satellitaires mieux adaptées à l'observation de la partie basse de l'atmosphère. Cette capacité d'observation multi-échelle a été accompagnée par le développement des modèles numériques (intégrateurs des nouvelles connaissances), lui-même soutenu par des capacités de calcul en croissance constante. Ces évolutions technologiques et numériques ont notamment permis l'émergence de systèmes de surveillance et de prévision bien plus fiables et efficaces. En parallèle, grâce à la mise en œuvre de nombreuses études épidémiologiques et toxicologiques, les scientifiques ont pu rassembler des éléments factuels convergents sur la nocivité de la pollution atmosphérique pour la santé et faire avancer notre connaissance des mécanismes biologiques possiblement impliqués (REVIHAAP, 2013 ; Newby *et al.*, 2015). Ces travaux ont en particulier permis de renforcer l'association entre l'exposition à court et long termes aux particules fines et les maladies respiratoires de l'enfant, et, plus généralement, la morbidité et la mortalité cardiovasculaires qui se situent à des niveaux bien inférieurs aux niveaux actuels utilisés pour surveiller la qualité de l'air. Ces travaux ont à leur tour permis l'établissement de relations dose-réponse (Cohen *et al.*, 2016) permettant d'estimer le coût sanitaire de la pollution et les gains potentiels d'un contrôle renforcé de la qualité de l'air.

Malgré cela, d'importants verrous scientifiques subsistent encore dans notre capacité à relier quantitativement les sources de pollution et leurs impacts sanitaires, une étape pourtant essentielle dans la conception et la mise en œuvre de solutions efficaces de gestion de la qualité de l'air.

Une des clés de voûte de cette étape est la caractérisation de l'exposition individuelle, véritable porte d'entrée de la quantification des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique. Pour approcher ce paramètre, il faut pouvoir accéder à une connaissance précise des champs de concentrations des polluants aux échelles spatiales réellement représentatives de ce que nous inhalons. Mais il faut également prendre en compte la mobilité des individus qui sont confrontés au cours d'une journée à différents environnements atmosphériques. Cela concerne l'air extérieur ambiant, mais aussi l'air intérieur : celui des environnements domestiques, des transports en commun ou de notre lieu de travail. L'air intérieur, par nature, n'a pas pu bénéficier du grand nombre des observations relatives à l'air extérieur, et du contrôle assuré depuis la loi sur l'Air de 1996 par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. En outre, au-delà des questions d'échelles et de milieux fréquentés, une large partie de la composition atmosphérique est loin d'être très bien caractérisée ; notre connaissance de certains processus de transformation physico-chimique et d'émission doit, par conséquent, être améliorée. Cela concerne des espèces dont la réactivité n'est que partiellement décrite, des polluants émergents non réglementés et/ou des espèces chimiques dont les concentrations ne sont pas bien documentées (composés organiques volatils comme le formaldéhyde, nanoparticules, composés organiques à faible volatilité et aérosols organiques secondaires, suies, métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), pesticides, effluents biologiques...). De façon générale, connaître la forme et le devenir du carbone dans l'atmosphère reste un immense défi.

En second lieu, malgré les avancées remarquables faites depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle, l'état des connaissances sur les mécanismes d'action (inflammation, stress oxydatif...) et les effets physiologiques de la pollution sur les individus reste fortement lacunaire, cela requiert d'importants efforts de recherche supplémentaires. Il nous faut notamment comprendre les possibles effets de synergie – dits « cocktails » – des mélanges de polluants sur la santé respiratoire et cardiovasculaire, mais aussi considérer l'existence de liens entre la pollution et d'autres pathologies (pathologies de la reproduction, maladies auto-immunes, diabète, mucoviscidose, maladies mentales...). La caractérisation de ces liens potentiels fait à nouveau résonance avec la notion d'exposition individuelle et plus spécifiquement au concept d'exposome qui doit nous pousser systématiquement à considérer le rôle combiné de l'ensemble des facteurs environnementaux (au sens large, et par opposition aux facteurs génétiques) sur l'émergence de différentes pathologies. Des cofacteurs comme l'alimentation, la qualité de l'eau, le bruit ou encore l'environnement social doivent ainsi être pris en compte dans les études épidémiologiques.

La production de connaissance est un moteur puissant de la recherche, mais dans le cas de la pollution atmosphérique qui est un problème de santé publique, l'objectif est aussi de traduire cette connaissance en actions et en solutions pour améliorer la qualité de l'air que nous res-

pirons. Le levier d'action le plus évident est le renforcement de la réglementation sur les émissions de polluants, notamment pour les activités responsables d'une part majeure du bilan atmosphérique des polluants : transport routier, production d'énergie, industries et agriculture, notamment. Depuis la fin des années 1970, en Europe, les exigences réglementaires de réduction des émissions ont toujours été assurées et accompagnées par des améliorations technologiques visant à réduire les émissions à la source, ce qui a permis d'assurer leur acceptation par la société. Dans le cas de la qualité de l'air, il est aujourd'hui reconnu que la palette des actions doit être élargie et inclure une réflexion sur l'aménagement du territoire, et, plus généralement, sur les politiques publiques qui permettent de contraindre la consommation énergétique urbaine, d'améliorer l'offre de transport pour promouvoir une mobilité plus durable et de réfléchir à un urbanisme plus favorable à la santé. Là aussi, les chercheurs ont un rôle à jouer dans la construction de ces solutions. Créer des liens avec les institutionnels est bien sûr indispensable pour allier expertise scientifique, connaissance du terrain et contraintes de gouvernance, mais l'interaction directe avec les collectivités et les citoyens doit également être renforcée. Ainsi, des solutions intégrant la modification des comportements individuels (éviter des zones polluées, changement de modes de consommation et de mobilité...) pourront être conçues comme des leviers supplémentaires pour la réduction des impacts liés à une mauvaise qualité de l'air. Par ailleurs, ce lien entre chercheurs, institutionnels et citoyens est nécessaire pour que les solutions proposées pour améliorer la gestion de la qualité de l'air, parfois impopulaires et mal comprises, soient acceptées, voire co-construites. Les sciences participatives (citoyennes), portées par certaines innovations technologiques (capteurs, réseaux sociaux), constituent, dans ce contexte, des directions d'avenir pour notre recherche. Enfin, dernier aspect important sur ce volet des solutions, celui de la dépollution, notamment de l'air intérieur, qui s'affirme d'ores et déjà comme un sujet majeur de recherche et d'action. En définitive, on doit noter que les solutions pour améliorer la qualité de l'air et surtout leurs applications ne sont pas universelles : les spécificités culturelles ainsi que les caractéristiques sociodémographiques et les pratiques des citoyens, ainsi que le niveau économique, la géographie ou encore la gouvernance des agglomérations, des régions ou des États ciblés vont impacter les impacts sanitaires et environnementaux que l'on peut attendre des stratégies mises en place. La variété des dynamiques de lutte contre la pollution dans les pays européens, asiatiques et africains illustre ce point.

Parler du futur de ce domaine de recherche, c'est aussi parler de la façon dont il doit se structurer pour avancer. La recherche dans le domaine de la qualité de l'air est clairement pluridisciplinaire. Ainsi, sans être exhaustif, on fait appel à des disciplines, telles que la physique, la chimie, la physico-chimie de l'atmosphère, la médecine, la toxicologie, l'épidémiologie, la géographie, l'urbanisme, l'ingénierie des transports, la sociologie et l'économie. Mais créer une rupture dans les connaissances exige aujourd'hui de penser une structuration inter- ou transdisciplinaire de la recherche, seules approches permettant de développer une pensée systémique notamment autour de l'espace urbain. Cette réflexion sur l'inter- ou la transdisciplinarité n'est pas nouvelle, mais l'état des connaissances et le bilan des besoins dressé dans de nombreuses disciplines les rendent aujourd'hui prêtes pour ce couplage. Ces approches devront aussi permettre de porter le développement d'outils transverses indispensables pour la gestion intégrée de la qualité de l'air, de ses causes et de ses impacts. Et comme souvent dans le domaine des sciences environnementales, il faut pour cela s'assurer que les acteurs académiques ne soient pas déconnectés des acteurs opérationnels (c'est-à-dire ceux en charge de la surveillance de la qualité de l'air et de ses impacts), de la sphère politique (représentée par des agences comme l'ADEME ou l'ANSES), du monde socio-économique, et, bien sûr, des citoyens. Cette structuration que l'on peut qualifier d'intersectorielle, si elle est indispensable, ne doit cependant pas tirer les activités de recherche vers des développements uniquement opérationnels au détriment de travaux plus fondamentaux, ce qui aurait pour effet d'assécher la production des connaissances et l'innovation à moyen et long termes.

## Références bibliographiques

- COHEN A. J., BRAUER M., BURNETT R. *et al.* (2015), "Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study", *Lancet* 2016; 389, pp. 1907-1918.
- NEWBY D. E., MANNUCCI P. M., TELL G. S. *et al.* (2015), *European Heart Journal*, Vol. 36, Issue 2, 7, pp. 83-93, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu458>
- Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project (This project has been co-funded by the European Union under Contribution Agreement No.07-0307/2011/604850/SUB/C3, 2013).
- OMS (2018), "9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action", News release, Geneva.

# Le projet AGREGA : vers un outil pédagogique et ludique pour simuler le marché des granulats en région Île-de-France <sup>(1)</sup>

Par Jacques SCHLEIFER, Bruno TESSIER et Isabelle THÉNEVIN

Centre de Géosciences, MINES ParisTech, PSL Université

Carole DENEUVE et Christine MALLENS

UNICEM

et Laurent GOETHALS

Andreil Game

Le Grand Paris, avec ses voies ferrées, ses logements et ses réseaux va impacter largement le marché déjà tendu des granulats en Île-de-France. Afin d'atténuer ce stress, les acteurs de ce marché ont été mobilisés autour d'un projet de recherche partenariale nommé AGREGA, subventionné par l'ANR (Agence nationale de recherche). Ce projet a permis de réaliser un outil de visualisation des flux de granulats. Cet outil informatique est équipé d'un solveur mathématique afin de faire correspondre l'offre à la demande dans de multiples configurations. Cette partie du travail a été confiée au Centre de Géosciences de Mines ParisTech. L'outil est doté d'une base de données actualisée et réaliste fournie par l'UNICEM et d'une interface simple à appréhender conçue par Andreil Game et inspirée des jeux vidéo. Dans cet article, l'outil est décrit de manière complète, les données d'entrée et de sortie, ainsi que la méthode de résolution du marché. Enfin, la présentation de quelques résultats pour l'année de base et l'année 2024 montre l'intérêt sociétal de cette démarche. Cela pourrait peut-être permettre d'envisager une stratégie de gestion des ressources pour répondre aux besoins qualitatifs et quantitatifs en matériaux, tout en limitant les tonnages transportés et, par voie de conséquence, les impacts environnementaux.

## Introduction

La résolution d'un marché est un équilibre à trouver entre l'offre et la demande d'un matériau. Cet équilibre peut être conditionné par un paramètre comme le prix d'achat ou les coûts de transport, individuels ou globaux. La compétitivité des sources de production existe dans le cadre du marché des granulats, et c'est souvent la distance entre le

lieu de production et celui de consommation qui impacte le plus la décision d'achat. Toutefois avec trois modes de transport possibles – la route, le rail et le transport fluvial qui sont presque toujours combinés –, la complexité du problème augmente, puisque le coût du tonnage au kilomètre par la route n'est pas du même ordre de grandeur que celui du fret ferroviaire ou celui du transport fluvial. Enfin, la qualité souhaitée des matériaux impose des flux préférentiels qui sont parfois altérés par un usage dégradé de la ressource initiale.

La simulation d'un marché est possible, si l'outil de résolution est suffisamment souple pour offrir à l'utilisateur de multiples configurations (offre et demande variables dans l'espace et dans le temps, par exemple) et s'il répond rapidement au cadre choisi.

Ce cadre est toutefois une simplification de la réalité des échanges qui sont schématisés dans les outils. Ces outils

(1) Remerciements : Cette recherche et le développement de l'outil ont bénéficié pendant trois ans du programme Écotechnologies & ÉcoServices de l'Agence nationale de la recherche. Les discussions et échanges d'informations avec l'ensemble des partenaires du projet AGREGA ont contribué largement à la cohérence de l'outil et de ses résultats. Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), le département de Recherches en économie écologique de l'Université de Versailles (REEDS/UVSQ), les Voies navigables de France (VNF), l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Île-de-France (IAU IDF), ainsi que les trois organismes co-auteurs de cet article, ont ainsi partagé leur connaissance du marché des granulats en Île-de-France.



restent des outils d'aide à la décision qui doivent être manipulés par des utilisateurs avertis. Les exemples donnés dans l'article sont fournis à titre d'illustration.

L'article se compose de quatre parties. Après la présentation du cadre de cette recherche appliquée au marché des granulats (partie 1), l'outil de simulation est décrit dans le détail de ses données d'entrée et de sortie ainsi que son interface utilisateur qui, à la manière d'un jeu sérieux, propose de multiples choix à l'opérateur (partie 2). Ces choix ont été guidés par la réflexion autour de scénarios possibles d'évolution du marché des granulats qui sont décrits en partie 3. Enfin, des résultats de simulations sont discutés en quatrième et dernière partie.

## Contexte de l'étude

La question de la soutenabilité du Grand Paris en matériaux a été posée dès 2012 par la DRIEE-IDF (Chazelle, 2012), car la densité de l'aménagement projeté, ainsi que la congestion des transports de la métropole ont rapidement mis en évidence cette problématique auprès des acteurs publics. Ces derniers sont alors déjà bien conscients « du risque avéré de tension sur les ressources en granulats » et de la nécessaire « solidarité interrégionale » pour répondre aux demandes du secteur du BTP en Île-de-France. Toutefois, pour répondre à cette question, il faut disposer des données du marché produites par de multiples instituts. Ces acteurs conjuguent régulièrement leurs efforts pour établir un panorama régional, comme ils l'ont fait dernièrement (DRIEE-IDF, IAU, UNICEM, 2017). Ils sont aidés par les producteurs de granulats et les transporteurs-distributeurs qui conjointement font face aux impératifs de qualité des produits et de toute la logistique liée à ces matériaux pondéreux (UNPG, 2012).

Ce marché est, de fait, en constante évolution. En effet, les sources d'alimentation en granulats peuvent se tarir en raison des limites administratives des autorisations d'exploitation. Elles peuvent aussi s'accroître du fait de l'exploitation des granulats marins, largement discutée car cette ressource est sensible (Toupin, 2004). L'utilisation de granulats recyclés, source vertueuse, est également débattue, car les impératifs de qualité des ouvrages finis réduisent bien souvent leurs applications à l'enfouissement des canalisations ou aux sous-couches routières. Les caractéristiques des matériaux réutilisables sont très précises (CEREMA, 2014). La demande en matériaux est aussi très variable, en quantité, en localisation spatiale et en délais. Le projet d'aménagement de l'Île-de-France sur les quinze prochaines années, décrit dans le schéma directeur adopté en 2013 (CR IDF, 2013), est bien entendu une volonté qui sera mise en place au rythme imposé par les multiples contraintes de sa réalisation.

Ainsi, les acteurs disposent des informations nécessaires, mais la multiplicité des possibilités ou solutions requiert un outil informatique pour faire la synthèse des données et montrer les possibilités de flux. Un exemple appliqué à ce marché avait déjà été élaboré dans le cadre du projet ANR ANTAG "Anticipation of the access to the aggregate resource by breaking present schemes in the long term"

(Rodriguez Chavez, 2010 ; Rodriguez Chavez *et al.*, 2010). Les partenaires de cette recherche collaborative ont à nouveau mis en commun leurs compétences pour créer un outil informatique dédié au marché des granulats de la région Île-de-France. Afin de garantir l'ergonomie de l'outil, celle-ci a été confiée à un concepteur de jeux vidéo qui a réalisé l'interface utilisateur reliée à l'organe de résolution du marché, un solveur mathématique.

La confidentialité des données, dans le contexte d'un marché restreint et géographiquement ciblé, doit être garantie. Afin d'y parvenir, toutes les données ont été agrégées à l'échelle de bassins de production ou de zones de consommation regroupant de nombreuses entités individuelles. De même, le pas de temps annuel, considéré dans la résolution du marché, permet de cumuler les échanges. C'est aussi, dans ce cas, un moyen de simplifier les calculs.

## L'outil de simulation

Le simulateur de marché est un outil de type solveur par programmation linéaire basée sur la méthode du Simplexe, qui résout un problème à partir de données d'entrée et qui donne un résultat sous la forme d'un fichier de sortie. Le calcul réalisé est une optimisation d'un paramètre. Le paramètre choisi est, dans notre cas, une dépense globale minimale.

Le solveur *open source* `lp_solve` a été choisi pour réaliser ces calculs. Il est multi-plateforme et a été développé par une équipe comprenant Michel Berkelaar, Kjell Eikland et Peter Notebaert (2004). L'intégration de ce solveur à notre application s'est fait à travers la librairie dynamique (`lp_solve55.dll` – version 5.5) grâce à l'interface de programmation fournie (API). `lp_solve` est sous licence GNU – LGPL (Lesser General Public License – pour consulter la documentation et les termes spécifiques du contrat de licence, voir : <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>).

Avant de procéder à la programmation de l'outil de simulation, une réflexion et des discussions avec les partenaires ont permis de choisir la configuration requise pour l'usage du simulateur. Il s'agit d'une configuration classique, celle d'un ordinateur de bureau de type PC, équipé de Windows. Toutes les librairies et outils sont en *open source*, il n'est donc nullement besoin d'acheter un logiciel spécifique pour pouvoir utiliser ce simulateur. De même, une attention particulière a été apportée aux performances de calcul afin d'accéder aux résultats dans des temps de réponse acceptables. La programmation a permis d'optimiser le fonctionnement de telle sorte que, sur les divers ordinateurs et pour les différentes simulations réalisées, quelques secondes suffisent. En effet, seuls les trajets physiquement possibles prennent part à l'optimisation du marché des granulats en région Île-de-France. Ce mode de programmation allège considérablement la résolution mathématique entre l'offre et la demande et permet un fonctionnement du simulateur sur un équipement informatique « modeste ».

La méthode de résolution mathématique retenue (programmation linéaire) relève d'un choix. Elle n'est pas la

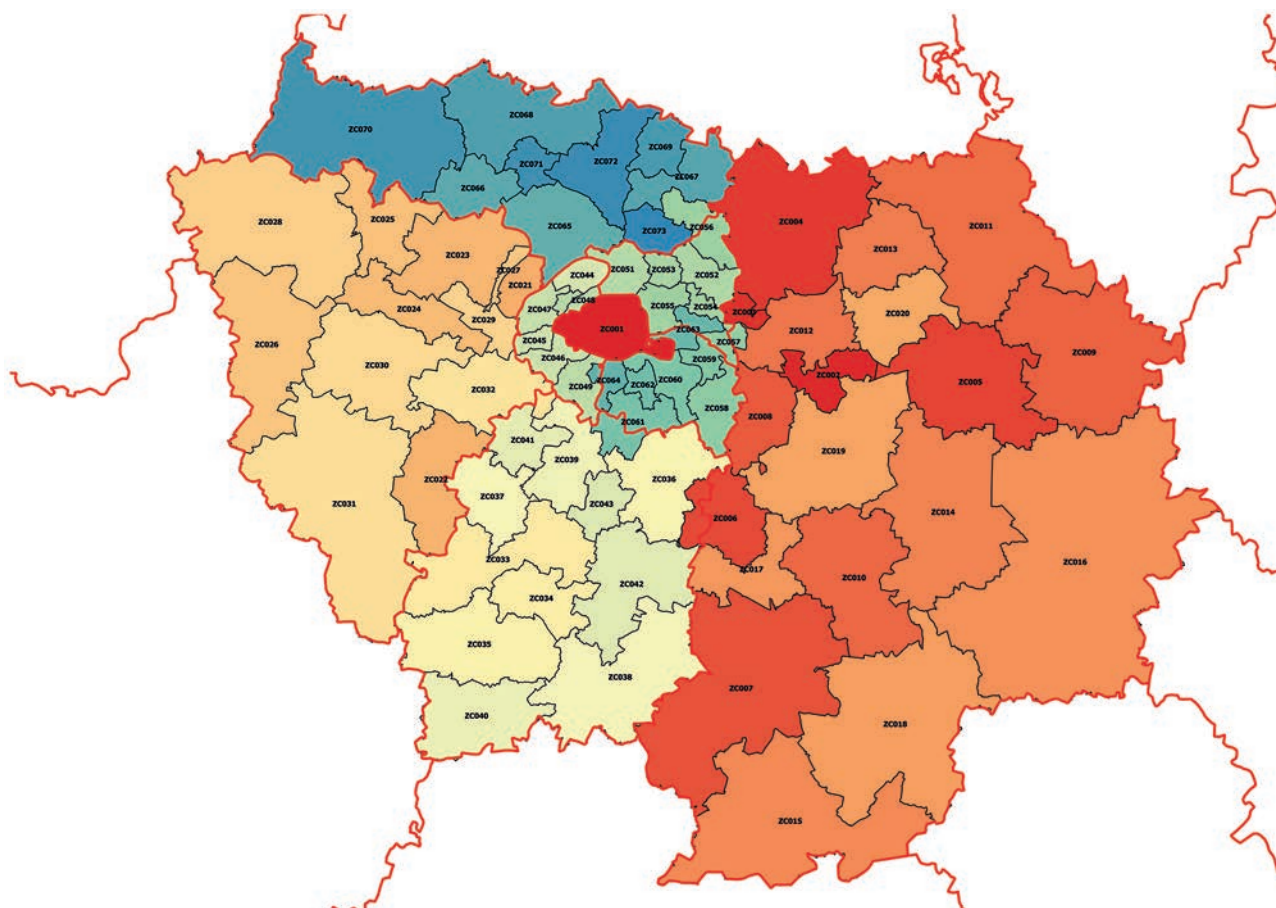


Figure 1 : Carte des 73 centres de consommation de l'Île-de-France (identifiés par leur numéro).

seule possible. En effet, compte tenu de la forte composante logistique du problème posé – un approvisionnement par un ensemble de points fournisseurs d'un ensemble de points consommateurs *via* un réseau d'acheminement –, une méthode couramment employée est celle du modèle gravitaire. Elle a d'ailleurs été mise en œuvre pour l'estimation des flux français dans le BTP (Corget *et al.*, 2013). Le fait de ne pas avoir fait appel à cette méthode, pourtant envisagée avant le montage du projet AGREGA, relève essentiellement des considérations d'implémentation évoquées *supra*.

### Données

Dans le fonctionnement agrégé, les fichiers d'entrée sont au nombre de trois. Ce sont des fichiers « texte », qui se présentent sous la forme de listes de données et de valeurs, au format CSV, le séparateur étant le point-virgule et la décimale étant matérialisée par un point. Ce format est très facilement gérable avec le logiciel Excel, par exemple.

#### Fichier des centres de consommation

Les centres de consommation correspondent à des zones plus ou moins étendues de la région Île-de-France (73 au total), dont le découpage a été fourni par les partenaires (voir la Figure 1 ci-dessus).

Ce fichier de données comporte six colonnes : l'index de la zone de consommation, son numéro de département, son nom, sa consommation en BB (béton bitumineux =>

enrobés), celle en BH (béton hydraulique) et, enfin, celle destinée aux VR (voirie et réseaux).

Quand on parle de consommation en BB, il faut comprendre consommation directe de granulats nécessaires à la fabrication de béton bitumineux. Par exemple, la valeur correspondante pour Paris est égale à 0, car aucune centrale d'enrobés n'est présente dans la capitale ; elles sont toutes situées en petite couronne. La consommation annuelle en granulats pour les bétons hydrauliques de Paris est d'environ 1 790 kilotonnes (kt), et elle est de 930 kt en granulats pour la voirie et les réseaux.

#### Fichier des bassins de production

Les bassins de production correspondent à des zones présentant une unité « de terroir » et d'usage du point de vue des granulats, c'est un ensemble de carrières extrayant une formation géologique qui correspond à un produit type sur le marché des granulats. Ils sont au nombre de quatre-vingt-cinq à avoir été identifiés comme des fournisseurs potentiels de granulats pour la région Île-de-France.

Le fichier correspondant à ces données est organisé à partir de onze colonnes détaillées ci-après. Il comporte trois informations administratives : l'index du bassin de production (ID unique), le numéro de département et un nom court. Ensuite, la production technique du bassin de production (valeur en kt pour une année) et son taux de disponibilité (valeur comprise entre 0 et 1, soit de 0

à 100 %) complètent le fichier. Ensuite, six valeurs définissent les statuts pour le bassin de production en BH, VR et BB, ainsi que les accès au transport par la route, par un moyen combiné route/fluvial ou par un transport combiné route/voie ferrée.

Le statut vis-à-vis d'un type de ressource est par exemple égal à 0, si la qualité n'est pas disponible ; à 1, si la qualité est disponible pour l'usage considéré ; et à 2, si la qualité est disponible pour un usage dégradé (*a priori* VR) et seulement localement, à proximité du site de production (dans le simulateur, cela est valable pour une distance inférieure ou égale à 15 km).

De même, pour les accès aux trois modes de transport, 0 signifie pas d'accès et 1 accès possible. On remarquera que seuls les bassins de production ayant au moins une carrière embranchée sur le rail disposent de cet accès ferroviaire.

Les noms des bassins de production reportés sur la carte (voir la Figure 2 ci-après) correspondent à l'identifiant du bassin et à leur numéro de ligne dans les tableaux de données. Il est ainsi très facile de modifier ou de corriger une valeur.

Ce fichier présente quelques particularités. En effet, la région peut recourir aux granulats marins (Secrétariat général de la Mer, 2006). Ceux-ci étant extraits et approvisionnés *via* le port du Havre et la Seine, il a été décidé de créer un bassin supplémentaire, le n°85, localisé à Rouen, où sont généralement reconditionnés ces matériaux et qui

dispose de la capacité de production correspondante. De plus, les départements de Paris et de la petite couronne peuvent fournir des matériaux recyclés sur ce marché. Ils correspondent aux « producteurs n°76 à 83 » de matériaux recyclés dédiés aux usages voiries et réseaux et pouvant être acheminés *via* la route ou la Seine.

Enfin, le producteur n°84 RZ00 est un producteur virtuel, dit de « secours informatique », qui permet de trouver une solution face à toute insuffisance des producteurs réels de granulats. Sa capacité de production est donc estimée de telle façon qu'elle ne sera jamais consommée totalement. Ce producteur imaginaire est situé hors de France et il n'a accès qu'à la route pour transporter à prix d'or son granulats virtuel. Il permet donc au solveur de trouver une solution possible qui fait en réalité apparaître aux yeux de l'utilisateur un déficit de production par rapport à l'offre réelle.

### Fichier des coûts rendus sur les centres de consommation

C'est un fichier plus volumineux qui comporte pour l'instant 6 205 options de trajets entre les bassins de production et les zones de consommation. Il comporte six colonnes dont l'identifiant unique de la zone de consommation et celui du bassin de production dans la base de données. Ensuite, trois coûts exprimés en euros pour les différentes combinaisons de trajets : routier, combiné route/fleuve et celui route/rail. Ces coûts incluent le coût départ du site de production.

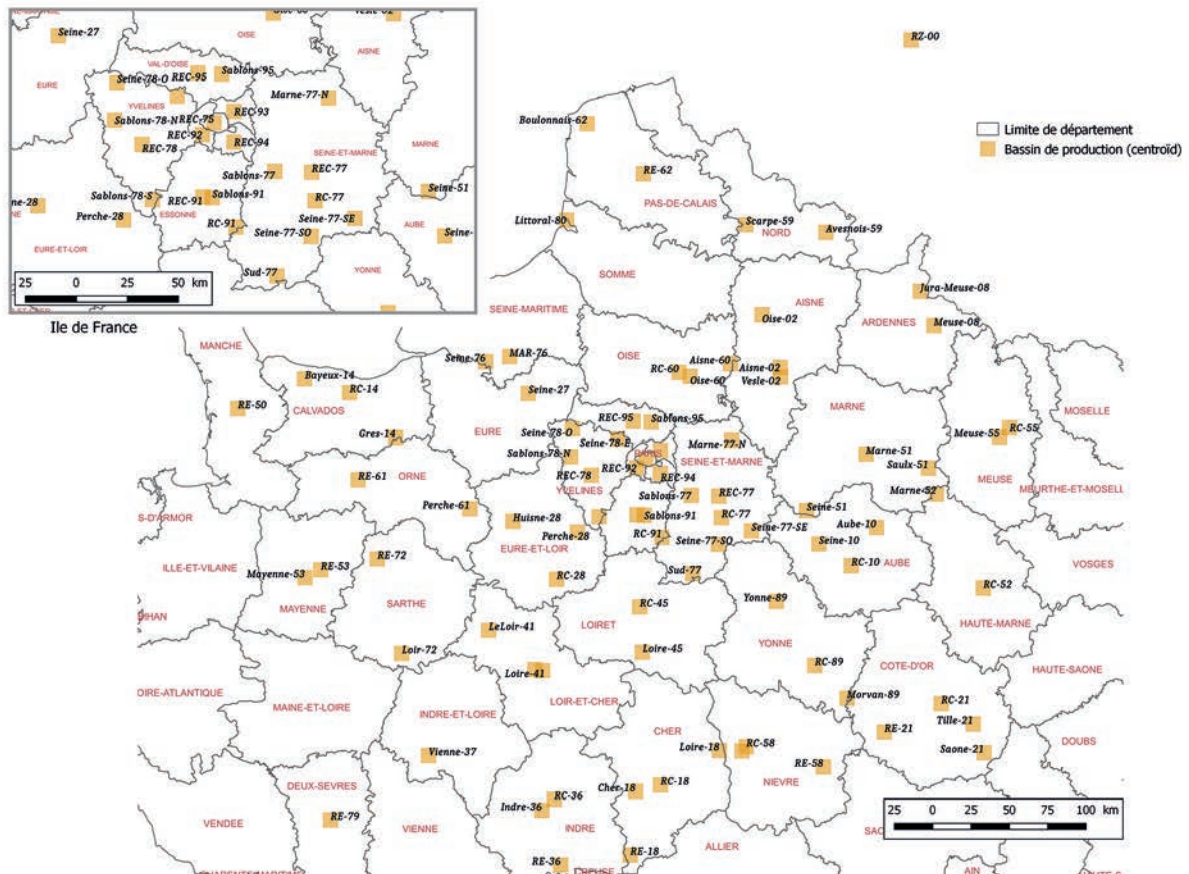


Figure 2 : La carte des bassins de production pouvant alimenter le marché de l'Île-de-France.



Il faut noter que le coût du transport combiné route/rail a été surestimé pour les distances inférieures à 120 km entre le producteur et le consommateur, du fait qu'actuellement, cette option de trajet n'est jamais utilisée dans un tel contexte. La minimisation de la dépense recherchée par le solveur fait qu'il ne la choisira pas non plus.

Les coûts et distances sont des éléments très sensibles de la résolution du marché. Une attention particulière leur a été apportée. Les trajets possibles ont été définis par les partenaires et découpés en sections pour les transports combinés. Les itinéraires des matériaux ont finalement été établis par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières et le service des Voies Navigables de France qui ont su homogénéiser leurs cartes.

Un exemple est présenté ci-après et il est tout à fait représentatif du contenu de cette base de données.

Entre Paris ZC001 et les producteurs de l'Aisne BPA001, il y a 132,2 km à parcourir par la route. Dans le cas où ce trajet serait réalisé en utilisant le transport fluvial, le trajet serait en réalité plus long et nécessiterait de parcourir 227 km *via* le réseau fluvial et 20 km en transport routier, soit un total de 247 km. Enfin, pour un transport combiné fer/route, le trajet ferré serait de 122 km et celui routier de 30 km, soit un total de 152 km. Cela est synthétisé (voir le Tableau 1 ci-dessous) à partir d'un exemple qui est un extrait de la base de données trajets.

75-Paris	Kilométrage
Route directe	132
Fluvial/Route	247
<i>fluvial - part route</i>	20
<i>fluvial - part fleuve</i>	227
Fer/Route	152
<i>fer - part route</i>	30
<i>fer - part fer</i>	122

Tableau 1 : Décomposition en sections des trajets en transports combinés.

Concernant les coûts correspondants, ils sont calculés automatiquement à partir des coûts unitaires (voir le Tableau 2 ci-après). On remarquera que, dans ces calculs, le coût des ruptures de charge (transbordement) est ignoré (égal à 0 euro). Cela favorise automatiquement les modes de transport combinés, car, dans la réalité, ce coût est d'environ 1 ou 2 euros par tonne.

coût unitaire transport direct par la route	0,15	€/t.km
coût unitaire transport fluvial	0,03	€/t.km
coût unitaire transport fluvial – route secondaire	0,15	€/t.km
coût rupture de charge plateforme fluvial-route	0,0	€/t
coût unitaire transport fer	0,05	€/t.km
coût unitaire transport fer – route secondaire	0,15	€/t.km
coût rupture de charge plateforme fer-route	0,0	€/t

Tableau 2 : Coûts unitaires des différents transports utilisés.

Ainsi :

- $132,2 \text{ km} \times 0,15 = 19,83 \text{ euros/t}$  pour la route ;
- $228 \text{ km} \times 0,03 + 20 \text{ km} \times 0,15 = 9,84 \text{ euros/t}$  pour le

combiné route/fluvial ;

- $122 \text{ km} \times 0,05 + 30 \text{ km} \times 0,15 = 10,60 \text{ euros/t}$  pour le combiné route/fer.

À cela, il faut ajouter le coût du granulat au départ de la carrière, son « coût de production ». Il a été estimé dans une fourchette comprise entre 8 et 10 euros la tonne pour l'ensemble des sites de production, et pour le bassin de l'Aisne, dans notre exemple, à 8,80 euros/tonne. Ces montants, à vocation pédagogique, ne correspondent pas à une réalité de terrain.

On obtient les valeurs suivantes :

- $19,83 + 8,80 = 28,63 \text{ euros/t}$  rendu sur site de consommation par la route ;
- $9,84 + 8,80 = 18,64 \text{ euros/t}$  rendu sur site de consommation par le combiné route/fluvial ;
- $10,60 + 8,80 = 19,40 \text{ euros/t}$  rendu sur site de consommation par le combiné route/voie ferrée.

Pour les zones de production, les trajets routiers ont été estimés à partir des chefs-lieux de département (hors Île-de-France) et à partir des communes-pivots des zones de production de l'Île-de-France. Pour les centres de consommation, le trajet s'arrête au niveau de la commune-pivot de la zone géographique associée.

Enfin, l'ensemble des fichiers d'entrée sont présentés (voir la Figure 3 de la page suivante). On notera qu'il est très facile d'ajouter ou de supprimer des centres de consommation ou des zones de production, puisqu'il suffit d'insérer ou d'effacer des lignes dans les tableaux. Toutefois, il faut être en mesure d'ajouter le panel des trajets possibles entre ces zones de production et les centres de consommation déjà existants, soit, par exemple, Y x 73 trajets.

### Optimisation et solveur

La Figure 4 de la page suivante présente l'organisation interne de l'outil de simulation et les liaisons informatiques possibles entre les fichiers d'entrée, le solveur, le fichier résultat et les deux outils privilégiés que sont le logiciel QGIS et le gestionnaire de la base de données. En effet, cet ensemble d'outils *open source* est particulièrement adapté à ce jeu de données géo-référencées. C'est aussi un moyen très pratique pour procéder à la mise à jour des données, l'actualisation des productions...

La Figure 5 de la page 113 présente de manière synthétique la résolution matricielle du marché des granulats. Les informations « producteurs de granulats » correspondent aux colonnes, celles relatives aux consommateurs aux lignes. L'optimisation est contrainte par la qualité des produits fournis et consommés. La production totale et maximale de chaque zone ne peut être dépassée. Les trois types de trajet sont envisagés et comparés. Enfin, il faut satisfaire la demande tout en minimisant la dépense globale sociétale.

### Interface et jeu sérieux

Afin de garantir un usage souple du solveur, pour un utilisateur n'ayant que peu de connaissances informatiques, une interface sous la forme d'un jeu vidéo a été réalisée par Andreil Game. Elle rend l'utilisation du solveur plus



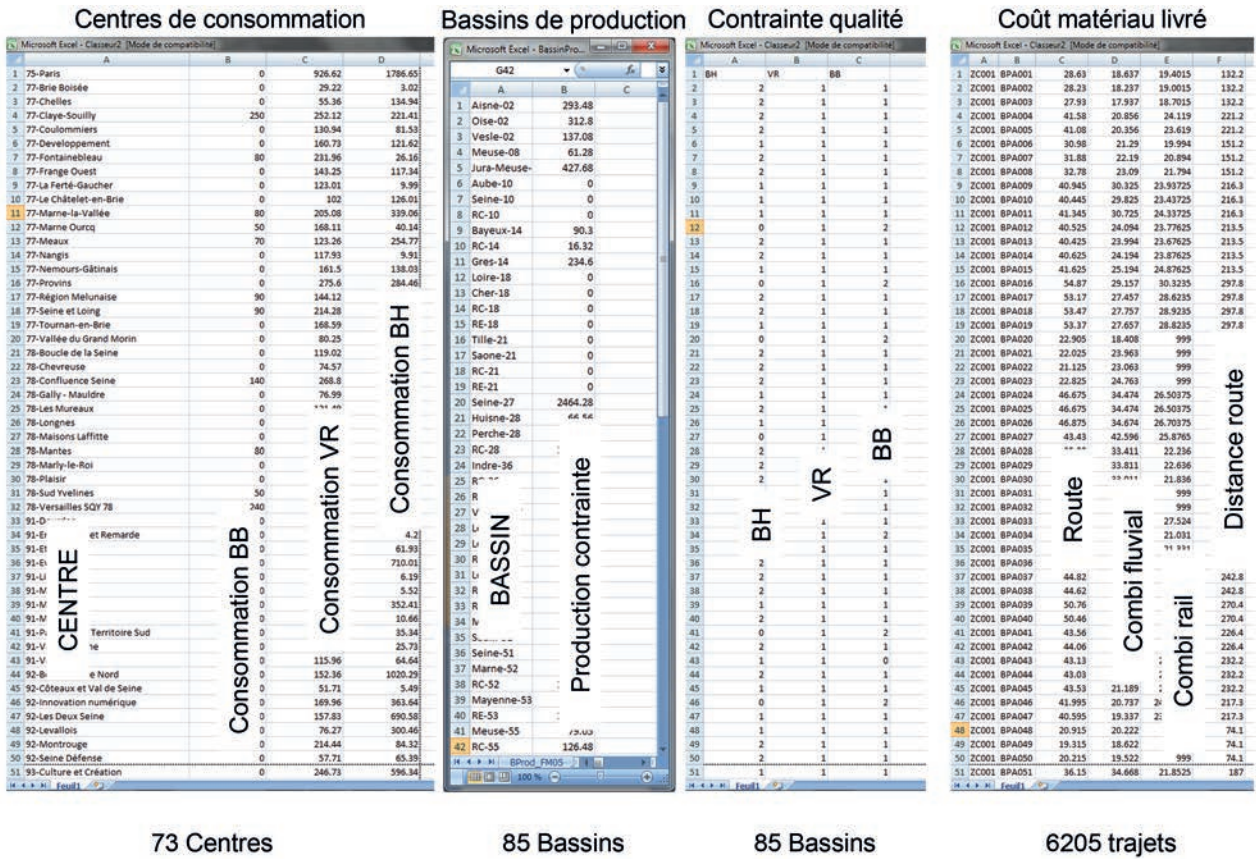


Figure 3 : Synthèse des données des fichiers d'entrée (extraits des fichiers).

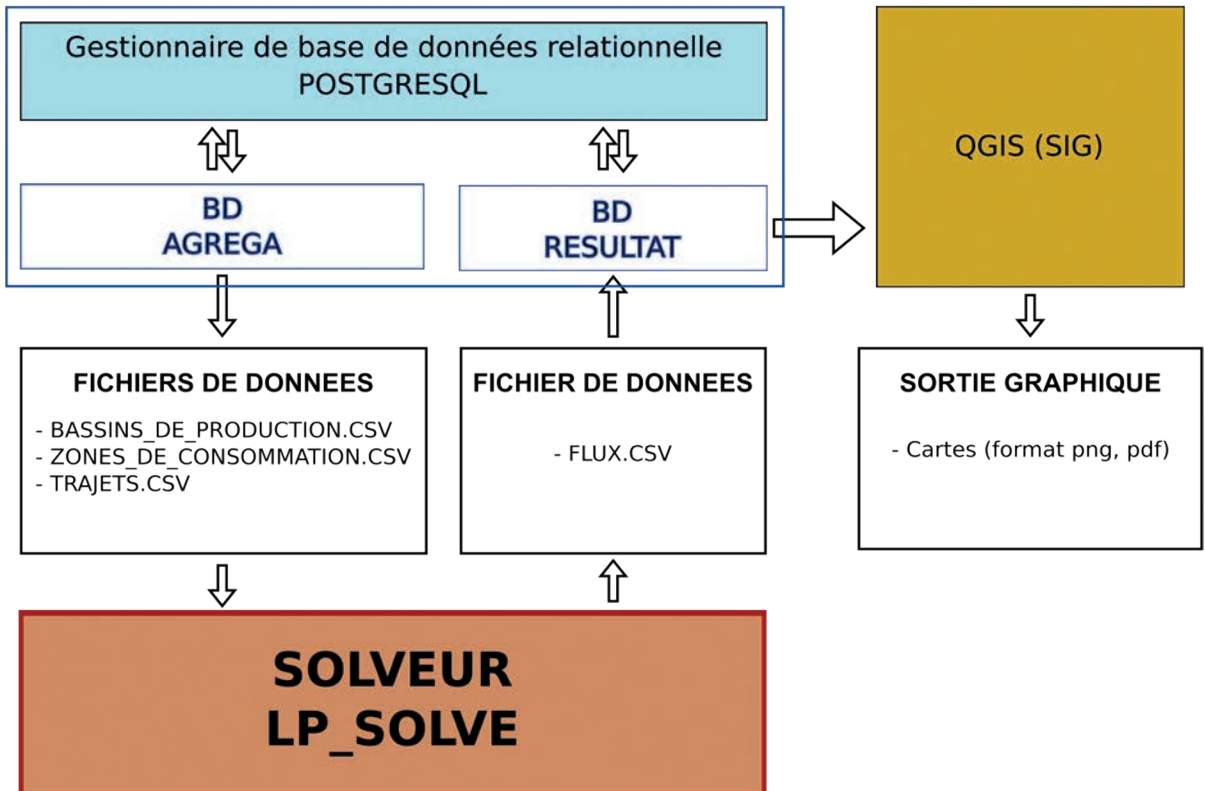


Figure 4 : Organisation de l'outil simulateur et indication des liaisons informatiques.

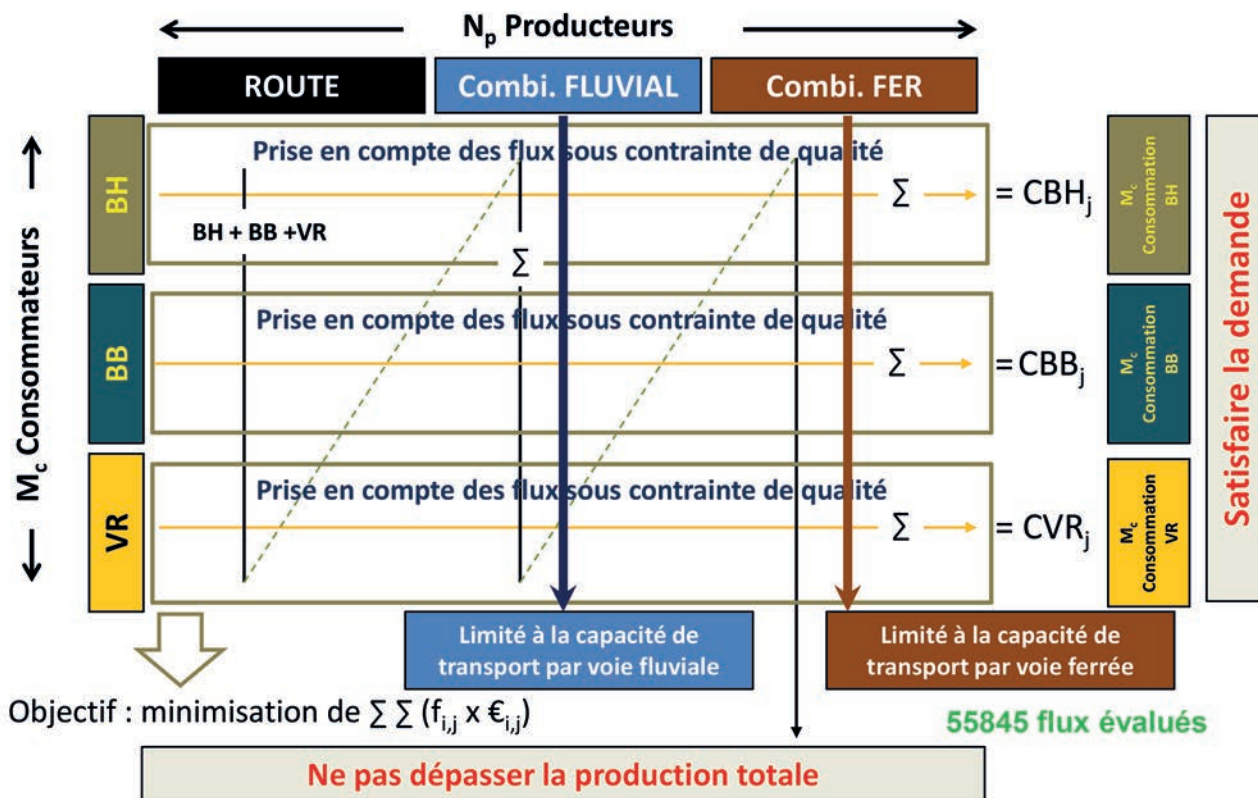


Figure 5 : Schéma de la résolution matricielle du marché des granulats en région Île-de-France.

simple en centralisant toutes les interactions (QGIS et Excel deviennent optionnels). Elle permet, par exemple, d'afficher, pour chaque bassin de production, sa capacité à produire tel ou tel type de matériaux (voir la Figure 6 de la page suivante), ou de voir s'il est raccordé au réseau ferré (voir la Figure 7 de la page suivante).

Cette interface permet aussi de modifier aisément un nombre important de paramètres comme le montre la partie droite de l'écran vidéo de la Figure 6 : coût des transports ; valeur de la consommation globale en granulats de chaque type (BH, BB, VR) ; production technique des bassins, et cela en un seul clic. Elle permet bien entendu de recalculer une solution d'approvisionnement du marché et d'afficher les flux en résultant (voir les Figures 8 à 13).

## Scénarios d'évolution du marché des granulats

Les discussions entre les partenaires du projet AGREGA ont permis de définir « un scénario » comme étant un panorama, à venir, de l'Île-de-France, avec une évolution temporelle sur une trentaine d'années. Ce panorama doit de plus être partagé par un large panel d'acteurs de ce secteur d'activité.

### Les différents scénarios proposés au comité d'utilisateurs

Ainsi, cinq scénarios ont été proposés à un panel d'acteurs du marché des granulats. Dans cette approche, les scénarios ne sont ni concurrentiels ni antinomiques. C'est-à-dire que les événements proposés peuvent éventuellement se cumuler. L'objectif de cet ensemble de scénarios était de montrer la polyvalence de l'outil de simulation. En effet,

pour chacun des scénarios décrits ci-dessous, c'est en fait, à chaque fois, un paramètre différent du modèle qui évolue.

### Scénario 1 – La consommation de granulats change (dans la perspective des Jeux Olympiques 2024)

Avec cet événement, un village olympique et un complexe nautique sont à construire : cela équivaut à 350 000 tonnes de granulats consommées pour le béton prêt à l'emploi en supplément de l'activité traditionnelle de ce secteur. Ces chantiers s'échelonnent probablement sur trois années, de 2020 à 2023.

### Scénarios 2 et 3 – Le planning de réalisation d'un projet évolue (scénario Grand Paris Logements et scénario Grand Paris Transports)

Le projet Grand Paris Logements comprend 70 000 logements neufs à construire par an et sur vingt ans, soit une surconsommation de 5 à 7 Mt de granulats par an (en parallèle, autour des gares de la région IDF, 17 000 logements seront démolis chaque année).

Le Grand Paris Transports, quant à lui, représente 150 km de tunnels, 50 km de voies ferrées et 68 nouvelles gares. Ce sont environ 4 Mt de granulats supplémentaires par an qui seront consommées d'ici à 2030.

Ces deux scénarios, très ambitieux, peuvent avoir divers calendriers de réalisation, l'outil de simulation permet de générer ces plannings plus ou moins stressants pour le marché.

### Scénario 4 – Le maillage du réseau de transport est modifié (Canal Seine-Nord)

Il s'agit de creuser, d'ici à 2024, un canal au gabarit européen. Dans ce type d'ouvrage, la consommation d'enro-



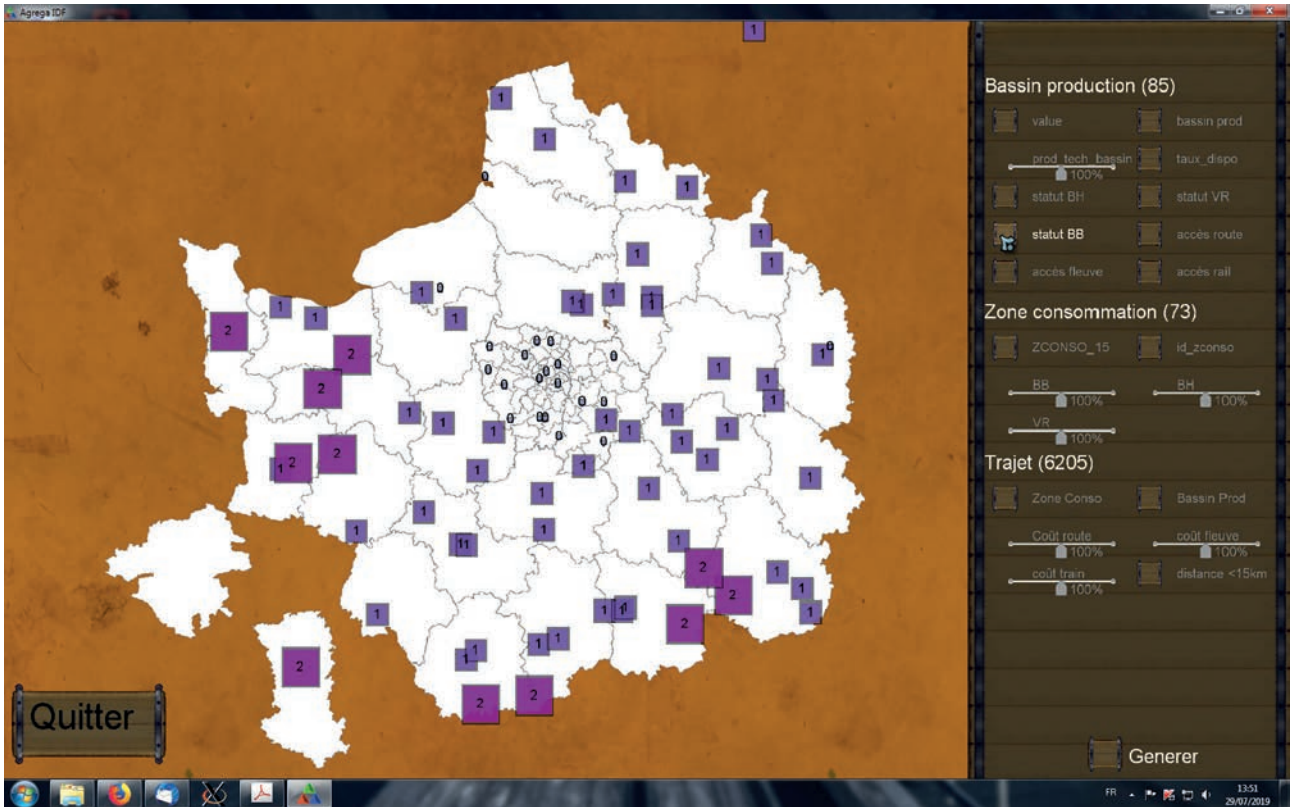


Figure 6 : Écran de type jeu vidéo montrant le statut BB des différents bassins de production.



Figure 7 : Écran de type jeu vidéo montrant les bassins de production ayant un accès au réseau ferré.

chements et de remblais concerne les volumes les plus importants. Ce type de projet n'impacte donc pas directement la consommation de granulats de la région IDF. Il aurait toutefois un impact sur le coût du transport des granulats vers l'Île-de-France et aussi sur la capacité totale ou maximale de la voie fluviale à acheminer des matériaux vers Paris. Il faut noter que la flotte « grand gabarit » devra aussi évoluer sur ce tronçon. La localisation des plateformes modales de chargement peut être optimisée, de même que la position des plateformes « eau-eau » au cœur du périmètre. Dans ce projet, c'est le cheminement des matériaux qui est impacté (tracé fluvial), plus précisément la capacité du transport fluvial à l'assurer, et aussi son coût, car le gabarit des bateaux et la concurrence entre les transporteurs et entre les producteurs seraient favorables à une baisse des prix.

### Scénario 5 – La pression sociétale se renforce (zéro déchet pour l'IDF)

Avec la démolition de bâtiments, on peut générer une tonne de déchets inertes non dangereux par mètre carré de surface habitable déconstruite (Conseil régional IDF, PREDEC 2015). Pour réaliser un tri efficace de ces matériaux, il faudra installer une dizaine de plateformes de concassage et de tri dans la région. La localisation de ces plateformes peut être optimisée afin de limiter le transport des matériaux, par exemple. Ce scénario peut être étudié seul, mais, en réalité, il sera probablement conjugué avec l'ensemble des autres scénarios, car cette dynamique visant à la « réduction des déchets » fait actuellement consensus. Cela est d'autant plus justifié dans le cas des granulats par le fait que ce sont des matériaux pondéreux et recyclables, donc l'énergie nécessaire à leur production et à leur transport est significative.

### Le scénario retenu

À partir des éléments discutés par le comité des utilisateurs potentiels de l'outil et des remarques formulées par les partenaires, le scénario le plus intéressant pour la filière granulats est celui qui concerne le projet Grand Paris Logements, car la demande est alors répartie sur l'ensemble des communes du département de Paris et de ceux de ses deux couronnes (petite et grande couronnes). Le calendrier est encore assez flou et dépendrait d'incitations fiscales... Ce sont donc ces résultats qui sont présentés dans le paragraphe suivant.

Enfin, on remarque aussi que la définition des scénarios conjointement à l'élaboration du modèle a permis d'insérer immédiatement les leviers nécessaires à ces simulations et d'adapter la précision requise dans l'outil.

## Résultats et usages

### Résultats de la simulation de l'état initial

Afin de montrer la pertinence ou la validité de l'outil de simulation, il a été choisi de simuler une année passée, pour laquelle nous disposons de données d'entrée et des observations formulées par les acteurs du marché. Il s'agit d'une année se situant entre 2010 et 2017, voisine de 2015. Cette année-là, 26 Mt de granulats ont été échangées entre les bassins de production et l'Île-de-France.

On peut observer, sur les Figure 8 à 10 de la page suivante, les cartes de flux et de matériaux correspondants. Par exemple, sur la Figure 8, on constate que sur un total de 13,2 Mt de granulats de qualité destinés à la fabrication de béton, 49,3 % sont fournis par des producteurs de la région Île-de-France et 50,7 % viennent des régions voisines. Sur ce tonnage, presque 8 Mt transitent *via* le transport combiné route/fluvial.

Les flux simulés étant cohérents avec la réalité du marché observée par les partenaires du projet, d'autres simulations ont été effectuées.

Les granulats destinés aux bétons bitumineux sont, pour des raisons techniques (matériaux frottants), majoritairement issus de roches éruptives. Ils proviennent donc du secteur géographique sud-ouest sur la carte de la Figure 10, dans lequel ce type de roches affleure. On remarque qu'ils sont actuellement transportés *via* un transport combiné route/voie ferrée.

### Résultats pour 2024

Dans le cadre de la construction du Grand Paris, un accroissement de la demande en granulats est estimé à 4 Mt, qui ont été réparties sur les zones de consommation correspondantes. Au niveau des matériaux, les quantités des différentes qualités ont été augmentées de façon proportionnelle. La demande totale est donc de 30 Mt. Pour cette simulation, les moyens de transport de la situation initiale ont été conservés à l'identique, mais l'offre en granulats a été réduite en nous appuyant sur notre connaissance des années butoirs : fin des autorisations d'exploitation présentes dans la base de données. Le déficit de l'offre en granulats est donc beaucoup plus important que dans le scénario précédent : 35,6 % des besoins en granulats pour le BH et 15,3 % pour le VR. Les cartes de flux de matériaux correspondantes (voir les Figures 11 et 12 de la page 117) font ainsi apparaître un déficit de l'offre conduisant à solliciter de manière importante le producteur virtuel RZ00 – dit de « secours informatique » – localisé fictivement au Nord-Est sur la carte.

Si l'on compare les trajets du granulat pour le béton hydraulique de la situation initiale (voir la Figure 8) et de l'année 2024 (voir la Figure 11), on note de plus grandes distances parcourues en 2024. La part Île-de-France passe de 49,3 % dans la situation initiale à 27,4 % en 2024. La dépendance de l'IDF s'est donc largement accrue dans cette configuration.

Pour les granulats destinés aux réseaux et aux sous-couches de chaussée, la dépendance de l'IDF est légèrement plus importante (voir la Figure 12). Le déficit de l'offre est alors d'environ 1,75 Mt.

Enfin, pour les matériaux destinés aux bétons bitumineux, la situation est quasi identique en 2024 (voir la Figure 13 de la page 117) à la situation actuelle (voir la Figure 10), car il n'y a aucune ressource en IDF. L'essentiel des tonnages arrive alors toujours par le rail.

### Résultats pour le scénario 2024 amélioré

Un exemple est donné ici à titre d'illustration sur les pos-



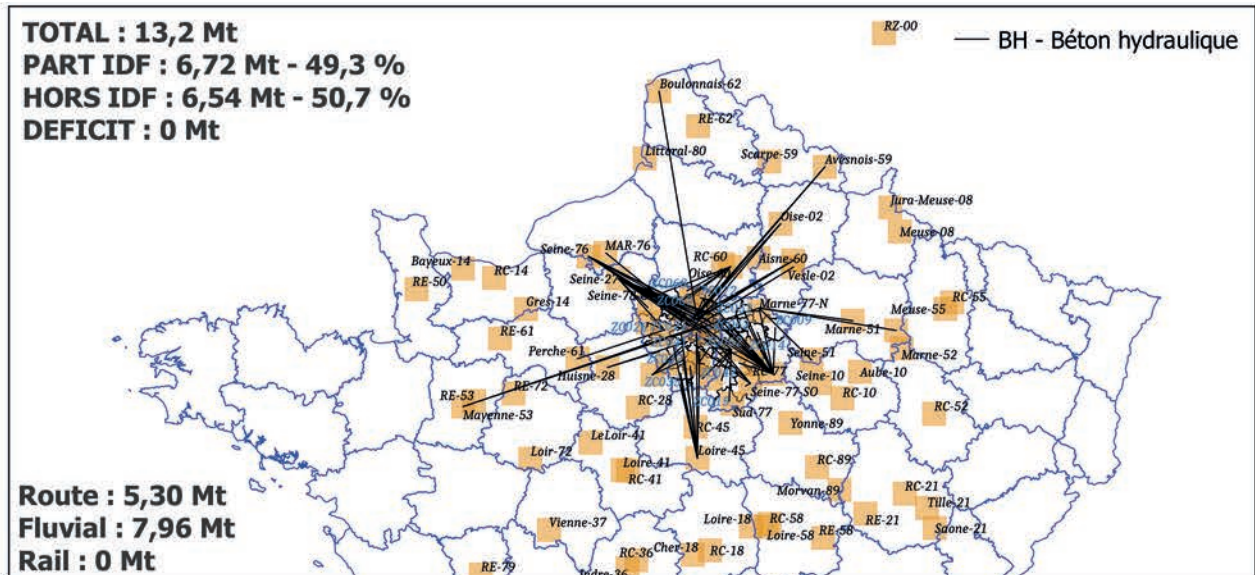


Figure 8 : Carte des flux de granulats pour le BH dans la situation initiale.

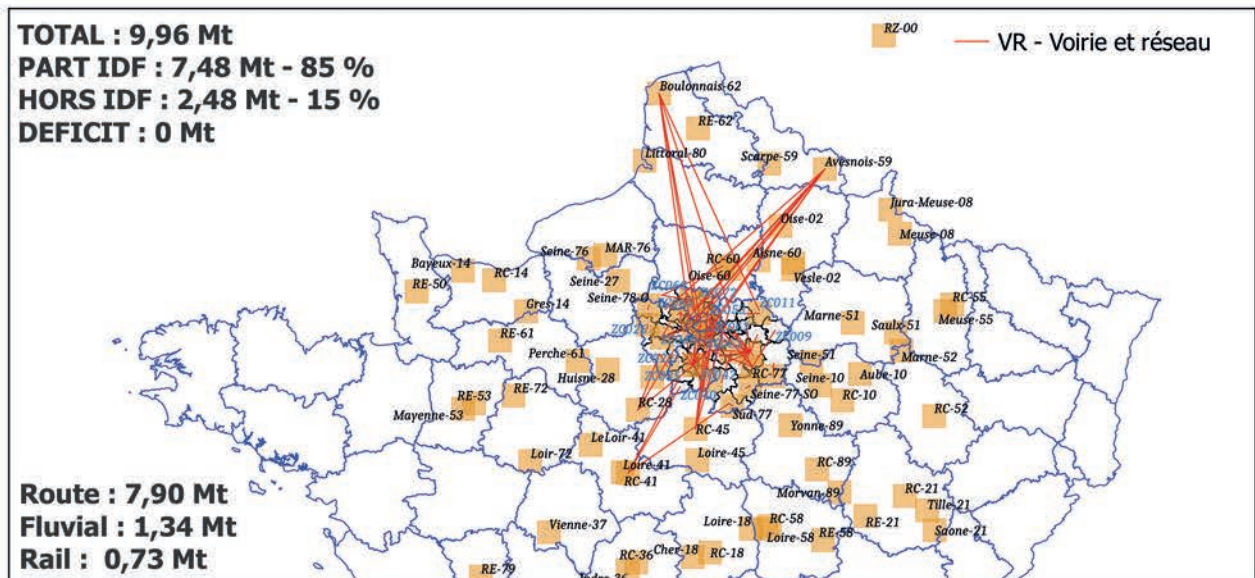


Figure 9 : Carte des flux de granulats pour le VR dans la situation initiale.

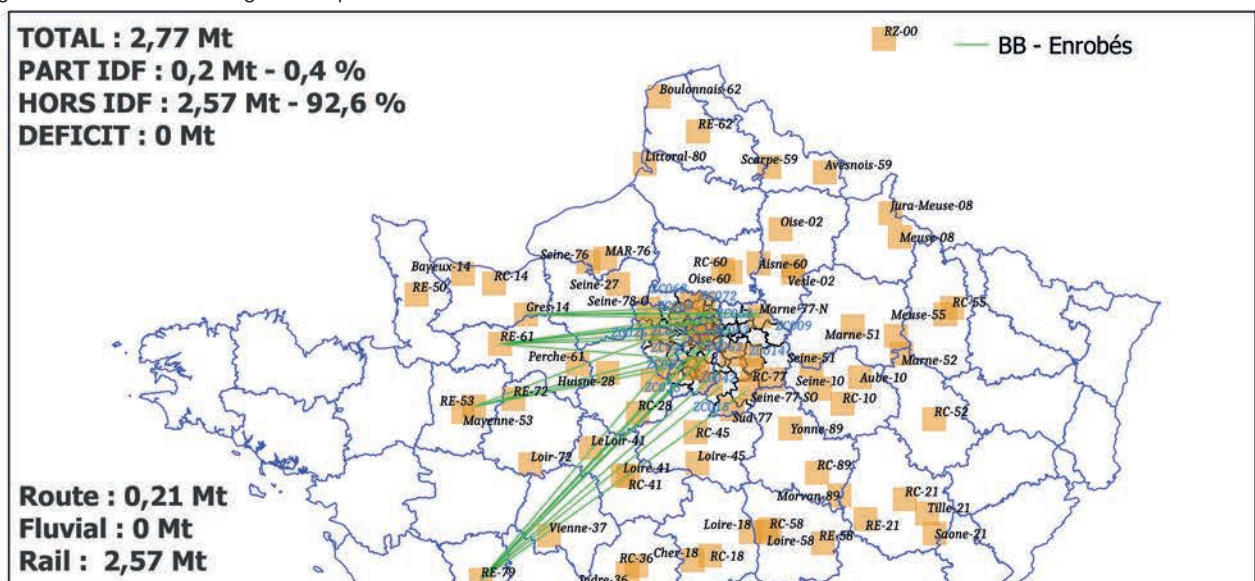


Figure 10 : Carte des flux de granulats pour le BB dans la situation initiale.

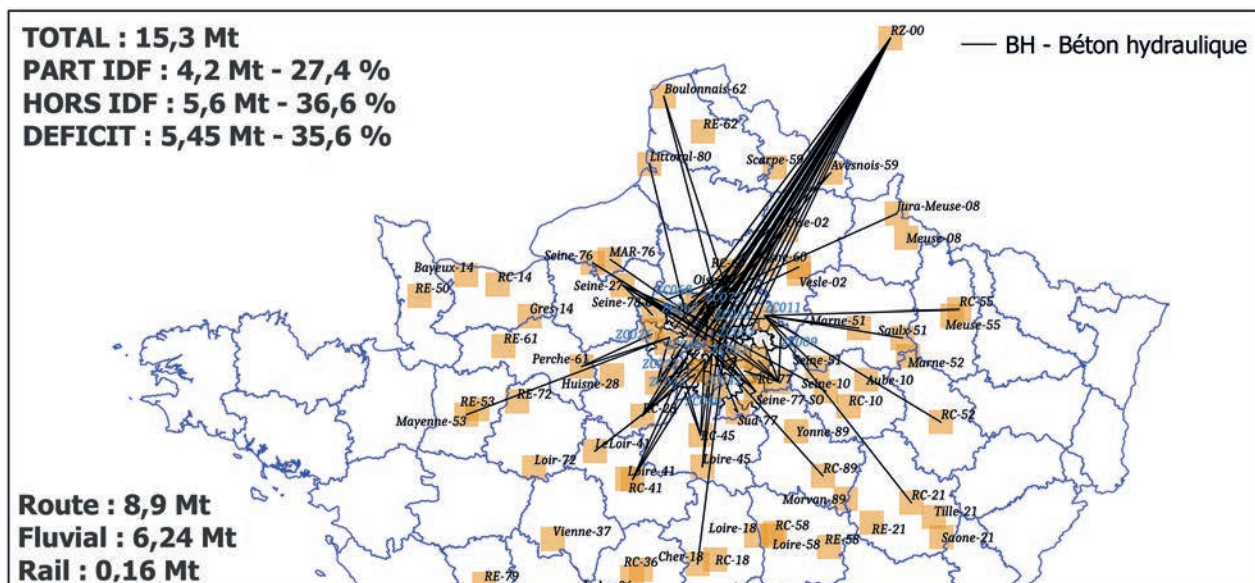


Figure 11 : Carte des flux de granulats pour le BH au titre de l'année 2024.

sibilités offertes par le simulateur. Il n'a pas la prétention de représenter la solution qui sera adoptée, mais plutôt l'une des solutions envisageables, et, surtout, il doit aider l'utilisateur du simulateur à imaginer d'autres solutions.

Plusieurs améliorations du marché peuvent être testées de manière simultanée :

- afin de réduire le déficit des matériaux de type VR, on implante plusieurs plateformes de tri et de recyclage à proximité des chantiers du Grand Paris ;
- afin de réduire le déficit des matériaux de type BH, on augmente la production de granulats marins, ainsi que la mise à disposition de ces granulats vers l'Île-de-France ;
- enfin, l'ensemble des carrières autorisées en Île-de-France, ainsi que ceux de la deuxième couronne, produisent 5 % de plus en termes de production moyenne.

Avec ces améliorations, le déficit des granulats destinés

au béton hydraulique est largement réduit. Quelques carrières, situées à plus longue distance, contribuent à assurer l'offre en granulats (les prix devraient donc augmenter, puisque le transport représente une part importante de ceux-ci). Le déficit en matériau VR est encore important, alors que le recyclage représente dans ce calcul plusieurs millions de tonnes. L'approvisionnement en matériaux pour les bétons bitumineux semble satisfait avec l'apport des carrières habituellement sollicitées. Le transport combiné rail/route pour ce type de matériaux est la voie privilégiée dans tous les scénarios.

### Exploiter pleinement les potentialités du simulateur

Comme on l'aura compris, l'outil proposé est fondamentalement un simulateur qui propose une solution (mathématiquement optimale au sens du coût global) en termes de flux dans le respect des données, notamment les consommations affichées et les productions disponibles

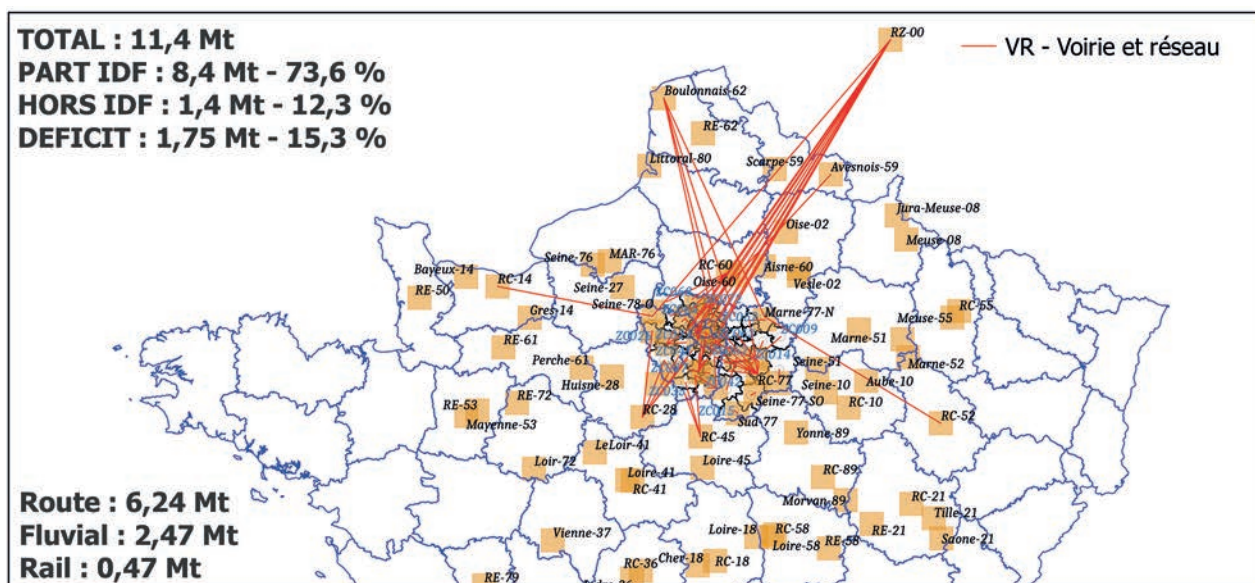


Figure 12 : Carte des flux de granulats pour le VR au titre de l'année 2024.



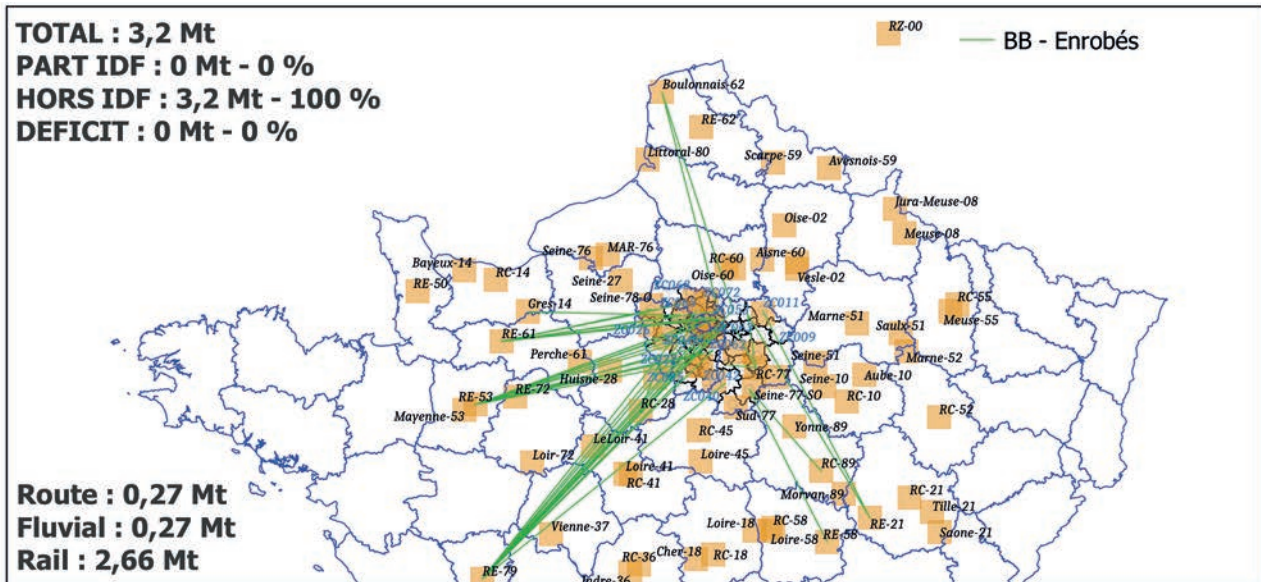


Figure 13 : Carte des flux de granulats pour le BB au titre de l'année 2024.

et leurs usages, qui sont alors autant de contraintes. Ainsi, le simulateur ne va pas « spontanément » augmenter les niveaux de production de certains bassins pour pallier les déficits constatés, mais il s'évertuera – c'est son rôle – à simuler les flux obtenus selon les « pistes » suggérées par l'utilisateur qui aura adapté ses données de production. C'est l'utilisateur qui a la main, il convient donc de voir comment.

Jouer sur les volumes de consommation présente certes un intérêt. Dans ce scénario du Grand Paris Logements, il est possible d'explorer une autre année que 2024 pour évaluer une distribution spatio-temporelle différente de la demande. En effet, le développement de tronçons d'infrastructure et la densification des logements obéissant à des échéanciers, on pourrait proposer un schéma d'approvisionnement adapté. On peut également pousser l'exercice en imaginant une réduction plus ou moins significative de la demande en granulats suite à leur substitution par un matériau de construction considéré comme moins impactant pour en évaluer l'effet sur les flux. Force est cependant d'admettre que c'est dans la recherche d'une solution d'approvisionnement nouvelle que se trouve l'apport principal de l'outil.

Les flux « optimaux » générés par le solveur sont par construction très sensibles aux coûts. Le coût est la somme d'un coût départ et d'un coût de transport. Le coût de départ, assimilable à un prix de vente (c'est-à-dire confidentiel), a été en quelque sorte « standardisé », il a donc peu d'influence. Un utilisateur averti pourra vérifier l'effet d'un *dumping* sur une sélection de bassins de production pour évaluer leur capacité à pénétrer le marché de l'IDF. Les coûts de transport sont directement liés au schéma modal et encore plus intimement à la distance. À ce titre, agir sur la disponibilité des tronçons, voire leur capacité, et leurs coûts relatifs offre la possibilité aux décideurs institutionnels d'évaluer l'impact des transports dits alternatifs, les gains potentiels de CO<sub>2</sub> étant liés aux

mêmes ordres de grandeur que les coûts.

La principale variable sur laquelle l'utilisateur doit agir est l'offre, en d'autres termes le tonnage maximal que chaque bassin peut fournir pour approvisionner la demande de l'IDF.

Cette offre est la résultante d'une production technique, forcément limitée, voire maximale pour le bassin considéré, et du taux de disponibilité de celle-ci (voir le paragraphe « Fichier des bassins de production ») pour satisfaire la demande de l'IDF. C'est l'effondrement de la production technique des bassins, à l'échéance de l'autorisation d'exploitation sur plusieurs sites, qui conduit au déficit possible en 2024. Bien sûr, il s'agit là d'hypothèses et certaines parties prenantes auront des connaissances plus précises sur le renouvellement de certaines autorisations. Mais il ne faut cependant pas négliger le fait que certaines sources pourraient se tarir.

C'est donc le taux de disponibilité de la production de chaque bassin pour alimenter l'IDF qui constitue le principal levier. L'intérêt essentiel de ce taux réside dans l'existence d'un marché local, qui n'est pas explicitement simulé. Si les taux proposés dans la situation initiale sont obtenus à partir des données statistiques disponibles sur les flux, ceux de 2024 sont laissés à la discrétion de l'utilisateur qui aura tendance à générer, plus probablement à accentuer l'effet « domino » induit par le besoin de l'IDF de s'approvisionner à hauteur de 50 % environ hors de sa zone.

La question qui taraude sans doute l'utilisateur est : pourquoi l'outil n'ajuste-t-il pas, toujours aussi spontanément, ces taux ? Tout simplement parce que la méthode n'a pas de « frein ».

En effet, d'un point de vue mathématique, la programmation linéaire a tendance à générer des solutions sur les sommets, donc à saturer les capacités. En pratique, il y a peu de raisons de ne pas prendre 100 %, si c'est per-

mis. Du point de vue du comportement, on a tout intérêt à prendre le maximum de volumes se situant au plus près, c'est la raison même de l'effet « domino ». Il faut d'ailleurs préciser que ce défaut de « gourmandise » est commun à tous les outils.

## Conclusion

Cet article fait donc une synthèse d'une partie du travail réalisé collectivement durant les deux dernières années du programme de recherche AGREGA, un programme coordonné par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Cette partie était dédiée au développement d'un outil informatique pouvant aider à la gestion du marché des granulats de la région Île-de-France. Ce logiciel permet de simuler ce marché dans de multiples configurations et de montrer des flux optimisés par le biais d'un solveur mathématique. Les scénarios ainsi discutés ont mis en évidence le rôle des acteurs clés du marché des granulats : producteurs, consommateurs et transporteurs. La filière complète a toutefois dû être appréhendée, car les interactions avec les autres acteurs sont nombreuses. C'est le scénario « construction du Grand Paris » qui a retenu l'attention des partenaires et des utilisateurs potentiels et qui a donc fait l'objet de simulations. Dans cette étude, les apports de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région IDF ont précisé les données recueillies. L'outil informatique développé par Mines ParisTech a été co-construit avec les autres partenaires du projet. Il a surtout bénéficié de la base de données des producteurs et des consommateurs régulièrement mise à jour par l'UNICEM. Dans ce cadre, le respect de la confidentialité des données individuelles a été garanti par sa fonctionnalité basée sur des données agrégées. Enfin, le département de Recherches en Économie Écologique de l'Université de Versailles a assuré la concertation entre les acteurs, les utilisateurs et les partenaires autour des scénarios envisagés et de l'outil de simulation pour faire émerger les points les plus intéressants ou ceux qui impactent le plus le marché des granulats en Île-de-France. Ainsi, les granulats recyclés, les granulats marins et le transport combiné ont été pris en compte dans les scénarios et dans l'outil de simulation. Leurs impacts ont pu être évalués sur la résolution du marché des granulats. L'analyse thématique ainsi développée a été mise en valeur par le biais d'une interface associée à l'outil créée par Andreil Game.

## Bibliographie

- BERKELAAR M., EIKLAND K. & NOTEBAERT P. (2004), "lp\_solve 5.5", *Open source (Mixed-Integer) Linear Programming system*, <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>
- HAZELLE V., DOROSZCZUK B., DRESS P., GARCIA S., RAFA A. & TOURJANKY L. (2012), *La Soutenabilité du Grand Paris – L'approvisionnement en matériaux du Grand Paris*, DRIEE-IDF, 41 p.
- CORGET R. & ANSELME T. (2013), « Un modèle multimodal intégré pour la prévision des flux de marchandises du BTP », Congrès ATEC-ITS France « Mobilités et transports : évolutions majeures et perspectives d'avenir ».
- RODRIGUEZ CHAVEZ M.-L. (2010), *Anticipation of the access to the aggregate resource by breaking present schemes in the long term*, Thèse de doctorat ParisTech spécialité Technique et Économie de l'exploitation du sous-sol, Mines ParisTech, Centre de Géosciences, 135 p.
- RODRIGUEZ CHAVEZ M.-L., SCHLEIFER J., DUBUS J.-L., LEBRET P. & ANDRIAMASINORO F. (2010), "Innovative macroeconomic modelling techniques for the aggregates market", *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 11 p. <hal-00580712>
- TOUPIN A. (2004), *L'Extraction de granulats marins – Impacts environnementaux, Synthèse bibliographique critique*, La SIM, 188 p.
- CEREMA (2014), *Graves de valorisation – Graves de déconstruction*, guide Rhône-Alpes d'utilisation en travaux publics, direction territoriale Centre-Est, 23 p.
- Conseil régional d'Île-de-France (2013), *Schéma directeur de la région IDF – Île-de-France 2030*, Région IDF-IAU, 6 volumes et cartes.
- Conseil régional d'Île-de-France (2015), *Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics (PREDEC)*, Région IDF, 257 p.
- DRIEE-IDF, IAU-IDF, UNICEM (2017), *Granulats en Île-de-France – Panorama régional*, Corlet, 76 p.
- UNPG (2012), *Situation, enjeux et perspectives du transport et de la distribution des granulats*, 27 p.
- Secrétariat général de la Mer (Version 2.1 – 18 mars 2006), *Extraction de granulats marins*, Document d'orientation pour une politique nationale.



# Modélisation d'un mix électrique avec stockage d'énergie électrique, mais sans énergie fossile

Par Ilarion PAVEL

Conseil général de l'Économie (CGE)

Dans cet article, est présentée une modélisation mathématique d'un mix électrique avec stockage d'énergie électrique, mais sans production d'énergie fossile. Dans diverses hypothèses (maintien de la production nucléaire à 72 %, réduction à 50 % et arrêt complet de la production), on évalue la capacité de stockage, les puissances nécessaires d'énergies solaire et éolienne à installer, ainsi que les coûts associés.

L'objet de cette modélisation est d'évaluer la capacité de stockage et la puissance des installations d'énergies renouvelables éolienne et solaire qui seraient nécessaires pour remplacer complètement les combustibles fossiles dans la production d'énergie électrique en France. Nous allons utiliser les données recueillies par RTE pendant trois années consécutives (2015, 2016 et 2017), concernant la consommation et la production de l'énergie électrique<sup>(1)</sup>.

Dans un premier temps, on consolide la consommation avec les échanges frontaliers, ainsi que la production hydraulique avec le pompage STEP pour obtenir l'équation

suivante :

$$\text{consommation} - \text{échanges} = \text{fioul} + \text{gaz} + \text{charbon} + \text{nucléaire} + \text{éolien} + \text{solaire} + \text{hydro (+ pompage)} + \text{bio.}$$

Le but est alors de remplacer dans l'équation précédente les sources fossiles par de l'énergie éolienne et solaire, ce qui demande, d'une part, l'augmentation de la puissance installée pour ces deux dernières sources d'énergie et, d'autre part, la mise en place de la capacité de stockage nécessaire pour faire face à la variabilité qui les caractérise.

Les variables du modèle sont donc la puissance installée éolienne et solaire (en GW) et la capacité de stockage (en TWh). Chaque demi-heure, on alimente la réserve de stockage avec de l'énergie produite (nucléaire + renouvelable) et, en même temps, on envoie en consommation l'énergie correspondante (voir la Figure 2 de la page suivante), en utilisant les données RTE (on garde pour l'instant constant le niveau de production du nucléaire, de l'hydraulique et de la bioénergie, et on augmente de manière proportionnelle celui de l'éolien et du solaire).

(1) Ces données se présentent sous la forme de relevés de puissances moyennées chaque demi-heure, pendant la durée de l'année : consommation électrique, production d'énergie à partir des sources fossiles (fioul, gaz, charbon), du nucléaire, du renouvelable (éolien, solaire, hydraulique, bioénergies), ainsi que les échanges frontaliers et le pompage par des STEP, soit pour une année : 11 x 17 520 entrées (17 568 sur 2016, qui est une année bissextile).

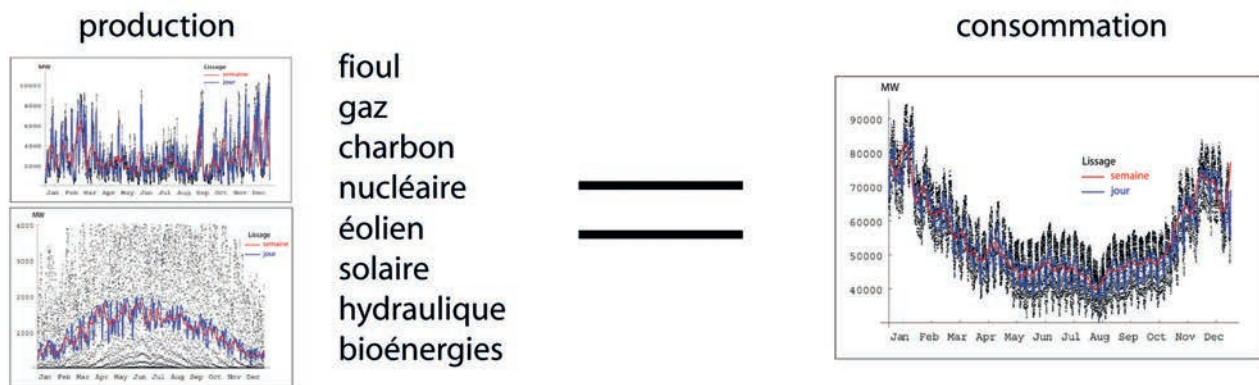


Figure 1.

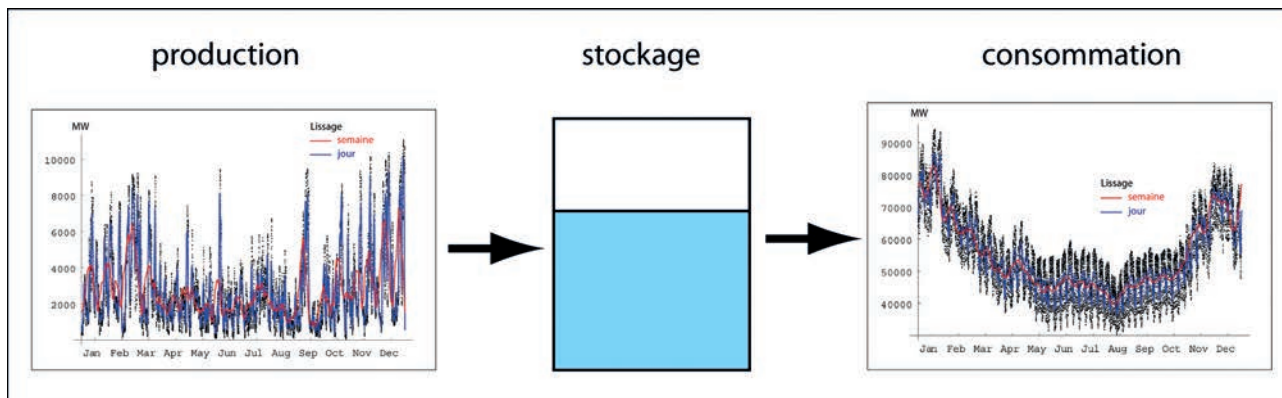


Figure 2.

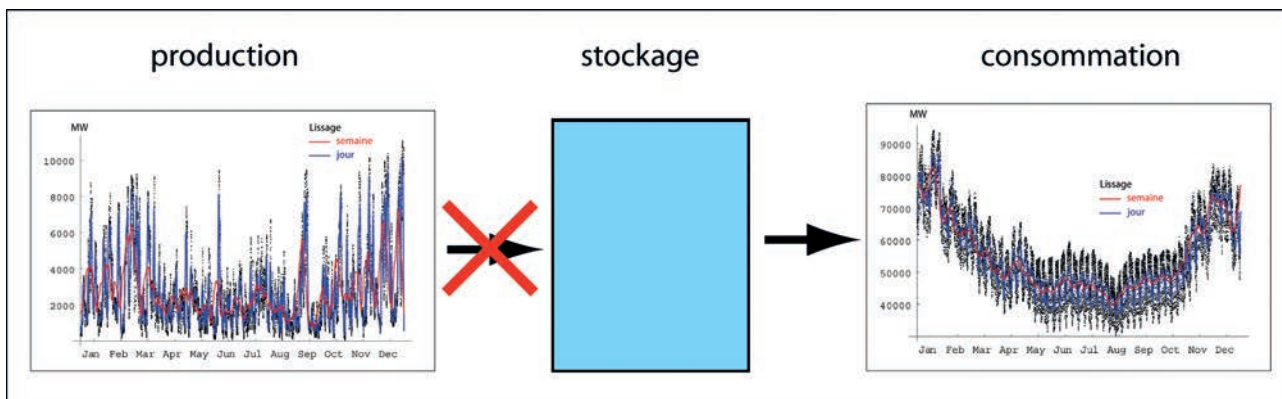


Figure 3.

Dans certains cas, la capacité de stockage est saturée et la production est supérieure à la consommation, on est alors obligé d'arrêter la production de l'éolien et du solaire (effacement de production) (voir la Figure 3 ci-dessus) :

De manière symétrique, la réserve en stockage peut se trouver vide : la consommation étant supérieure à la production, on est alors obligé d'arrêter la consommation (effacement de consommation) (voir la Figure 4 ci-après) :

Deux résultats importants découlent alors de ce modèle : le pourcentage d'effacement de consommation sur l'année, soit le nombre de demi-heures de consommation effacées / nombre de demi-heures de l'année (17 520), et le pourcentage d'effacement de production renouvelable (éolienne et solaire) sur l'année, soit le nombre de

demi-heures de production effacées / 17 520.

Un paramètre secondaire est la réserve initiale de stockage au 1<sup>er</sup> janvier de l'année. On l'a choisie conventionnellement égale à 2 TWh, pour ne pas partir d'un stock égal à zéro pendant un mois d'hiver à forte consommation. En fait, les simulations ont montré que cette valeur a peu d'influence sur les résultats de la modélisation.

Le but de la simulation est alors de déterminer les valeurs de la capacité de stockage et de la puissance installée (éolienne + solaire) permettant d'obtenir des valeurs faibles d'effacement de la consommation (entre 1 et 10 %, par exemple), pour la simple raison qu'il est souhaitable de ne pas léser les consommateurs.

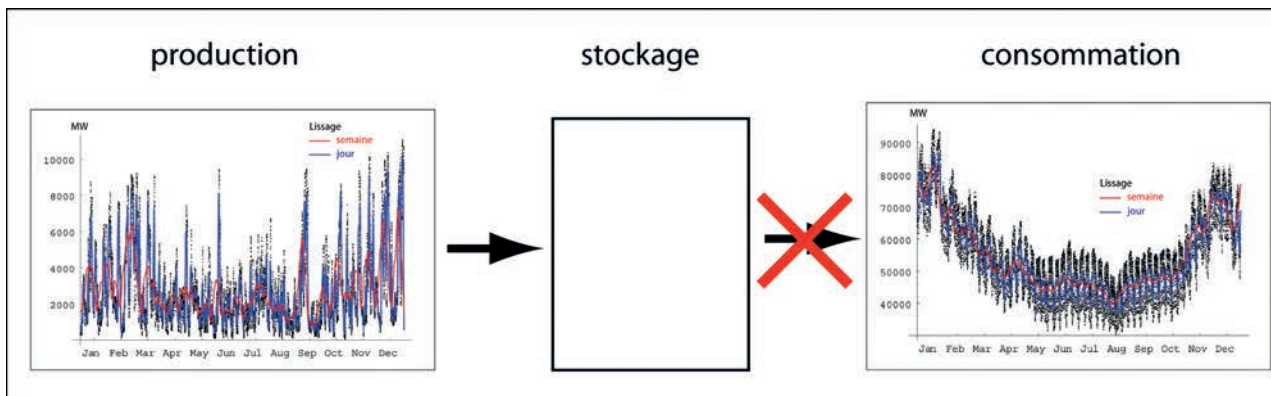


Figure 4.

## Trois scénarios possibles

On va étudier trois scénarios, en fonction de la part du nucléaire dans le mix électrique :

- scénario nuc72 % (nucléaire à 72 %, c'est-à-dire que l'on garde l'intégralité de la capacité de production du nucléaire) ;
- scénario nuc50 % (nucléaire réduit à 50 %) ;
- scénario nuc0 % (on se prive complètement du nucléaire).

L'objectif est de s'affranchir totalement de la production d'électricité à partir des énergies fossiles en augmentant la production de l'éolien et du solaire, tout en maintenant constant le rapport des puissances installées éolien/solaire, calculées à partir des données RTE concernant les puissances installées<sup>(2)</sup>.

## Premiers résultats

Prenons, par exemple, la situation du scénario nuc72 % (données 2017), qui conduit au graphique suivant, avec les courbes d'effacement constant de consommation à 10 %, 5 %, 3 %, 2 % et 1 %.

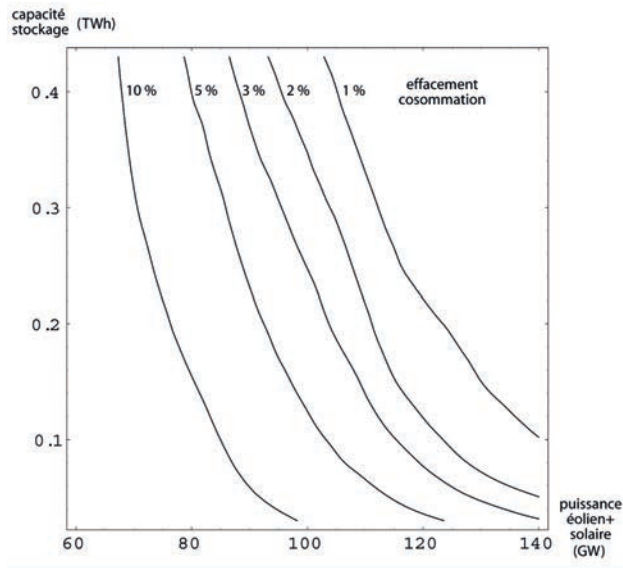


Figure 5.

Pour une courbe d'effacement constant, par exemple celle de 1 %, on pourrait alors se placer soit sur sa partie haute (forte capacité de stockage, mais une plus faible puissance installée), soit sur sa partie basse (forte puissance installée, mais une plus faible capacité de stockage).

## Considérations économiques

Pour déterminer la position optimale sur cette courbe d'effacement constant, on doit faire appel à des considérations économiques. Il sera alors judicieux de minimiser les dépenses nécessaires à l'augmentation de la capacité de production et à la mise en place d'un système de

(2) Les puissances installées sont indiquées dans l'annexe en fin de cet article. On obtient alors les valeurs suivantes : 1,67 (en 2015), 1,723 (en 2016) et 1,770 (en 2017).

stockage.

On prend alors des hypothèses couramment observées pour ce type de dépenses : des investissements dans les capacités de production (éolien et solaire) de 1 M€/MW (soit 1 G€/GW) et, pour le système de stockage, de 100 €/kWh (soit 100 G€/TWh).

Le coût total est alors :

Coût total (G€) = investissement production (GW) + 100 \* capacité de stockage (TWh)

Soit, en changeant les unités de mesure :

Coût total (100 G€) = investissement production (100 GW) + capacité de stockage (TWh)

Ce qui correspond à l'équation d'une droite de type :  $x + y = \text{constante}$

Pour une courbe d'effacement constant, trouver le coût total minimal revient à trouver la distance minimale entre l'origine et une droite  $x + y = \text{constante}$ , tangente à cette courbe (voir la Figure 6 ci-dessous).

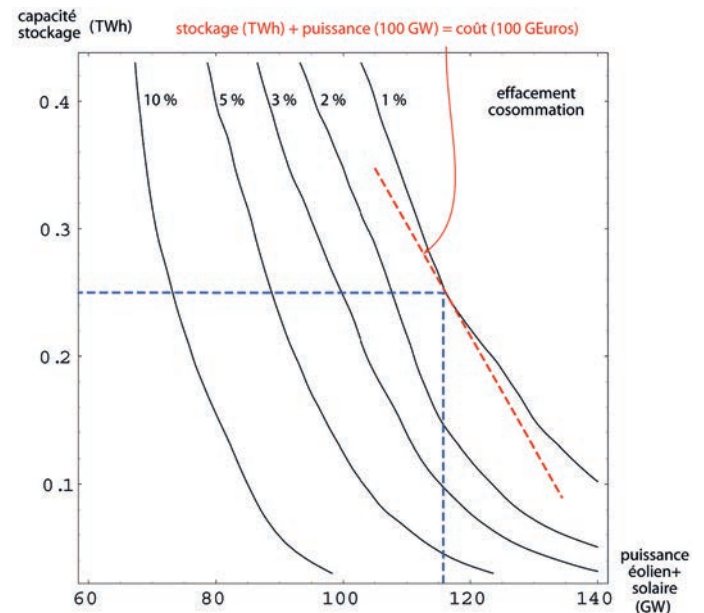


Figure 6.

Dans le cas d'une courbe d'effacement de consommation égal à 1 %, les résultats de la minimisation sont :

- capacité de stockage = 0,245 TWh ;
- puissance nominale = 116,8 GW (dont 74,6 GW éolien et 42,2 GW solaire) ;
- coût = 141,3 G€ (dont 24,5 G€ investissement production énergie).

## Observations

1) Pour simplifier la minimisation, nous avons choisi la même valeur en termes de coût d'investissement pour les capacités de production éolien et les capacités de production solaire. En fait, lors de la construction des courbes d'effacement de consommation, nous pourrions traiter séparément la production d'énergie éolienne et

celle d'énergie solaire (plutôt que de garder leur rapport constant). Dans ce cas, nous n'aurions pas deux, mais trois variables (puissance éolienne, puissance solaire, et capacité de stockage), et nous obtiendrions alors des surfaces bidimensionnelles d'effacement constant plutôt que des courbes. La minimisation du coût total ferait alors intervenir deux valeurs différentes : une pour le coût d'investissement des capacités de production éolienne et une autre pour celui des capacités de production solaire. Pour une surface d'effacement constant, trouver le coût total minimal revient à trouver la distance minimale entre l'origine et le plan tangent à cette surface.

2) Nous avons fait le choix de ne prendre en compte que les coûts d'investissement. Mais il faudrait également introduire le coût d'exploitation des installations. Effectivement, dans un premier temps, l'on peut se contenter pour procéder à l'analyse des coûts d'investissement ; une analyse plus fine pourra être faite lors de travaux ultérieurs afin de prendre également en compte les coûts d'exploitation.

3) Une hypothèse forte du modèle est le fait de considérer que le pilotage fourni par l'hydraulique (pour faire face aux fluctuations de consommation et à la variabilité des productions éolienne et solaire) reste le même quand on arrête la production à partir d'énergies fossiles. Se pose également la question de l'utilisation du nucléaire, au moins partiellement, pour effectuer ce pilotage.

Bref, si l'on arrête la production fossile, la stratégie de pi-

lotage nucléaire + hydraulique serait probablement différente par rapport à la stratégie actuelle, celle retenue dans la modélisation. Dans quelle mesure cela permettrait-il de baisser les capacités de stockage et les puissances installées éolien et solaire ? Cette question pourra être abordée dans le cadre d'une analyse ultérieure.

4) Un problème d'ordre technique du modèle est l'utilisation de variables discrètes concernant l'effacement de consommation (nombre demi-heures d'effacement / 17 520). Cela pourrait impliquer une convexité moins marquée des courbes d'effacement de production, avec un effet négatif sur la minimisation des coûts, surtout pour les courbes de faible valeur d'effacement de consommation (1 %).

Comme nous le verrons par la suite, la minimisation du coût total sur trois années consécutives aboutit à des valeurs très proches. En revanche, il existe une certaine dispersion entre les valeurs de la capacité de production et celle de stockage. Nous avons observé que, successivement, sur les trois années, une plus faible valeur de l'une est compensée par une plus forte valeur de l'autre, pour aboutir finalement à un coût total pratiquement constant, ce qui est visiblement le signe d'une faible convexité.

Il serait alors intéressant de refaire cette simulation en remplaçant les variables discrètes de l'effacement de consommation par des variables continues : par exemple, le « déficit d'énergie » = énergie consommée - énergie produite - stockage.

## Résultats

### Année 2015

#### 1) Scénario nuc72 %

On garde un même niveau de production de nucléaire, d'hydraulique et de bioénergie. On enlève les énergies fossiles (fioul, gaz, charbon) que l'on remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,67).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	0,331	68,7	43,0	25,7	101,9	33,1	73,6
2	0,254	65,9	41,2	24,7	91,2	25,4	71,7
3	0,172	66,0	41,3	24,7	83,2	17,2	72,4
5	0,107	65,0	40,7	24,4	75,8	10,7	72,8
10	0,070	56,8	35,5	21,3	63,8	7,0	67,2

#### 2) Scénario nuc50 %

On réduit la part du nucléaire à 50 % ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,67).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	1,062	213,3	133,4	79,9	319,5	106,2	60,6
2	0,669	216,1	135,2	80,9	283,1	66,9	61,9
3	0,455	215,7	134,9	80,8	261,3	45,5	62,2
5	0,441	188,3	117,8	70,5	232,4	44,1	53,3
10	0,231	170,7	106,8	69,9	193,8	23,1	47,4



## 3) Scénario nuc0%

On se passe complètement du nucléaire ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,67).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	2,431	489,1	305,9	183,2	732,3	243,1	58,0
2	1,557	480,0	300,2	179,8	635,7	155,7	57,4
3	1,043	481,9	301,4	180,5	586,1	104,3	58,0
5	0,605	464,6	290,6	174,0	525,1	60,5	56,4
10	0,523	384,0	240,2	143,8	436,2	52,3	43,1

## Année 2016

## 1) Scénario nuc 72 %

On garde un même niveau de production de nucléaire, d'hydraulique et de bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,723).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	0,303	96,9	61,3	35,6	127,1	30,3	73,6
2	0,171	97,2	61,5	35,7	114,3	17,1	74,4
3	0,130	94,3	59,7	34,6	107,3	13,0	73,5
5	0,084	88,0	55,7	32,3	96,4	8,4	70,7
10	0,072	74,3	47,0	27,3	81,5	7,2	62,6

## 2) Scénario nuc50 %

On réduit la part du nucléaire à 50 % ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,723).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	0,842	213,8	135,3	78,5	298,1	84,2	58,3
2	0,504	211,9	134,1	77,8	262,3	50,4	58,3
3	0,364	209,6	132,6	77,0	246,0	36,4	57,9
5	0,263	197,1	124,7	72,4	223,4	26,3	54,2
10	0,222	169,7	107,4	62,3	191,9	22,2	44,0

## 3) Scénario nuc0 %

On se passe complètement du nucléaire ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,723).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	2,188	454,4	287,5	166,9	673,2	218,8	48,5
2	1,310	454,8	287,8	167,0	585,8	131,0	49,1
3	0,904	454,6	287,7	166,9	545,0	90,4	49,5
5	0,544	445,0	281,6	163,4	499,4	54,4	48,9
10	0,497	383,5	242,7	140,8	433,2	49,7	38,8

## Année 2017

### 1) Scénario nuc72 %

On garde un même niveau de production de nucléaire, d'hydraulique et de bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,770).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	0,245	116,8	74,6	42,2	141,3	24,5	75,3
2	0,154	114,9	73,4	41,5	130,3	15,4	74,9
3	0,151	108,8	69,5	39,3	123,9	15,1	72,8
5	0,168	95,2	60,8	34,4	112,0	16,8	65,4
10	0,093	85,6	54,7	30,9	94,9	9,3	60,4

### 2) Scénario nuc50 %

On réduit la part du nucléaire à 50 % ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,770).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	0,603	264,3	168,9	95,4	324,6	60,3	67,4
2	0,403	261,6	167,2	94,4	301,9	40,3	67,3
3	0,363	241,6	154,4	87,2	277,9	36,3	62,7
5	0,367	212,4	135,7	76,7	249,1	36,7	54,8
10	0,248	186,5	119,2	67,3	211,3	24,8	46,8

### 3) Scénario nuc0%

On se passe complètement du nucléaire ; on garde au même niveau l'hydraulique et la bioénergie. On enlève le fossile (fioul, gaz, charbon) et on le remplace par de l'éolien et du solaire (on garde le rapport éolien/solaire = 1,770).

Effacement consommation (%)	Capacité stockage (TWh)	Puissance totale (GW)	dont éolien (GW)	dont solaire (GW)	Coût (G€)	dont investissement	Effacement production (%)
1	1,483	581,8	371,8	210,0	730,1	148,3	62,9
2	0,950	579,4	370,2	209,2	674,4	95,0	63,1
3	0,898	530,9	339,2	191,7	620,7	89,8	57,9
5	0,804	477,0	304,8	172,2	557,4	80,4	51,5
10	0,648	409,0	261,3	147,7	473,8	61,3	40,9

#### Scénarios pour 1 % effacement consommation

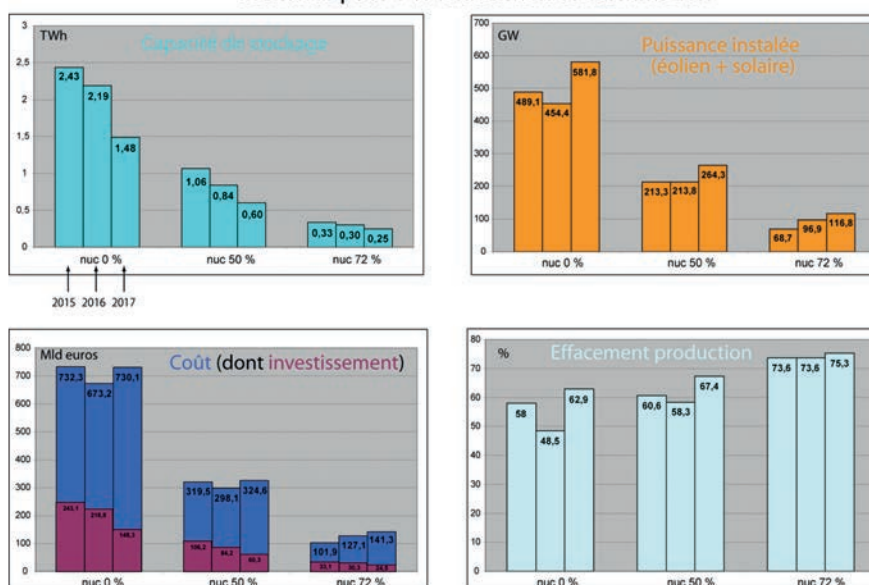


Figure 7.

## Conclusions

L'analyse suivante prend en compte l'effacement de consommation à 1 %, cela représente néanmoins plus de trois jours et demi de coupure d'électricité par an. On prend ensuite en compte les valeurs moyennes sur les trois années des résultats de la simulation : coût total, puissance installée, capacité de stockage et effacement de production.

### Scénario nuc0 %

- Le coût total de ce scénario se situe autour de 700 Md€, ce qui représente environ 30 % du PIB de la France.
- La puissance installée est de près de 500 GW, soit environ 320 GW d'éolien et 180 GW de solaire, ce qui correspond à une augmentation d'un facteur 23 par rapport à la capacité actuelle. Avec une limite supérieure du flux moyen d'énergie solaire de 25 W/m<sup>2</sup>, cela demande une surface d'au moins 7 200 km<sup>2</sup>, et du flux moyen d'énergie éolienne de 2-3 W/m<sup>2</sup>, il faut donc prévoir de mobiliser une surface de 130 000 km<sup>2</sup> (soit 23 % de la surface de la France !).
- Une valeur faible de l'effacement de consommation conduit à une forte valeur de l'effacement de production (55 %).
- La capacité de stockage est relativement élevée (2 TWh) ; se pose alors la question de sa faisabilité technique.

Une telle solution énergétique est irréaliste.

### Scénario nuc50 %

- Le coût total diminue de plus d'un facteur 2 par rapport au scénario précédent (nuc0 %).
- La puissance installée (éolien et solaire) diminue de moitié.
- La capacité de stockage est réduite d'un facteur 2,5.

Mais les 150 GW d'éolien de cette solution nécessitent de mobiliser une surface correspondant à 60 000 km<sup>2</sup> (soit 10 % de celle de la France). De même, cette solution repose sur de fortes valeurs d'effacement de production (60 %).

Le déploiement de l'éolien sur une telle surface semble peu probable.

### Scénario nuc72 % (situation actuelle)

- Le coût total diminue d'un facteur 2,5 par rapport au scénario précédent (nuc50 %).
- La puissance installée (éolien et solaire) est réduite d'un facteur 2,4.
- La capacité de stockage, quant à elle, baisse d'un facteur 2,8.

Mais les 60 GW d'éolien de cette solution nécessitent de mobiliser une surface de 25 000 km<sup>2</sup> (soit 4,5 % de la surface de la France). Une solution qui repose, elle aussi, sur de fortes valeurs d'effacement de production (70 %).

Il reste à vérifier si le déploiement de l'éolien sur une telle surface est réaliste et si le financement de cette solution reste possible, son coût total étant de 120 Md€, soit plus de 5 % du PIB de la France.

## Annexe

### Puissances installées en France (données RTE)

Puissance	2015		2016		2017	
	MW	%	MW	%	MW	%
Fioul	8 645	6,7	7 137	5,5	4 098	3,1
Gaz	10 901	8,4	11 712	9,0	11 851	9,1
Charbon	3 007	2,3	2 997	2,3	2 997	2,3
Nucléaire	63 130	48,8	63 130	48,3	63 130	48,3
Éolien	10 312	8,0	11 670	8,9	13 559	10,4
Solaire	6 191	4,8	6 772	5,2	7 660	5,9
Hydraulique	25 421	19,7	25 482	19,5	25 517	19,5
Bioénergies	1 703	1,3	1 910	1,5	1 949	1,5
Total	129 310		130 118		130 761	

# Air pollution

## Introduction

Jean-Luc Laurent, engineer from the Corps des Mines

## Air pollution: Problems

### Air pollution, a general presentation

Sophie Vaslin-Reimann, LNE

The general context of air pollution is presented in relation to its sources. Its multiple origins are pointed out along with the national and international efforts made to reduce this form of pollution.

### The effects of air pollution

Eva Leoz-Garziandia, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA)

By shedding light on the effects associated with pollution of the atmosphere, public policies can, thanks to public awareness, be adopted to protect the points of impact of pollution, namely human health and the environment or, more broadly, ecosystems as a whole. Several national and international studies help us estimate the number of exposed persons and better understand how this pollution acts on human health. The impact of atmospheric pollution on natural and farming ecosystems is being monitored in Europe, and knowledge about it is advancing. Besides the effects observed on various types of environments, air pollution also has major economic consequences. Since climate change and air pollution are tightly related, the actions for reducing emissions must be identified that will help to deal with both.

### Reducing emissions in the air from industrial plants

Jean-Luc Perrin, Department of Risk Prevention, Ministry of Environmental Transition and Solidarity

The industrial plants likely to be a danger for the environment fall under French legislation on "classified installations". Approximately 1600 inspectors enforce this legislation by investigating demands for permits and prescribing the regulations (to the department's prefect) for overseeing operations locally. These technicians regularly inspect these plants and eventually propose modifying the rules prescribed. They are assisted in their everyday work by teams from the Ministry and DREAL's regional headquarters. Furthermore, they may rely on public establishments and agencies for granular appraisals by experts. Thanks to this organization, emissions into the air from industrial installations have been curbed through the investments made by the industries concerned in compliance with the EU directive for regulating long-distance, crossborder air pollution. Initially centered around installations, this legislation has evolved toward regulating complex "objects" such as industrial platforms and dealing with risk reduction and emissions on this scale. The inspection chain from the Ministry down to

inspectors allows for handling problems locally in line with national plans and strategies.

### The impact of air pollution on human health

Jorge Boczkowski & Sophie Lanone, INSERM and Paris-Est Créteil University

The exposure to high levels of air pollution – a major health-related environmental risk – affects not only the respiratory but also the cardiovascular and central nervous systems. It is noteworthy that these effects depend on air quality and, too, on the persons affected and their vulnerability (children, the aged, patients with preconditions, etc.). The pollutants usually associated with these harmful effects on health are: gases (ozone, sulfur and nitrogen oxides...) and particulates. A major difficulty comes from the complexity of the atmosphere's composition. Innovative experimental procedures are needed to better understand these effects; and efforts must be sustained for protecting the population from the noxious effects of air pollution.

### Reinforcing the fight against air pollution

Charlotte Lepitre, France Nature Environnement

Air pollution has been recognized as a social issue and a cause of risks to health and the environment, but several points must be reinforced to cope with this menace. First of all, monitoring so as to identify pollutants and the sources of emissions will provide a guide for research and, too, for communications and actions. There is also a strong need to reinforce information: providing the right information and the keys for interpreting it in relation to the targeted public are factors that raise awareness and spawn actions. When facing a threat, the major goal is to eliminate, or at least curb, it. Once the data have been collected and awareness has grown, the next step is to act to reduce the sources of emissions or, at least, exposure to them. By tightening surveillance, reinforcing information and solidifying the determination of stakeholders, there is no doubt but that a genuine policy for reducing air pollution will work.

## Public policies

### European policies

Daniel Calleja Crespo, director-general of the Environment, European Commission

Every year, ambient air pollution causes more than four million deaths in the world. In Europe, it accounts for four hundred thousand deaths per year, while exacerbating chronic illnesses such as asthma, cardiovascular problems and lung cancer. Its very high cost, approximately €24 billion per year in the European Union, is due to: health expenditures, days of work lost, and damage to crops and buildings. What is the EU doing to fight against this omnipresent calamity? What share of responsibility



does France have? What is the European Commission (the guardian of European treaties) doing to protect EU citizens? The author, director-general of the Environment to the European Commission, recounts the history of this sensitive issue and discloses the factors underlying breaches of EU law, which now concern about twenty member states.

### French policies for fighting against air pollution

**Loïc Buffard**, DGEC, Ministry of Environmental Transition and Solidarity

Atmospheric pollution, one of the leading environmental preoccupations of the French, is the second cause of mortality after tobacco, and the first cause of passive mortality. Public interventions are a sensitive issue, since the emissions of several pollutants must be reduced while taking into account complex chemical phenomena in the atmosphere. It is, above all necessary to reduce diffuse emissions, but such interventions are difficult and expensive. For the sake of efficiency, the priority is to lower the population's exposure to chemicals by using all available levers from the international down to the local level. Given the keen resistance, the population must be mobilized; and its awareness of this issue, raised. Strong public actions are indispensable, but they will not vouchsafe the right of everyone to breathe healthy air unless the question of air pollution is fully integrated in policies of urban planning and territorial development.

### Four years afterwards, an update on "Dieselgate"

**Cédric Bozonnat**, DGEC, Ministry of Environmental Transition and Solidarity

In September 2015, the US Environmental Protection Agency accused Volkswagen of having equipped its diesel vehicles with software for circumventing emission controls. The investigations conducted in France (by the committee set up by Minister Ségolène Royal) and similar studies carried out in other countries have found that several vehicles of various brands had emissions far above the legally set limits. Automakers in Europe called back more than ten million motor vehicles. As a consequence of this scandal, known as "Dieselgate", European lawmakers accelerated their efforts to control such emissions: in particular, by requiring a new set of tests under real driving conditions. Manufacturers are under an obligation of transparency with respect to their strategy for reducing emissions from their vehicles. Each member state has to set up effective market oversight by conducting tests on vehicles in service. In addition to tighter controls on emissions of air pollutants, Europe also intends to regulate CO<sub>2</sub> emissions from motor vehicles. It has set an ambitious calendar for automakers: reduce emissions from new vehicles by 37.5% in 2030.

### Indoor air pollution: From knowledge to action

**Nadia Herbelot**, ADEME

We spend 80% of our time indoors: in houses, transport, offices, schools, factories, etc. A major public health issue is to improve our knowledge about the quality of indoor air.

France is drafting its fourth National Health Environment Plan ("My environment, my health") under the auspices of the ministries of the Environmental Transition and of Health; and this topic has been made a priority and emblem. Nonetheless, knowledge about the quality of indoor air in specific environments, about its determinants and effects on people, is still piecemeal, even though awareness of this issue has grown during the past ten years. Research on these environments has to be pursued so that each party can identify drawbacks and levers, and effectively act to preserve and improve indoor air quality.

### Air pollution in China

**Bertrand Bessagnet**, Futuris Environment Ltd – INERIS

Over the past two decades, China has undergone an economic growth unprecedented in modern times and switched from being a developing country to being a driving force in many fields of technology for the rest of the world. This rapid development has come along with a rural exodus toward big urban centers, and brought strong pressure to bear on natural resources. It has very much affected air quality. Increasingly drastic measures have limited air pollution and remarkably improved the situation during the past five years. This issue could be addressed thanks to the quality of Chinese researchers in this field, the pragmatism of officials and support from a population who feels concerned. China now ranks as a leader in developing new energy sources and innovative techniques for conserving the environment. Stakeholders are aware of the efforts still to be made, in particular in farming, energy production and storage, and the reduction of both methane emissions and ozone concentrations (which have slightly increased). Efforts must focus on the sectors of energy, mobility (transportation), agriculture and the water supply. As elsewhere around the world, policies for controlling emissions of pollutants will have to be effectively coordinated with policies for fighting against global warming.

### Public policies for fighting against air pollution: The findings of the French Court of Auditors

**Ève Darragon, Marie-Ange Mattei & Julien Marchal**, French Court of Auditors

Released in 2016, the report on French public policies for fighting against air pollution has drawn attention to the impact of this pollution on public health and argued for an ambitious policy to address the issue. However governance in the field of air quality has fallen short. The policies pursued have had contradictory effects, and efforts have varied widely depending on the sector of activity. Successive national plans (never fully implemented) have tended to respond to injunctions from the European Commission more than to provide lasting guidelines for action. Furthermore, an ex post cost-benefit ratio has never been calculated. Since the measures adopted have not enabled France to reach, in many areas, the European thresholds set for the concentration of particulates and nitrogen oxides, the European Commission is undertaking legal action. The French Court of Auditors has pointed to

the need for urgent actions in support of a clear, ambitious, long-term policy, even more so since an EU directive (NEC modified for 2030) has set new objectives for reducing emissions.

### Air pollution: Our health is not always adequately protected

Janusz Wojciechowski & Colm Friel, European Court of Auditors

Under the European Union treaty, the European Court of Auditors is an external body for auditing EU finances. Although its reports are not political, its conclusions and recommendations convey messages for improving the efficiency and effectiveness of the management of public finances. Its recent social report on air quality in the EU, which was also presented during the Climate Summit (COP24) in Katowice, bears such a message. It has had a strong impact on public opinion and spawned articles in the media, both European and international. This hardly comes as a surprise since air pollution is at the origin of the EU's biggest public health crisis. Illnesses related to air pollution account for more than 400,000 premature deaths per year in the Union, mainly in central and eastern Europe. However no adequate response has yet been found. The EU devotes a tiny percentage of its budget to actions for directly improving air quality, while granting much more sizeable means to programs that ultimately deteriorate air quality. The Court's role is not to tell the EU how to spend nor how much to spend, but to verify whether EU funds have been allocated legally and spent as foreseen, and to check their results and value. For the Court, the key priorities are the sustainable use of natural resources and the adoption of measures in favor of the climate. The aforementioned report was presented prior to the debate on the EU's pluriannual financial framework for 2021-2027. We can expect that the European Parliament and Council will take it under consideration when setting budget priorities. The acceptance by the European Commission of the Court's remarks and recommendation should reinforce the audit's social impact. A presentation of this audit's major findings along with its recommendations...

### Associations certified for monitoring the quality of the air: At the service of local authorities who want to improve air quality

Guy Bergé, president of Atmo France

Given 68,000 deaths per year in France, air pollution is an escapable health, economic and political problem and, too, an ever more cogent societal expectation. The responsibility for improving air quality is shared with local authorities. As a lead partner and/or owing to their powers, these authorities help, along with state services, to carry out measures for improving air quality. They can rely on the associations certified for monitoring the quality of the air (AASQA). As a player in national arrangements for monitoring air quality, these associations have acquired a genuine expertise for monitoring, studying and predicting air quality and undertaking actions on it. Their skills are made available to help local officials take account of

air quality in their decisions and communications about urbanism, the quality of life and the environment.

### Local authorities, key players for improving air quality

Nadia Herbelot, ADEME

Despite the noticeable progress made during the past twenty years, the concentration of pollutants in the air is, in some zones (in particular, densely urbanized areas and mountain valleys), higher than the levels set by EU directives on air quality. All branches of the economy pollute the atmosphere. In 2017 for instance, 63% of nitrogen oxides nationwide were emitted by transportation; 97% of ammonia, by farming; and 36% of PM10 particulates, by the residential tertiary sector as compared with 28% by industry, 20% by agriculture and 14% by transportation. However these national statistics cover geographical disparities since, for example, transportation accounted for 34% of PM10 emissions in the Île-de-France Region. There is every reason for conducting actions to reduce air pollution in all branches of the economy and on various scales. Local authorities, given their duties and obligations (PCAET: climate, air and energy plans) as well as their powers (in urbanism, housing, transportation and energy), have levers for undertaking effective actions on air quality.

### Air pollution: What NGOs want

Olivier Blond, Respire

In France, air pollution kills 48,000 people every year and is, therefore, at the origin of a major health crisis. However the government's response, specifically from the Ministry of Health, is not on par with the issue. Evidence of this comes from a comparison with public policies about road safety or against smoking, and from the opinions formulated by administrative courts, the Council of State and even the European Union. NGOs are calling for the adoption of a major national plan against air pollution.

### Measurable, reportable and verifiable standards for national inventories of air pollutants

Jean-Pierre Chang & Nadine Allemand, Citepa

Inventories of emissions of pollutants are necessary to meet reporting requirements under international and European regulations, which are binding on France. These requirements involve drafting public policies for improving air quality and monitoring the measurements made for this purpose. These efforts can be effective only if measurable, reportable and verifiable (MRV) rules are implemented. A detailed description of MRV in making inventories of pollutants is presented....

### Economic issues, technical prospects and research

#### The economic stakes and the costs air pollution

Yves Crozet, professor emeritus, Laboratoire Aménagement Économie Transports, Sciences-Po Lyon

Although air quality has improved continually in Paris, the urban agglomeration experienced in 2018 six episodes

(lasting several days) of pollution above authorized thresholds. This apparent contradiction can be set down to the rising level of requirements, since we now know more about the emissions and concentrations of various types of pollutants and their effects on health. Physical data on morbidity and mortality related to air pollution are being turned into monetary data for calculating costs, thus providing a basis for following economists' recommendations about internalizing external costs (which economic agents do not spontaneously take into account). This internalization occurs in several ways. The most current is via regulations (for example, low-emission zones). However the most effective is pricing which, owing to its effectiveness, spurs several forms of opposition.

### Regulatory and tax tools for reducing the emission of pollutants from industry

Paul Bougon & Richard Lavergne, Conseil Général de l'Économie (CGE)

Public authorities use so-called "environmental" regulations and taxes to make economic agents take account in their decisions of the impact of the pollution caused by their businesses and to reduce it. Taking an example in which these two tools were used to reduce the pollutants emitted by industrial plants, an analysis is made of each tool's strengths and weaknesses.

### A historical account of the reduction of sulfur dioxide emissions in French refineries

Franck Chevallier, Union Française des Industries Pétrolières (UFIP)

For a long time now, the oil industry has been committed to improving air quality at its refineries and, too, in relation to the quality of its products. Refineries have undertaken major efforts, technically, organizationally and economically, to reduce emissions into the atmosphere, whether the emissions are made by the refineries or by the customers/users of their products. Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) offers a good example of the progress achieved: emissions during the refining process in France have dropped more than 80% over a thirty-year period, during which the quantity of crude oil refined changed much less. Major investments have been made to adopt the best techniques available to both reduce emissions at the location of refineries and produce petroleum products of an ever improved quality with very little sulfur – thus enabling automakers to develop technology for reducing even more emissions from combustion engines. The refining industry has also developed model-building software and is using it to conduct impact assessments and make predictions during spates of pollution (by relating predictions about the dispersion of smoke and emissions with weather forecasts). The positive effects on air quality are observable. Furthermore, the exceedance of the critical value set as a limit for the concentration of SO<sub>2</sub> in the ambient air now seldom occurs on plant locations and in nearby agglomerations. Given the low levels of emissions and concentrations of SO<sub>2</sub> now achieved in France, any measures for further reductions should be rigorously assessed, since they might push costs higher

for an effectiveness and benefits that are ever smaller.

### Are technological innovations really at the service of air quality and public health?

Caroline Van Renterghem, WAIR

Innovations, each more revolutionary than the others, are continually proliferating to help this breather healthier air. Although these innovations can help us in the short term, only changes of behavior and of policies can settle the problem in the long run.

### Monitoring: Its organization and metrology

Tatiana Macé, LNE

Under the decision of 19 April 2017 on a national program for monitoring ambient air quality, the Central Laboratory of the Surveillance of the Quality of the Air (LCSQA) has to vouchsafe "the accuracy and quality of the data for assessing air quality". To meet this requirement, this laboratory has procedures for checking the reliability and comparability of data over space (France and Europe) and time, and verifying whether they meet European requirements and satisfy the needs of monitoring services. These procedures entail the following actions: a) relating measurements of air quality to national benchmarks; b) involving the LCSQA and AASQA (associations certified for monitoring the quality of the air) in interlaboratory comparisons; c) having the LCSQA carry out technical audits of the AASQAs; and d) verifying the technical compliance of measurement devices with the requirements set by EU standards.

### Measuring pollutants from space

Carole Deniel, CNES, & Camille Viatte, LATMOS/CNRS

Techniques for measuring from space the gases in the atmosphere have constantly improved, and can now be used to probe the lowest layers of the troposphere and monitor air quality. The main tools used from space are high-definition spectrometers, which measure spectral components (from infrared to ultraviolet) to assay the atmosphere's composition. We can no longer do without observations from space, which are combined with measurements from the ground and with models of the atmosphere. Most scientific studies use them, not to mention the software programs for improving our knowledge of physical and chemical processes from the global down to the local scale. The world map of ammonia concentrations – drawn by an IASI from space – has pinpointed significant underestimates in inventories of emissions. Thanks to the European program Copernicus, new services will be offered to help manage environmental crises.

### The current state of research on air quality and its prospects

Gilles Foret, Isabelle Coll & Patrice Coll, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), UMR CNRS 7583, Université Paris-Est-Créteil, Université de Paris, Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Air pollution is still a major environmental problem. Despite

the consequent efforts made to limit it, pollutants are still in the atmosphere at concentrations that cause health problems, especially in Asia and Africa. Although our stock of knowledge about toxicology, epidemiology and the physical chemistry of the atmosphere has considerably improved over the past decades, major doors for science have still not been opened. For solutions to be more effective, we need to better link sources of pollution to their effects. This means improving estimates of the exposure of individuals and obtaining more knowledge about pathologies and the processes associated with them. This calls for multidisciplinary approaches involving several partners: institutions, socioeconomic agents, local authorities and, more directly, citizens.

## Miscellany

### The AGREGA program: An educational tool of market simulations on aggregates in Île-de-France Region

Jacques Schleifer, Bruno Tessier & Isabelle Thénevin, Centre de Géosciences, MINES ParisTech, PSL University; Carole Deneuve & Christine Mallens, UNICEM, & Laurent Goethals, Andreil Game

The “Grand Paris project”, with its railways, tracks, housing and networks will greatly impact the already stretched market of aggregates of the Île-de-France area. In order to mitigate this risk, the stakeholders in this market have been mobilized around a partnership research program named AGREGA and founded by the French National Research Agency. This project has made it possible to develop a

tool for visualizing the fluxes of aggregates. This software package is equipped with a mathematical solver to match the offer to the demand in different configurations. This part has been implemented by Mines Paris-Tech Geosciences Center. The tool relies on an up-to-date and realistic database provided by UNICEM, and a friendly interface designed by Andreil Game inspired from a serious game. In this article, the tool is fully described, the input data, the output files as well as the market resolution method. Finally, the presentation of some results for the current year and 2024 show the societal interest of this approach. This may allow considering a strategy of resource management to meet the qualitative and quantitative needs in raw materials, while limiting the tonnages transported and more generally the environmental footprint.

### Simulating an electricity mix with the storage of current but without fossil fuels

Iarion Pavel, Conseil Général de l'Économie (CGE)

This mathematical model of an electricity mix allows for the storage of electricity but not for the production of current from fossil fuels. Under various hypotheses (that the production from nuclear energy remains at 72%, or falls to 50% or is fully halted), calculations are made of the capacity for storing electricity, the quantity of current that will have to come from solar and wind power, the installations to be built and the related costs.

*Issue editor: Jean-Luc Laurent*



# Ont contribué à ce numéro



D.R

**Nadine ALLEMAND** est directrice adjointe du Citepa depuis 2011. Elle a rejoint cet organisme en 1986 après un parcours universitaire en sciences de l'eau et de l'atmosphère et un doctorat en chimie analytique. Nadine Allemand partage son temps entre activités techniques et activités plus administratives, et participe

au développement de coopérations à l'étranger. Elle a une vaste expérience des problématiques de pollution atmosphérique et des politiques et mesures visant à réduire les émissions pour, notamment, améliorer la qualité de l'air et atténuer le changement climatique.

Entre autres tâches, elle dirige le secrétariat technico-scientifique de la Task Force on Techno-Economic Issues (TFTEI) de la Convention Air (CLRTAP) de la Commission économique de l'Europe des Nations Unies (CEE-NU) et participe à de nombreux travaux dans le cadre de cette Convention, notamment au sein de l'organe exécutif, l'organe de décision de la Convention.

Récemment, elle a été responsable d'une assistance technique pour le MTES relative à une aide à la décision pour l'élaboration de la Stratégie nationale de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) en France avec l'INERIS et d'un appui technique similaire pour la DRIEE pour la mise au point du PPA de l'Île-de-France. Elle a été chef de projet d'un jumelage France/Serbie pour la mise en œuvre du règlement européen relatif à un mécanisme pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre (MMR). Elle travaille actuellement sur des projets relatifs à la lutte contre la pollution atmosphérique en Serbie et en Turquie.

Sur proposition du ministre chargé de l'Aviation civile, Nadine Allemand a été désignée membre du collège de l'ACNUSA lors du Conseil des ministres du 12 septembre 2018 en tant que personnalité compétente en matière d'émissions atmosphériques de l'aviation. Elle y consacre environ deux jours par mois, en dehors de son temps au Citepa.



D.R

**Guy BERGÉ** est le président de Atmo France. Il est vice-président de Metz Métropole en charge de l'Environnement et du Développement durable et est maire de Jussy (Moselle).

**Bertrand BESSAGNET** a exercé en tant qu'ingénieur/chercheur à l'Institut national de l'environnement et des risques industriels (INERIS), qu'il a rejoint en 2001 après



D.R

avoir terminé son doctorat dans le domaine de la physique et chimie de l'atmosphère obtenu en 2000 à l'Université Paul Sabatier de Toulouse. En 2015, il a obtenu son HDR en sciences de l'atmosphère à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris). Il est ingénieur en génie chimique de l'Institut polytechnique de

Toulouse (deux masters obtenus en 1997). En octobre 2018, il devient le directeur R&D de la société FUTURIS ENVIRONMENTAL Ltd. basée à Hangzhou (Chine). Ses principales compétences sont la gestion de la qualité de l'air, la modélisation, les émissions de polluants, le changement climatique et la météorologie.

À l'Ineris, il était responsable de l'unité Modélisation de la qualité de l'air et cartographie environnementale (10-15 ingénieurs) chargée du développement et de la mise en œuvre d'outils numériques pour la surveillance et la gestion de la qualité de l'air. Il était précédemment chargé d'affaires scientifiques en charge du développement des activités scientifiques sur la qualité de l'air et des partenariats internationaux.

Bertrand Bessagnet contribue au niveau national au développement du modèle de transport de chimie CHIMERE, en étroite collaboration avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS). Il a été le principal développeur du modèle. Il a participé à la mise en place de la plateforme PREV'AIR, le système national officiel de prévision de la qualité de l'air en France ([www.prevoir.org](http://www.prevoir.org)), et a régulièrement apporté son expertise aux autorités françaises (ministère de l'Écologie) pour la gestion des épisodes de pollution. Il a coordonné un certain nombre de projets européens et internationaux, notamment le projet EURODELTA, un exercice d'intercomparaison de modèles de qualité de l'air dans le cadre de la Convention de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (UNECE) sur le transport à longue distance de polluants atmosphériques.

Il a développé un partenariat avec l'Académie des sciences et technologies de Pékin sur la gestion de la qualité de l'air et développe des collaborations avec les autorités nationales chinoises sur ce thème. Il a participé à de nombreuses collaborations avec des institutions internationales, telles que le NCAR aux États-Unis, le Max Planck Institute en Allemagne, l'IIASA en Autriche et des institutions similaires à l'Ineris dans toute l'Europe grâce à son implication dans la convention de l'UNECE. Il a publié (en tant qu'auteur ou co-auteur) plus de 100 publications en sciences de l'atmosphère se spécialisant sur la qualité de l'air et les particules atmosphériques. Il supervise des doctorants et est régulièrement invité dans des jurys de thèse en Europe. Il est éditeur de la revue *Atmosphere*.



D.R

**Olivier BLOND** est président de Respire, association nationale pour l'amélioration de la qualité de l'air. Il est l'auteur de plusieurs livres, dont *Respirez : solutions contre la pollution de l'air*, aux Éditions Eyrolles, et *Pour en finir avec l'écologie punitive*, aux Éditions Grasset. Il est professeur de santé environnementale à l'Institut catholique de Paris. Il travaille à l'Observatoire mondial des villes pour la qualité de l'air.



D.R

**Jorge BOCZKOWSKI** est médecin pneumologue, ancien directeur de recherche à l'Inserm (DR1) et est actuellement PU-PH de pneumologie, directeur de l'Institut Mondor de recherche biomédicale (IMRB, UMR 955 Inserm – UPEC). Ses travaux de recherche examinent les conséquences respiratoires de l'exposition aux contaminants de

l'environnement, notamment la fumée de cigarette et les nanoparticules manufacturées. Jorge Boczkowski a été coordonnateur de plusieurs programmes de recherche en toxicologie environnementale, et il a participé et participe à différentes instances scientifiques et d'expertise (CSS 6 Inserm, groupe de travail Nanomatériaux de l'IRESP, Commission scientifique de la direction des Risques chroniques de l'Ineris, groupe de veille sur les impacts sur la santé des nanomatériaux au HCSP, Observatoire de micro et nanotechnologies, Comité d'évaluation du programme Contaminants, Écosystèmes, Santé de l'ANR, etc.). Il a été assesseur au Conseil scientifique de l'UPEC (domaine biologie santé). Il est auteur de plus de 150 publications.

**Paul BOUGON** est ingénieur en chef des Mines. Il a rejoint Naval Group en août 2019 et était précédemment chargé de mission au Conseil général de l'Économie, de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies au ministère de l'Économie et des Finances. Il a également exercé des fonctions dans le domaine du contrôle des installations nucléaires. Il est diplômé de l'École polytechnique (promotion 2007) et de Mines ParisTech (2013).

**Cédric BOZONNAT** est ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, diplômé de l'École polytechnique. Il est titulaire d'un master de l'Université de Stanford en ingénierie civile et environnementale.

Il a occupé le poste d'adjoint au chef du bureau des Énergies renouvelables, chargé du solaire, au sein de la direction générale de l'Énergie et du Climat du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Actuellement, il est chef du bureau des Voitures particulières au sein de ce même ministère et de la même direction générale. Ce bureau est en charge notamment de la réglementation technique relative à la sécurité et aux émissions des véhicules.

**Loïc BUFFARD** est polytechnicien et ingénieur des Mines. Il a été chef du service régional de l'Environnement à la direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) de Midi-Pyrénées de 2005 à 2008.

Il a été ensuite en poste au ministère des Finances, au sein de la direction générale du Trésor, puis de la direction générale de Concurrence, de la Consommation et de la Répression des fraudes.

Il est, depuis 2014, sous-directeur de l'Efficacité énergétique et de la Qualité de l'air au ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES).



D.R

**Daniel CALLEJA** est depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2015 directeur général de la DG Environnement à la Commission européenne.

De janvier 2015 à août 2015, il a occupé le poste de directeur général de la DG Marché intérieur, Industrie, Entrepreneuriat et PME.

De février 2012 à janvier 2015, Daniel Calleja a assumé la fonction de directeur général de la DG Entreprises et Industrie.

Il était également l'envoyé spécial européen pour les PME. De février 2011 à janvier 2012, Daniel Calleja a été directeur général adjoint de la DG Entreprises et Industrie, où il était plus particulièrement en charge du marché intérieur de marchandises, de la compétitivité et de l'innovation, ainsi que des négociations internationales et du tourisme. Il était aussi l'envoyé spécial européen pour les PME.

De novembre 2004 à février 2011, il était directeur du transport aérien à la Commission européenne, en charge du marché unique de l'aviation européenne et de ses aspects internationaux. Il a négocié avec succès, au nom de l'UE, l'accord Ciel ouvert entre l'UE et les États-Unis. Durant cette période, il était responsable de la sécurité et de la sûreté aériennes ainsi que du marché intérieur de l'aviation et du ciel unique. Il a été également président du conseil d'administration de l'entreprise commune SESAR. De 1999 à 2004, il a été le chef de cabinet de la vice-présidente de la Commission européenne, Mme Loyola de Palacio qui était responsable du transport, de l'énergie et des relations avec le Parlement européen. Dans ce cadre, il a participé activement à l'élaboration de la politique européenne de transport, notamment par le lancement du Livre blanc sur le transport et d'un ciel unique européen ainsi que par la création de l'Agence européenne de la sécurité aérienne et du programme Galileo.

Entre 1995 et 1999, Daniel Calleja a été le chef de cabinet du Commissaire Marcelino Oreja, qui était responsable des affaires institutionnelles de la politique d'information, de l'audiovisuel et de la culture, ainsi que des négociations du traité d'Amsterdam.

En 1995, il était en charge du poste de conseiller juridique au sein du Cabinet du Président de la Commission européenne, en charge des dossiers de transport, de la concurrence, des aides d'État et du contrôle de l'application du droit communautaire.

Entre 1993 et 1994, il a été conseiller du Commissaire responsable des transports pour les politiques en matière de libéralisation du transport aérien et des aides d'État lors de la restructuration des compagnies aériennes, pour les dossiers concernant la première directive sur l'assistance en escale ainsi que pour la mise en œuvre du troisième paquet aérien et du règlement sur les SIR.

De 1986 à 1993, il a été membre du service juridique de la Commission et a, avec succès, représenté l'institution devant la Cour européenne de justice pour de nombreuses affaires.

Daniel Calleja est l'auteur de plusieurs publications. Il a enseigné le droit européen dans plusieurs universités et instituts de différents États membres.

Daniel Calleja a un diplôme en droit et en administration d'entreprises de l'Université de Comillas (ICADE) de Madrid.



D.R

**Jean-Pierre CHANG** gère l'un des deux départements techniques du Citepa, qui comprend trois unités techniques : unité agriculture/forêt, unité transport et unité support & développement informatique. En outre, il a la responsabilité transverse, tous secteurs au sein du Citepa, de la coordination des inventaires d'émissions nationales

français, gaz à effet de serre (pour la CCNUCC) et les polluants atmosphériques (pour la CLRTAP et directives UE). Cela concerne les différents aspects suivants : développements méthodologiques ; suivi et maintenance du système d'inventaire ; collecte des données et leur traitement ; établissement des rapports et formats de restitution des données pour répondre aux obligations internationales ; contrôle de la qualité et assurance de la qualité ; revues d'inventaire des émissions...

Jean-Pierre Chang justifie d'une longue expérience des inventaires des émissions atmosphériques, ayant été l'un des architectes du projet européen CORINAIR (dans les années 1990) qui avait établi les bases des systèmes nationaux d'inventaire des émissions atmosphériques en Europe. Ce projet Corinair était le volet Air du projet Corine (Coordination de l'information sur l'environnement) qui recouvrait d'autres volets, comme Corine Land Cover, Corine Biotope, etc.

Jean-Pierre Chang est par ailleurs membre du réseau EIONET de l'Agence européenne de l'Environnement. Il est le point de contact technique des inventaires d'émissions français pour les deux conventions des Nations Unies, CCNUCC et CLRTAP. Il a contribué à l'élaboration du guide de bonnes pratiques sur les inventaires du GIEC 2000 et à la conduite d'audits internationaux d'inventaires, en particulier les revues de la CLRTAP. Il est membre de l'Implementation Committee de la CLRTAP pour le suivi des non-conformités des Parties au regard de leurs obligations et engagements.



D.R

**Franck CHEVALLIER** est directeur technique Raffinage, Sécurité et Environnement de l'UFIP, l'Union française des industries pétrolières. Franck Chevallier est diplômé de l'École supérieure de chimie, de physique électronique de Lyon. Il justifie de plus de 25 ans d'expérience dans le secteur pétrolier.

Avant de rejoindre l'UFIP en 2018, il a occupé différentes fonctions au sein du Groupe Total dans des périmètres couvrant la France et l'International : ingénieur recherche environnement, ingénieur procédés sécurité/environnement en raffinerie, responsable sécurité des activités de l'aval gaz, chef de projet construction en raffinerie, expert HSE et chargé de mission réglementations et produits. Depuis 2011, il participe aux travaux du Conseil national de l'air.



D.R

**Isabelle COLL** est professeur en chimie à l'Université Paris Est Créteil. Elle effectue ses recherches au LISA, en modélisation de la pollution atmosphérique. Ses travaux incluent l'évaluation et l'amélioration des modèles de qualité de l'air, mais elle s'implique tout particulièrement dans la mise en œuvre de ces modèles sur des situations urbaines réelles ou fictives, actuelles ou prospectives.

L'objectif est de décrire et de quantifier le lien entre les activités émettrices, les situations de pollution et leurs impacts environnementaux et sanitaires, afin de soutenir la prise de décision. Son implication continue dans la recherche opérationnelle (partenariats avec les collectivités et les associations de la fédération ATMO notamment) lui permet dans ce cadre de maintenir un lien fort avec les exigences réglementaires et les problématiques sociétales.

Isabelle Coll développe depuis 2012 une approche innovante de modélisation urbaine dite « intégrée », c'est-à-dire une simulation de la qualité de l'air intégrant des considérations humaines, économiques, énergétiques et politiques. Il s'agit également d'une modélisation plus aboutie, permettant d'accéder *in fine* à l'exposition – chronique ou de pointe – des populations aux polluants atmosphériques. Ces travaux sont menés dans un cadre collaboratif réunissant des physico-chimistes, des économistes, des spécialistes des politiques publiques et de la transition énergétique, des géographes et des sociologues, ainsi que des experts de la modélisation des transports. Ces travaux permettent de réinventer notre façon de penser la modélisation urbaine, en élargissant notre réflexion à la question humaine et sociétale, et notamment aux conséquences des comportements de mobilité et de consommation d'énergie, aux problématiques d'inégalité face aux risques, mais aussi à l'impact des politiques environnementales, climatiques, de transport ou d'aménagement sur l'environnement et la santé des populations.





**Patrice COLL** est professeur à l'UFR de chimie de l'Université de Paris, et est depuis 2015 directeur du LISA (UMR CNRS 7583), un laboratoire comptant 130 personnes travaillant sur le fonctionnement des atmosphères terrestre et planétaires. Chimiste analytique de l'environnement, il a travaillé pendant plus

D.R

de vingt ans sur différents objets du système solaire (Titan et Mars, notamment) en simulant ces environnements en laboratoire ou en développant des instruments dédiés à l'exploration de notre système solaire. Il a ainsi contribué à établir des bilans plus précis du contenu en molécules organiques et inorganiques de ces environnements, afin de mieux comprendre la complexification du carbone dans notre système solaire depuis son origine. Ces projets lui ont offert l'opportunité de s'impliquer fortement dans des missions de l'Agence spatiale européenne (ESA), de l'Agence spatiale américaine (NASA) et de l'Agence russe (Roskosmos), dans le cadre de financements obtenus notamment de l'Agence spatiale française (le CNES).

Même s'il continue à opérer dans ce secteur d'activité, il a recentré ses activités sur les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique. Il a ainsi créé des ponts avec des biologistes et personnels de santé qui lui ont permis d'exposer des modèles précliniques à des environnements urbains (Paris, Pékin...) simulés expérimentalement, aussi bien en termes particuliers que gazeux. Ainsi, ces activités transdisciplinaires lui permettent avec ses partenaires de proposer aux décideurs des solutions pour protéger au mieux les populations vulnérables aux impacts sur la qualité de l'air.

Ces différents travaux lui ont donné l'opportunité d'être auteur ou co-auteur de plus de 100 publications de rang A, de contribuer à plus de 300 communications orales, d'encadrer une douzaine de thèses de doctorat et d'être lauréat junior de l'Institut universitaire de France.

**Yves CROZET** est économiste. Il a été professeur à l'Université Lyon 2 de 1992 à 2010, puis à Sciences-Po Lyon. Depuis fin 2015, il est professeur émérite. En 1988, il intègre le Laboratoire d'économie des transports (LET) après avoir soutenu sa thèse de doctorat d'État, dont le titre est « Les Minguettes ou les infortunes de la tutelle ». Il a dirigé ce laboratoire de 1997 à 2007. Il est toujours membre de ce laboratoire, qui s'appelle aujourd'hui le Laboratoire Aménagement Économie Transports (LAET).

Yves Crozet est aussi président du Conseil scientifique du Laboratoire d'excellence « Dynamite », président du *think tank* de l'Union routière de France (URF) et membre du conseil d'administration du Conseil national routier (CNR). Il est également *Research Fellow* du CERRE (*Centre on Regulation in Europe*) à Bruxelles.

En 2016, il a publié aux Éditions Economica un ouvrage intitulé *Hyper-mobilité et politiques publiques : changer d'époque ?*

De 2010 à 2015, il a été Secrétaire général de la WCTRS (*World Conference on Transport Research Society*) et est

toujours membre du *Steering Committee*. En 2012-2013, il a été l'un des dix membres de la Commission « Mobilité 21 » en charge de réexaminer le contenu du Schéma national des infrastructures de transport (SNIT). De 2008 à 2012, il a été membre du conseil d'administration de RFF (Réseau ferré de France), au titre des personnalités qualifiées. De 2008 à 2013, il a présidé l'OEEET (Observatoire énergie environnement des transports) chargé de mettre en place les normes d'affichage CO<sub>2</sub> des services de transport. De 2002 à 2013, il a présidé les groupes opérationnels du PREDIT n°1, puis n°6 (Programme national de recherche sur les transports terrestres) portant sur la mobilité durable et les politiques publiques.



D.R

**Ève DARRAGON** est Conseillère maître à la Cour des comptes, deuxième chambre (développement durable), responsable du secteur Pollutions et risques climatiques naturels et technologiques.

Elle est ancienne élève de l'École nationale d'administration – promotion Léonard de Vinci (1983-1985) ; Licenciée en droit (Paris

1) – 1982 ; Licenciée en géographie (licence d'enseignement), Institut de géographie, Paris Sorbonne Paris IV – 1980 ; diplômée de l'Institut d'études politiques de Paris, section Service public – 1979.



D.R

**Carole DENEUVE** est cheffe du service Économique et statistique de l'UNICEM (Union nationale des industries de carrières et de matériaux de construction) depuis mars 2010.

Professeure certifiée de sciences économiques et sociales et titulaire d'un Master 2 en analyse macroéconomique et conjoncture de l'Université de Paris 1,

elle a occupé entre 1991 et 1994 les fonctions de chargée de mission au sein du bureau de l'Industrie de la direction générale du Trésor au ministère de l'Économie et des Finances, assurant en parallèle des enseignements universitaires et des conférences en cycle préparatoire ENA au Centre de formation continue de ce ministère. En 1994, elle rejoint le Centre d'observation économique à la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris, où elle est spécialiste des questions de l'emploi, de l'investissement et de la situation financière des entreprises.

Elle coédite et publie avec Christian de Boissieu une collection d'ouvrages annuels consacrés aux entreprises françaises de 2001 à 2006 et participe à de nombreux groupes de travail d'experts ainsi qu'à la rédaction de rapports du CAE (Conseil d'analyse économique) et de France Stratégie. Elle intègre en novembre 2006 le département Conjoncture de REXECODE et devient responsable des études sectorielles et des analyses conjoncturelles des secteurs de l'immobilier et de la construction.





**Carole DENIEL** est responsable des programmes spatiaux liés à la composition atmosphérique au sein de la direction de l'Innovation et des applications de l'Agence spatiale française, le CNES. À ce titre, elle travaille étroitement avec les laboratoires de recherche et les organismes français afin de préparer les futures missions et valoriser la recherche utilisant les données spatiales disponibles dans l'objectif de faire progresser les connaissances et l'expertise française dans le domaine des sciences de l'atmosphère. Dans le cadre de l'appel à projets annuel du CNES, elle anime les comités d'évaluation et met en place les ressources nécessaires à la réalisation des projets retenus au sein des laboratoires français. En dialogue permanent avec les agences spatiales et la communauté scientifique internationale, elle est chargée de proposer au sein du CNES une stratégie permettant de faire rayonner les spécificités de la recherche spatiale française et contribue à la mise en place d'accords de coopération.

D.R.

À la suite d'une formation universitaire (Paris 6) en sciences physiques, astronomie et techniques spatiales, elle a soutenu une thèse au CNRS sur l'étude de la stratosphère polaire par mesures satellitaires, puis a été chercheuse en contrat post-doctoral durant quatre ans aux États-Unis (Université du Maryland) et au CNRS en France.



**Gilles FORET** est enseignant chercheur à l'Université Paris Est Créteil, où il est rattaché au Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA). C'est un physico-chimiste expert de la modélisation numérique de la qualité de l'air. Il a notamment travaillé sur l'assimilation des observations satellitaires de l'ozone dans les modèles numériques de chimie-transport utilisés pour la prévision et la surveillance opérationnelle. Il est l'auteur d'environ 40 articles dans ce domaine de recherche. Par ailleurs, il est en charge depuis 2016 du groupe de travail de l'IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace) qui travaille sur la pollution atmosphérique francilienne. Il a par ailleurs participé au montage du réseau de recherche Qi<sup>2</sup>, dont il est actuellement le responsable. Ce réseau est un DIM (domaine d'intérêt majeur) de la région Île-de-France, qui soutient la recherche académique francilienne dans le domaine de la qualité de l'air. Ce réseau qui regroupe plus de 35 partenaires (académiques, opérationnels, institutionnels et industriels) soutient la recherche transdisciplinaire depuis la physico-chimie des atmosphères (extérieur et intérieur) en passant par les impacts sanitaires et jusqu'aux solutions, qu'elles soient technologiques ou politiques.

D.R.

**Colm FRIEL** a une expérience étendue en matière de gestion financière et d'audit des politiques du secteur pu-



©ECA

n°23/2018 de la Cour.

**Laurent GOETHALS** est titulaire d'une maîtrise en informatique et d'un master en jeux vidéo. Il a travaillé pendant deux ans dans l'industrie du jeu vidéo, puis il s'est lancé en tant qu'auto-entrepreneur créant de nombreux jeux vidéo pour XBOX 360 et PC, ainsi que des outils informatiques et du serious gaming.

blic. Il a commencé sa carrière au sein de l'Institution suprême d'audit irlandaise. Il est manager auprès de la Cour des comptes européenne et dispose d'une vaste expérience de la conduite d'audits sur un large éventail de politiques de l'UE, y compris des sujets liés à l'environnement et au changement climatique. Il a géré l'audit pour le rapport spécial



D.R.

**Nadia HERBELOT** est cheffe du service de la qualité de l'air à l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) depuis 2016. Inspectrice des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) pendant onze ans, elle a également exercé des missions au sein du ministère en charge de l'Environnement. Tout d'abord au bureau de la Qualité de l'air, où elle était notamment en charge du suivi des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air et du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, ainsi que de la négociation de la directive du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Puis au bureau de la Prévention et des Filières à responsabilités élargies des producteurs, où elle assurait la fonction d'adjointe au chef du bureau et pilotait à ce titre, avec les chargés de mission du bureau, la finalisation, puis la mise en œuvre du Plan national de prévention des déchets et la gouvernance des filières REP, dans un contexte d'évolution législatif structurant (en particulier, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 18 août 2015).

**Sophie LANONE** est directrice de recherche à l'Inserm (DR2) et dirige une équipe Inserm à l'Institut Mondor de recherche biomédicale (IMRB, UMR 955 Inserm-UPEC) à Créteil. Ses travaux de recherche s'intéressent aux conséquences pulmonaires des agressions environnementales, tout au long de la vie. Elle a longtemps travaillé sur les effets respiratoires des nanoparticules d'origine anthropique (en lien avec leurs propriétés physico-chimiques).



D.R.

Elle a longtemps travaillé sur les effets respiratoires des nanoparticules d'origine anthropique (en lien avec leurs propriétés physico-chimiques).

Elle développe aujourd'hui des recherches sur la pollution atmosphérique dans son ensemble. Sophie Lanone a coordonné plusieurs programmes multipartenaires (ANR, ANSES, SPLF...) et participe à différentes instances d'expertise et d'évaluation (Comité scientifique du programme de recherche ANSES, Conseil scientifique de l'INRS, Comité scientifique sectoriel du programme Nanosciences et nanotechnologies ANR...). Elle est membre du Conseil de gestion de la Faculté de médecine de Créteil, et a été missionnée pour coordonner l'axe stratégique Santé-Société-Environnement au sein de l'UPEC (co-responsable avec Isabelle Coll).



D.R

**Jean-Luc LAURENT** est ingénieur général des Mines honoraire et officier de la Légion d'honneur. Il a commencé sa carrière au ministère de l'Environnement, où il a occupé de nombreuses fonctions sur le terrain (en services déconcentrés en Bourgogne et comme directeur de l'Agence de l'eau Rhin Meuse) et en administration centrale (au service de l'Environnement industriel, comme directeur de l'Eau, directeur général de l'Administration et du Développement et, enfin, comme chef du service de l'Inspection générale de l'environnement). Il a par la suite dirigé durant 10 ans le Laboratoire national de métrologie et d'essais (à ce titre, il a animé le Laboratoire central de la qualité de l'air, le LCSQA).



D.R

**Richard LAVERGNE** est ingénieur général du corps des Mines, diplômé de l'École polytechnique (promotion 75), de l'École supérieure de métrologie et de Télécom ParisTech. Depuis janvier 2017, il est membre permanent du Conseil général de l'Économie (ministère de l'Économie et des Finances), où il exerce les fonctions de référent « Énergie et Climat ». De 2008 à 2016, il a été conseiller auprès, à la fois, du directeur général de l'Énergie et du Climat (DGEC) et de la Commissaire générale au Développement durable (CGDD), au sein du ministère chargé de l'Environnement et de l'Énergie. À ce titre, il a assuré, notamment, les missions de Secrétaire général du Comité pour l'économie verte, de Secrétaire général du Comité d'experts pour la transition énergétique, de vice-président du Comité pour la coopération à long terme (SLT Committee) de l'Agence internationale de l'énergie et de président pour l'UE du groupe thématique sur les marchés et les stratégies énergétiques dans le cadre du dialogue énergétique UE-Russie. De fin 2012 à mi-2013, Richard Lavergne a été fortement impliqué dans l'organisation du Débat national pour la transition énergétique. De 2008 à 2017, il a été membre du comité directeur de l'Association française des économistes de l'énergie. De 1995 à 2008, il a été

directeur de l'Observatoire de l'énergie et des matières premières au sein du ministère chargé de l'Énergie. De 1990 à 1995, il a été directeur du Réseau national d'essais (RNE), organisme national d'accréditation pour les laboratoires d'essai et d'analyse.



D.R

**Eva LEOZ-GARZIANDIA** a suivi des études de chimie à l'Université du Pays basque à Bilbao (Espagne). Puis, grâce au programme Erasmus, elle s'est spécialisée dans l'environnement à l'Université de Liège (Belgique) et à l'École nationale supérieure de chimie de Montpellier. Après un DEA, elle obtient en 1998 le grade de Docteur de

l'Université Paris Diderot en chimie de la pollution atmosphérique et physique de l'environnement. Elle rejoint l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) en 1999, où elle intègre l'unité AIRE pour y réaliser des études en appui des pouvoirs publics et des travaux de recherche sur la thématique de la qualité de l'air. De 2008 à 2015, elle prend en charge l'unité Chimie, Métrologie, Essais (CIME) de la direction des Risques chroniques (DRC) qui participe à des travaux pour le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) et le laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques (AQUAREF). Depuis 2015, elle est la directrice exécutive du LCSQA, groupement d'intérêt scientifique regroupant le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), l'Ineris et l'Institut MinesTélécom Lille Douai. Ses missions en tant que coordinateur technique du dispositif national de surveillance sont l'animation et le pilotage du dispositif national de surveillance, la mise en place d'actions techniques liées à la surveillance, la production, la dissémination et la valorisation des données, l'appui au rapportage européen des données, l'appui à l'examen des demandes de financement des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) et la formation, et le développement d'études et des connaissances.



D.R

**Charlotte LEPITRE** a immigré au Canada en 2009 après avoir passé son Baccalauréat (Bac S – Lycée agricole de Laval). Elle est diplômée de l'Université du Québec à Montréal (UQAM, Canada) en biologie-écologie. Elle rentre ensuite en France pour réaliser un Master2 en droit et environnement à l'Université de

Rennes. Elle a débuté sa carrière à Bruxelles, au bureau européen de l'Environnement (EEB), en tant que chargée de mission Air et Agriculture. Elle intègre ensuite l'équipe de la fédération d'associations environnementales France Nature Environnement (FNE) en 2015, en tant que coordinatrice du réseau Santé-Environnement. Charlotte Lepitre coordonne et pilote les travaux

et politiques de la FNE sur les thématiques environnementales en lien avec les impacts sanitaires chez l'homme : risques émergents (perturbateurs endocriniens, nanomatériaux...), bruit, champs électromagnétiques et qualité de l'air intérieur et extérieur. FNE est un acteur environnemental historique, qui existe depuis plus de 50 ans. Elle est membre du Conseil national de l'air et de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI). Ainsi, dans le cadre de ses missions, Charlotte Lepitre participe à l'élaboration et au suivi de plusieurs plans, programmes ou réglementations, tels que la directive NEC, le Programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques, le Plan national Santé Environnement, les plans de protection de l'atmosphère, la Journée nationale de la qualité de l'air... Elle a suivi le dieselgate en intégrant la commission d'enquête ainsi que les conséquences juridiques qui en ont suivi. Elle a également développé un projet européen LIFE sur la pollution de l'air et l'agriculture (2018-2021).



D.R

**Tatiana MACÉ** a obtenu son diplôme d'ingénieur chimiste à l'École nationale supérieure de chimie de Paris (ENSCP). Elle travaille au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) à Paris en tant que responsable du département Métrologie des gaz et des aérosols. Elle contribue au développement de matériaux de référence certifiés (MRC) et de méthodes de référence traçables au système international et à leur dissémination auprès des laboratoires, des industries et des instituts afin d'assurer la qualité de leurs mesures en analyse des gaz et caractérisation des aérosols. Elle organise et participe aux comparaisons interlaboratoires aux niveaux national et international et est, à ce titre, membre des groupes de travail en analyse des gaz et des aérosols du Comité consultatif de la quantité de matière (CCQM) et de l'Organisation européenne des laboratoires nationaux de métrologie (EURAMET). Elle représente le LNE au sein du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) qui est en charge de la coordination nationale du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en étroite collaboration avec les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA). Elle est également membre de commissions de normalisation françaises (X43A, X43D et E29EG) et internationales (TC 158) afin de participer à l'élaboration et à la révision des normes utilisées dans ses domaines d'activité.

**Christine MALLENS** est titulaire d'un doctorat d'État en sciences économiques. Elle est économiste au Service économique de l'UNICEM (Union nationale des industries de carrières et de matériaux de construction) depuis 1990. Elle participe au développement d'un système d'informations statistiques, économiques et cartographiques sur l'industrie des matériaux de construction (productions, flux et utilisations). Elle réalise également des études d'approvisionnement des territoires en granulats pour apporter un appui à l'élaboration de stratégies de continuité

d'approvisionnement dans une démarche de développement durable (analyse des conditions actuelles d'approvisionnement : niveaux de demande, de production, de flux, de transport... à différentes échelles territoriales, projection de l'approvisionnement à un horizon de 20 ans, détermination des potentiels de production à reconstituer pour satisfaire les besoins futurs...).

Elle s'est notamment spécialisée dans l'analyse de l'approvisionnement actuel et futur de la région Île-de-France, notamment dans le cadre du Grand Paris. Depuis 2017, elle s'est également orientée vers l'étude des granulats marins (production par façade maritime, approvisionnement des marchés locaux, satisfaction des besoins en bétons hydrauliques...) et des minéraux industriels (productions et usages à différentes échelles géographiques). En parallèle, elle travaille avec Carole Deneuve sur les travaux de conjoncture : suivi des indicateurs et des enquêtes pour tracer les perspectives d'activité des secteurs du BTP et des matériaux de construction, calcul d'un indicateur Matériaux, construction de scénarios prévisionnels granulats pour le béton prêt à l'emploi...



D.R

**Julien MARCHAL** est Conseiller référendaire à la Cour des comptes, deuxième chambre (développement durable).

Ancien élève de l'École nationale d'administration – promotion Jean de la Fontaine (2013-2014), il est diplômé d'H.E.C Paris (2007-2011) et de l'Institut d'études politiques de Paris (2008-2011) et est titulaire d'un master II Administration et gestion publique, Paris I Panthéon-Sorbonne (2011-2012).



D.R

**Marie-Ange MATTEI** est Conseillère maîtresse à la Cour des comptes, cinquième chambre (cohésion sociale).

Ancienne élève de l'École nationale d'administration – promotion Cyrano de Bergerac (1997-1999), elle est diplômée de l'Institut d'études politiques de Paris (1981- 1983) et de l'École des Mines de Paris. Elle a également obtenu un doctorat pour ses travaux sur la planification minière.



D.R

**Ilarion PAVEL** est ingénieur en chef des Mines, docteur en physique. Il travaille au Conseil général de l'Économie et au Laboratoire de physique théorique de l'École normale supérieure, dans le domaine de la physique des particules élémentaires et interactions fondamentales.

Il a été ingénieur de recherche



chez Thomson-CSF et a effectué un séjour post-doctoral à Caltech. Pendant trois ans, il a travaillé à la délégation régionale de la Recherche et de l'Innovation de l'Île-de-France, dans le domaine de l'innovation et du transfert de technologie. Puis pendant cinq ans, il a été en charge du Réseau national de recherche en télécommunication, au ministère de la Recherche. Par la suite, au sein de ce même ministère, il a été conseiller scientifique en nanotechnologies.

**Jean-Luc PERRIN** est ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts. Il a commencé sa carrière à la délégation générale pour l'Armement, travaillant sur des sujets d'optique aéronautique. Il a ensuite exercé des fonctions relatives à la synthèse des comptes des administrations de sécurité sociale à la direction de la Prévision, à Bercy. Il a poursuivi sa carrière à la direction générale de l'Énergie et des Matières premières, où il a suivi le débat public EPR, la programmation pluriannuelle des investissements de production électrique et le sujet des électro-intensifs. Depuis 2008, il est chargé de la sous-direction des Risques chroniques et du pilotage de l'Inspection à la direction générale de la Prévention des risques (ministère de la Transition écologique et solidaire).



D.R

**Jacques SCHLEIFER** a rejoint le Centre de géosciences en 1989 pour participer et coordonner de nombreux projets nationaux et européens relatifs à la planification et à l'organisation des exploitations, notamment sur le tir à l'explosif en carrière.

Sur la composante socio-économique de la gestion des ressources minérales, il a contribué

au projet ANTAG (anticipation de l'accès à la ressource granulat en France) et, dans la lignée de celui-ci, au projet AGREGA. Actuellement, il participe, toujours sur la même thématique, au projet SEDIBRIC (valorisation des sédiments de dragage portuaire). Il est également en charge de la promotion de la recherche publique auprès des PME de l'industrie extractive dans le cadre du projet Carnot-filière EX-TRA&CO.

Il est par ailleurs adjoint au directeur chargé des moyens expérimentaux.



D.R

**Bruno TESSIER** est Docteur en géologie de l'Université Pierre et Marie Curie et diplômé en Master informatique de l'École des Mines de Saint-Étienne. Il a rejoint le Centre de géosciences en 1989.

Il s'est vu confier la valorisation et l'industrialisation de produits concernant les mesures automatisées par analyse d'images de la

fragmentation des roches. Il a, dans ce cadre, participé à des projets européens et conduit un certain nombre d'ex-

pertes pour les exploitants de granulats autour de l'optimisation du tir à l'explosif en carrière et le contrôle des produits de broyage.

Pendant plusieurs années, il est intervenu dans plusieurs projets qui l'ont amené à s'intéresser aux SIG, notamment pour l'ANDRA, en ce qui concerne l'évolution passée du bâti géologique du Bassin parisien par simulation de l'érosion sur des périodes de plusieurs millions d'années.



D.R

**Isabelle THÉNEVIN** est Docteur de l'École des Mines de Paris dans la spécialité Géologie de l'ingénieur et est ingénieure géologue diplômée de l'École nationale supérieure de géologie de Nancy.

Depuis 2001, elle est enseignant-chercheur au Centre de recherche en géosciences de MINES-ParisTech au sein de

l'équipe Géomécanique. Elle a été pendant 4 ans responsable de la formation en évaluation économique de projets miniers et a assuré l'encadrement de travaux de fin d'études : études de pré faisabilité, faisabilité, optimisations technique et économique de projets miniers.

Elle est par ailleurs maître de conférences à l'École des Ponts et Chaussées au sein du département Génie civil et Construction depuis 15 ans ; elle est responsable du module d'enseignement en géologie de l'ingénieur. Elle participe aussi, en tant que membre bénévole, aux travaux de la Société de l'industrie minière.

**Caroline VAN RENTERGHEM** est fondatrice et CEO de la société WAIR qui a notamment créer un foulard anti-pollution connecté.



D.R

**Sophie VASLIN-REIMANN**

est titulaire d'un Doctorat de physico-chimie – macromoléculaire, obtenu à l'Université Paris VI. Après un diplôme d'ingénieur de l'École supérieure de chimie organique et minérale (ESCOM), Sophie Vaslin-Reimann a exercé durant une vingtaine d'années au sein de différents groupes industriels (Rhône-Poulenc, Rhodia et

Danone), où elle était en charge d'équipes de R&D dans des domaines de la chimie et de la formulation en physico-chimie.

Depuis une dizaine d'années, elle est responsable de la métrologie en chimie et en biologie au sein du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE). À ce titre, elle est en charge d'une équipe dont les missions sont de deux types :

- des missions de R&D en vue de développer et de maintenir des étalons et des méthodes de référence en France permettant d'assurer la traçabilité des résultats de mesure en chimie au SI,
- une mission visant à assurer le transfert de ces étalons et méthodes de référence vers les mondes industriel et



académique en vue de fiabiliser les résultats de leurs mesures.

Elle participe également à des groupes de travail divers au titre de la normalisation et de l'expertise scientifique, et à des réunions du BIPM.

Depuis mai 2019, elle est chair du TC-MetChem, le comité technique de métrologie en chimie et en biologie d'Euramet, organisation européenne des Instituts de métrologie.



D.R

**Camille VIATTE** est aujourd'hui chercheuse contractuelle au LATMOS (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations spatiales), en charge d'analyser la composition atmosphérique à partir des données satellitaires IASI (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge). Experte en télédétection et en physico-chimie

de l'atmosphère, elle travaille actuellement sur la détection de l'ammoniac depuis l'espace et sur le rôle de ce polluant dans la formation de particules en suspension dans l'air, qui sont très nocives pour la santé humaine.

Le domaine de recherche de Camille Viatte s'inscrit dans la problématique des changements de la composition atmosphérique sous l'influence des activités humaines. Connaître, quantifier et évaluer les concentrations des gaz atmosphériques pertinents, dans diverses régions du globe, constituent le premier pas vers une connaissance scientifique essentielle et une prise de conscience commune pour appréhender les problèmes environnementaux planétaires (pollution, changement climatique, santé publique).

Camille Viatte a obtenu son doctorat en 2011 en sciences de l'Univers, spécialité physique de l'atmosphère. Une partie de son travail de thèse a consisté à mettre en place et à assurer le bon fonctionnement d'un nouvel observatoire qui, installé sur le toit de l'Université de Paris-Est,

mesure la composition chimique de l'atmosphère parisienne. De 2011 à 2014, elle a travaillé sur l'impact des feux de biomasse transportés jusqu'en région Arctique au sein du département de Physique de l'Université de Toronto (Canada). Elle y était plus particulièrement chargée d'analyser et de détecter de nouvelles molécules à partir d'une station de mesures située au Pôle Nord. De 2014 à 2017, elle a travaillé à l'Institut de technologie de Californie (Caltech, États-Unis), où elle s'est employée à mieux quantifier les émissions de gaz à effet de serre aux échelles locale et globale à partir des mesures sol et satellitaire en partenariat avec le JPL (Jet Propulsion Laboratory) et la NASA.



D.R

**Janusz WOJCIECHOWSKI** a exercé les fonctions de juriste, de procureur, de juge, de président de l'Institution supérieure de contrôle de Pologne et de vice-président de la Chambre basse (*Sejm*) du Parlement polonais. Il a également exercé trois mandats de membre du Parlement européen. Il est l'auteur de commentaires sur le Code

pénal polonais et de plus de 100 articles et publications consacrés au droit pénal ainsi qu'à des questions socio-juridiques, parus dans diverses revues juridiques. Il est membre de la Cour des comptes européenne depuis mai 2016 et travaille dans le domaine de l'utilisation durable des ressources naturelles. Il a dirigé plusieurs audits de la performance, notamment ceux consacrés au renouvellement des générations dans l'agriculture, à la programmation du développement rural, à la pollution atmosphérique, à la sécurité alimentaire et aux mesures prises en faveur du bien-être animal. Il réalise actuellement des audits sur les mesures adoptées par l'UE pour lutter contre la résistance aux antimicrobiens et sur la biodiversité dans le domaine agricole.