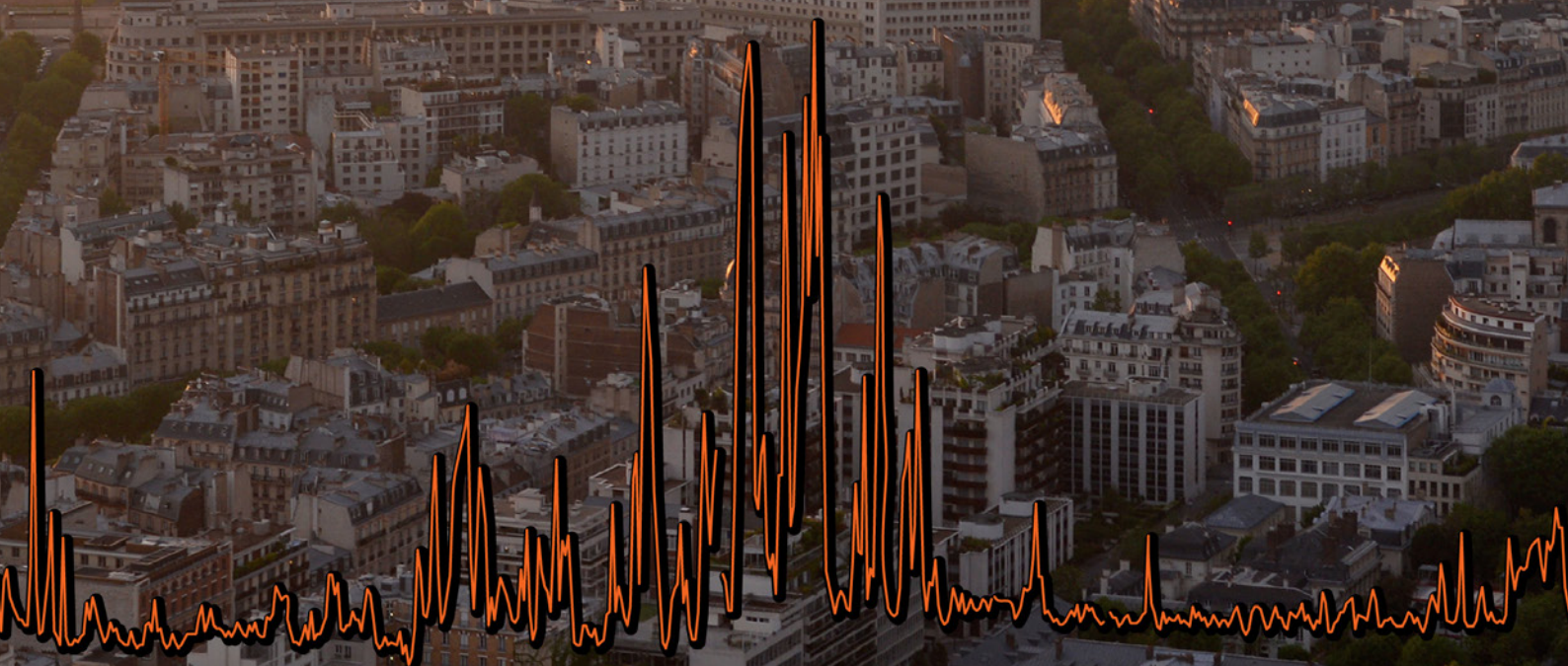


POLLUTION / ATMOSPHERIQUE

Climat, Santé, Société

Numéro spécial 2015

Les épisodes de forte pollution des années
2013 et 2014 : un retour d'expérience



ISSN 0032-3632

Publié avec le concours de :

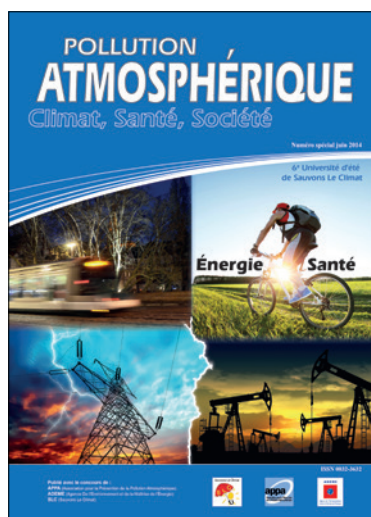
APPA (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique).

ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie).

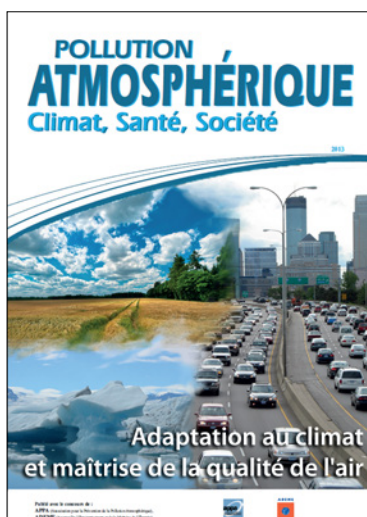
MEDDE (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie).



NUMÉROS SPÉCIAUX HORS SÉRIE



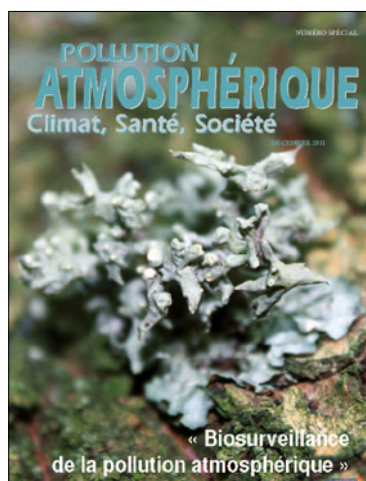
Énergie - Santé
Juin 2014



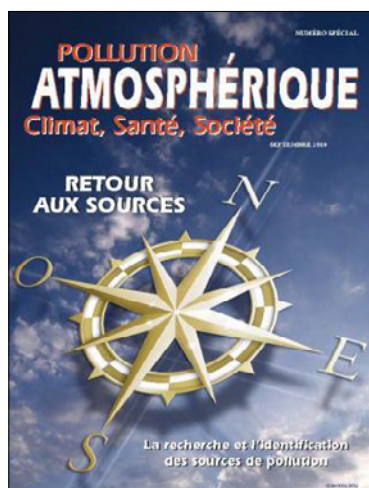
**Adaptation au climat
et maîtrise de la qualité de l'air**
Juin 2013



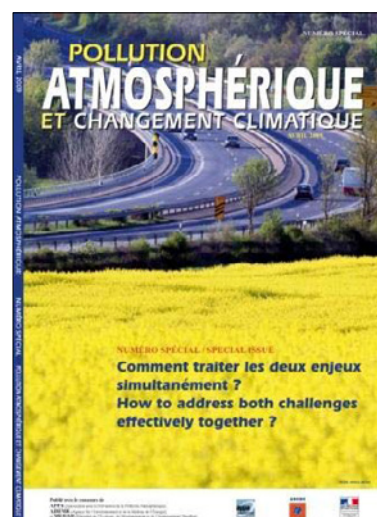
Les particules
Novembre 2012



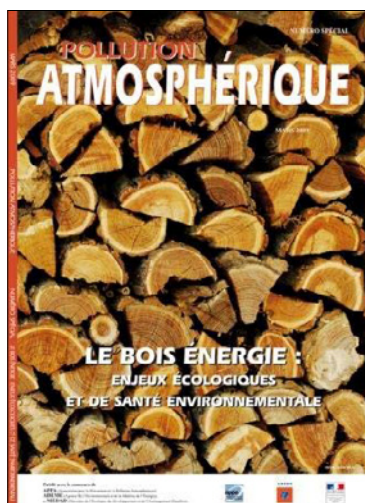
**Biosurveillance de la
pollution atmosphérique**
Décembre 2011



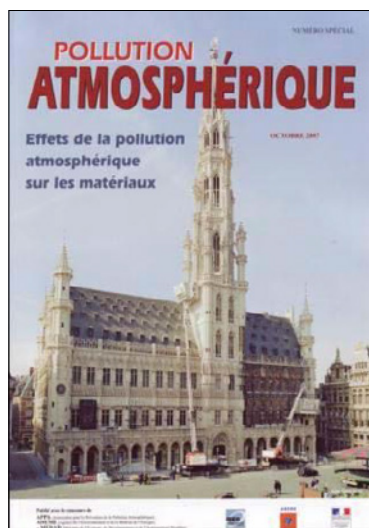
**La recherche et l'identification
des sources de pollution**
Septembre 2010



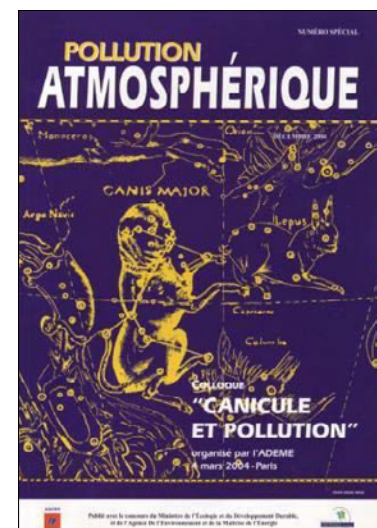
**Pollution atmosphérique et
changement climatique.
Comment traiter les deux enjeux
simultanément.** Avril 2009



Le bois énergie
Enjeux écologiques et de
santé environnementale
Mars 2009



**Effets de la pollution
atmosphérique sur les matériaux.**
Octobre 2007



**Colloque
« Canicule et pollution »
organisé par l'Ademe
Paris. 2007**

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Climat, santé, société

10, RUE PIERRE BROSSOLETTE
94270 LE KREMLIN-BICÊTRE
Tél. 01 42 11 15 00 – Fax 01 42 11 15 01
Registre du Commerce - Paris 6420 17438 B
C.C.P. PARIS 21242-77 C

Commission Paritaire des Publications
et Agences de Presse n° 0106 T 80231

DIRECTRICE DE LA PUBLICATION :

I. ROUSSEL, présidente de l'APPA.

DIRECTEURS HONORAIRES :

J.-G. BARTAIRES, EDF.

† J.-M. RAMBAUD.

COMITÉ DE RÉDACTION :

B. CALVO-LOPEZ, secrétaire de rédaction.

L. CHARLES, chercheur en sciences sociales, FRACTAL.

B. FESTY, professeur honoraire des universités, ancien président de l'APPA.

R. JUVANON DU VACHAT, Société Météorologique de France.

M. LARZILLIÈRE, président du CITEPA.

J. MASUREL, association « Sauvons le Climat ».

Y. LE MOULLEC, ancien directeur adjoint du LhVP.

B. NADER, géographe de la santé.

H. PILKINGTON, université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis.

M. THIBAUDON, directeur du RNSA.

COMITÉ SCIENTIFIQUE :

Président : J.-M. HAGUENOER, professeur honoraire des universités.

Vice-Président : M. LARZILLIÈRE, président du CITEPA.

Membres :

P. CARREGA, professeur, université de Nice-Sophia-Antipolis.

L. CHARLES, chercheur en sciences sociales, FRACTAL.

W. DAB, chaire Hygiène et Sécurité du CNAM.

G. DUBOIS, directeur, TEC-Conseil.

M. ERPICUM, professeur, université de Liège.

B. FESTY, professeur honoraire des universités, ancien président de l'APPA.

L. GALSOMIÈS, Service Évaluation de la Qualité de l'Air (SEQA),

ADEME.

E. GEHIN, professeur des universités, CEREAS, université de Paris Est, CERTES.

G. GOUPIL, LCPP.

E. IONESCU, université de Paris-Est Créteil, CEREAS.

M. JAGUSIEWICZ, EFCA.

S. KIRCHNER, coordinatrice scientifique de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (CSTB).

J. KLEINPETER, directeur de l'ASPA.

J. LAMBROZO, médecin directeur du service des études médicales, EDF-GDF.

J. LARBRE, Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris (LhVP).

R.-A. LEFÈVRE, université de Paris-Est Créteil.

C. MANDIN, Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (CSTB).

D. MARTIN, ministère de la Recherche.

J. MASUREL, association « Sauvons le Climat ».

S. MEDINA, département Santé-Environnement, Institut de Veille Sanitaire.

I. MOMAS, université Paris V,

faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques,

Laboratoire Santé Publique et Environnement.

Y. LE MOULLEC, ancien directeur adjoint du LhVP.

L. MUSSON-GENON, docteur ingénieur – EDF Pôle Industrie,

Division Recherche et Développement.

B. NADER, géographe de la santé.

N. MICHELOT, Bureau de l'Air au MEDDE.

P. PAUL, professeur honoraire, président de l'APPA-Alsace.

H. PILKINGTON, université Paris 8 (Vincennes – Saint-Denis).

A. RABL, Centre d'Énergétique, Ecole des Mines, Paris.

M. RAMEL, coordinatrice du Laboratoire Central de Surveillance de la

Qualité de l'Air (LCSQA) à l'INERIS.

D. RENAULT, Société Météorologique de France (SMF).

M. THIBAUDON, directeur du RNSA.

G. THIBAUT, consultant – Membre de l'ACNUSA.

D. ZMIROU, laboratoire de Santé Publique,

faculté de Médecine, université de Nancy.

(APPA)

ASSOCIATION POUR LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

reconnue d'utilité publique par le décret du 9 avril 1962,

agrée par le ministère de l'Environnement

10, rue Pierre Brossollette - 94270 Le Kremlin-Bicêtre

Présidente: Mme I. ROUSSEL



LETTRE DE LA RÉDACTION



Cette double image de la tour Eiffel a circulé au moment de l'épisode de mars 2014, elle a beaucoup frappé les esprits en objectivant la question des particules. Quand la pollution n'est plus invisible, elle devient plus présente dans les esprits et même si la causalité entre les particules et la gêne ressentie n'est pas prouvée, les moindres symptômes des maladies hivernales sont attribués aux particules et à la pollution atmosphérique.

Sans prendre en considération les valeurs absolues des niveaux de polluants constatés, ni la chronicité du phénomène, les français ont été tentés de procéder à des analogies avec les autres capitales du monde dont la pollution est célèbre. Si bien que le chiffre emblématique de 42 000 morts est devenu crédible.

SOMMAIRE

CONTENTS

Les textes sont publiés sous l'entière responsabilité de leurs auteurs. La reproduction et la traduction d'articles ou d'extraits d'articles insérés dans la Revue *Pollution Atmosphérique* sont formellement interdites sans autorisation du directeur de la publication.

Authors are entirely responsible for any texts published. Any reproduction or translation of articles or extracts published in the Journal *Pollution Atmosphérique* is expressly forbidden without permission from the Director of the Journal.

LETTRE DE LA RÉDACTION

Éditorial

Isabelle ROUSSEL 6

Les épisodes de forte pollution : Introduction

Isabelle ROUSSEL 8

DOCUMENTS

Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

Nicolas MICHELOT 20

Bilan de l'épisode de pollution de mars 2014 et évaluation de la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014 en Ile-de-France

Amélie FRITZ, Fabrice DUGAY, Cécile HONORÉ, Olivier SANCHEZ, Véronique GHERSI, Charlotte SONGEUR, Pierre PERNOT, Frédéric MAHÉ, Sophie MOUKHTAR, Jean SCIARE 25

Évaluation de la circulation alternée en Ile-de-France

ADEME 35

ARTICLES

Épisodes de pollution et dispositifs d'alerte en France : une vision historique et sociopolitique

History of air pollution alerts in France from an historical and sociopolitical point of view

Isabelle ROUSSEL 40

Élaboration et signification des normes : une tendance à la simplification d'une réalité plus complexe ?

Helga-Jane SCARWELL 67

La météorologie et les pics de pollution. Étude de cas de décembre 2013 et mars 2014

Meteorology and peaks of pollutions. Study of the cases of December, 2013 and March, 2014

Jean-Paul TONNELIER, Sylvie GUIDOTTI, Bruno LOSSEC, Frank BARAER, Julien DESPLAT 78

Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Atmospheric dispersion models: An overview

Nicolas MICHELOT, Pierre CARREGA, Laurence ROUÏL 92

Épisodes de pollution particulaire en France : quels enseignements tirer des récents épisodes ?

Particulate air pollution episodes in France: lessons learnt from recent episodes

Laurence ROUÏL, Bertrand BESSAGNET, Olivier FAVEZ, Eva LEOZ- GARZIANDIA, Frédéric MELEUX..... 101

Conditions météorologiques et épisodes de pollution par les particules fines en Alsace

Weather conditions and particulate matter pollution peaks in Alsace

Raphaèle DEPROST, Patrice PAUL, Florent VASBIEN, Joseph KLEINPETER 115

Les épisodes d’ozone en région PACA, le prix sanitaire du soleil

Ozone episodes in PACA region, the sanitary price of sun

Isabelle Roussel 135

Pollution, pollen et pollinoses : retour sur l’épisode de pollution de mars 2014 en France

Air pollution, pollen, and pollinosis: another look at the pollution episode of March 2014 in France

Samuel MONNIER, Michel THIBAUDON, Jean-Pierre BESANCENOT, Nicolas MICHELOT 157

Épisodes de pollution aiguë : quelles réponses sanitaires pour quels enjeux ?

Brigitte NADER..... 165

Analyse de l’impact sanitaire d’un épisode de pollution : retour d’expérience sur la surveillance syndromique lors de l’épisode de mars 2014 et difficultés méthodologiques

Sabine HOST, Noëlla KARUSISI, Marie FIORI, Anne FOUILLET et Céline CASERIO-SCHÖNEMANN 179

Le regard du Progrès de Lyon sur les épisodes de pollution 1997-2013

The looks of the Progrès de Lyon on air pollution peaks, 1997-2013

Isabelle ROUSSEL 185

Éditorial

Isabelle ROUSSEL

Présidente de l'APPA

Pointes ou pics de pollution, épisodes fortement pollués, séquences de pollution élevée, dépassement de seuil, non respect des normes, alertes... Le vocabulaire utilisé pour caractériser ces épisodes présentant des niveaux de pollution plus élevés est très varié et d'autant plus incertain et flou que de nombreux médias se sont emparés du phénomène. En effet, si l'on en croit la presse, ces journées particulières permettent de rendre manifeste ce « tueur invisible » qu'est la pollution de l'air et donc de souligner avec à-propos le risque qu'il génère pour la santé de l'homme et le vivant en général. Le mois de mars 2014 a été l'occasion d'un épisode de pollution par les particules d'une ampleur et d'une durée rares, à un moment où l'OMS revoyait très fortement à la hausse, les chiffres de l'impact sanitaire mondial de la pollution atmosphérique, soit sept millions de décès par an, c'est à dire 6,5 % des décès. Cette évaluation faisait suite aux décisions récentes de l'OMS de classer les émissions diesel, puis quelques mois plus tard la pollution de l'air elle-même, comme cancérigènes certains. Cette situation et ces données nouvelles sont intervenues en pleine campagne électorale en France, dans un contexte d'effervescence politique et médiatique. Elles ont eu un impact très important dans les médias, et offert des éléments très significatifs pour faire apparaître les contradictions et les faiblesses des politiques en matière de qualité de l'air. On peut rappeler à ce propos que les niveaux élevés de pollution par les particules font l'objet d'un contentieux européen, et que la qualité de l'air apparaît de façon croissante comme un enjeu de santé publique reconnu par les instances publiques locales et nationales. Ainsi l'État français, dans sa fonction de garant de la sécurité sanitaire, a développé une procédure d'urgence, un dispositif d'alerte permettant de mettre en garde la population et d'encourager la diminution des émissions, voire même d'édicter un certain nombre de contraintes. Cet épisode récent, succédant à celui de décembre 2013, a fortement marqué les esprits et soulevé de nombreuses questions quant à la gestion de la pollution lors de ces journées particulières. Les réponses à ces interrogations sont complexes car

elles relèvent du fonctionnement de la gouvernance de la qualité de l'air, de la précision et de la variabilité spatiale et temporelle du mesurage, de la fiabilité des modèles de prévision, de l'évaluation des risques sanitaires liés au mélange des polluants, de la pertinence des actions à mettre en œuvre dans l'urgence...

Or la gestion de ces épisodes s'enracine dans une profondeur historique qu'il convient de rappeler pour bien comprendre le présent. L'APPA qui, depuis de longues années, a suivi ces questions avec un regard scientifique et indépendant, remercie le bureau de la qualité de l'air du MEDDE de lui avoir confié la lourde tâche de solliciter des analyses pertinentes sur ces épisodes récents pour formuler des réponses adaptées à des phénomènes de nature différente et dont la déclinaison spatiale est souvent hétérogène. À travers une résonance médiatique sans doute disproportionnée par rapport aux effets subreptices de la pollution chronique, c'est néanmoins une attente forte de la population vis-à-vis de la qualité de l'air qui s'exprime, comme en témoignent les sondages récents (CGDD 2014, ADEME 2014). Tout l'enjeu de la décision politique consiste à intervenir selon différentes échelles spatio-temporelles puisque le temps du pic de pollution n'est pas celui du temps long de l'évolution de l'environnement. Cependant, comme le montre l'analyse diachronique des articles publiés par le *Progrès de Lyon*, le contexte dans lequel se manifestent ces épisodes a beaucoup évolué. Au lendemain de la loi sur l'air de 1996, la découverte déconcertante pour le public de la pollution à l'ozone associé au beau temps ensoleillé, a marqué le passage, en matière de gestion de la qualité de l'air, de la pollution industrielle, plus facile à maîtriser par la réglementation, à une pollution plus diffuse, aux sources multiples : chauffage au bois, carburant des voitures, agriculture..., aux origines parfois lointaines et souvent dépendantes des comportements individuels : (modes de transport et de chauffage par exemple). Cette évolution structurelle s'est accompagnée d'un enrichissement constant des connaissances tant sur les caractéristiques de la pollution que sur les mécanismes

de sa formation et la multiplication des effets insidieux des polluants sur la santé. Comment, dans ces conditions, décréter une alerte dont la mise en œuvre soit efficace mais donne aussi le goût de la pérennisation des actions entreprises lorsque les feux de l'actualité sont braqués sur la qualité de l'air ? Ainsi, une fois l'effervescence médiatique retombée, il est aujourd'hui temps de s'interroger sur les bonnes réponses à apporter. Certes, en France, l'État est en première ligne, puisque la décision politique lui appartient, mais il n'est pas seul. Tous les acteurs de la qualité de l'air sont impliqués dans l'utilisation du temps court du pic pour mettre en œuvre des actions structurelles qui, au risque de décevoir des citoyens si leur horizon se limite au présent, porteront leur fruit sur le temps long, (mais aussi à moyen terme), celui des générations futures, dont le bien-être à venir constitue un enjeu fort. Néanmoins, comme le montre le sondage effectué pour l'ADEME en Ile-de-France, 27 % de la population enquêtée a ressenti une gêne physique pendant les journées de mars les plus polluées, et 64 % des personnes étaient concernées par la présence d'une personne sensible au sein de leurs proches. Les réponses à apporter pour améliorer les désagréments ressentis par ces habitants ne doivent pas être négligées. Or le développement des connaissances sur la caractérisation de ces épisodes permet d'apporter des réponses plus pertinentes pour écrêter les pointes : ainsi, au cours du mois

de décembre 2013, limiter le chauffage au bois ou les émissions automobiles locales, était out à fait pertinent dans les zones bien localisées où la pollution s'était accumulée. Ces stratégies, mieux ciblées, ne dispensent pas les personnes les plus sensibles de modifier leur comportement au cours de ces jours-là pour se protéger, et il revient à l'ensemble des habitants de se mobiliser pour tirer le meilleur parti de ces événements. C'est pourquoi ce numéro de la revue *Pollution atmosphérique* a fait appel à des contributions venant d'horizons très variés : le bénéfice à tirer de ces pics de pollution dépend de la qualité de la surveillance, de celle de la prévision, de la spécificité des conditions météorologiques, de l'acceptabilité des contraintes et de la crédibilité de la parole publique. Là encore, comme pour de nombreuses questions environnementales, l'efficacité des décisions résulte de la cohérence des actions mises en œuvre et de la convergence des points de vue des différentes parties prenantes. Le temps de la réflexion offert par ce numéro est aussi un temps court puisque déjà les pics suivants surviennent... Est-on prêt à les utiliser au mieux de manière à pouvoir constater le sérieux avec lequel ces questions sont prises en compte en dépit d'une actualité qui focalise l'attention sur d'autres sujets politiques et économiques qu'il convient de ne pas séparer de l'élément vital qu'est la qualité de l'air ?

Les épisodes de forte pollution : Introduction

Isabelle ROUSSEL

Les épisodes de forte pollution attirent l'attention des médias (I. Roussel), et comme le montrent les photos (p. 3), ils renvoient à la vision de la Chine et d'autres pays émergents dont la croissance se traduit par un lourd tribut payé à la santé des populations plongées dans cette ambiance insalubre. Ces épisodes rappellent ceux du smog londonien, vécus il y a plus de cinquante ans, ils évoquent ainsi un mode de développement que les pays occidentaux rejettent, tout en continuant à importer des produits manufacturés qui ont contribué à la pollution des pays

exportateurs. La pollution atmosphérique, appréhendée dans ce numéro de la revue *Pollution atmosphérique*, à travers des épisodes limités dans le temps et dans l'espace, est un phénomène mondial qui frappe de plein fouet les villes des pays émergents (cf. figure 1). Les alertes étudiées rappellent que la pollution dans les pays occidentaux n'est pas complètement maîtrisée, en dépit des efforts effectués dans le domaine de l'industrie et des transports. Mais corriger des modes de développement insoutenables prend du temps et nécessite de forts investissements

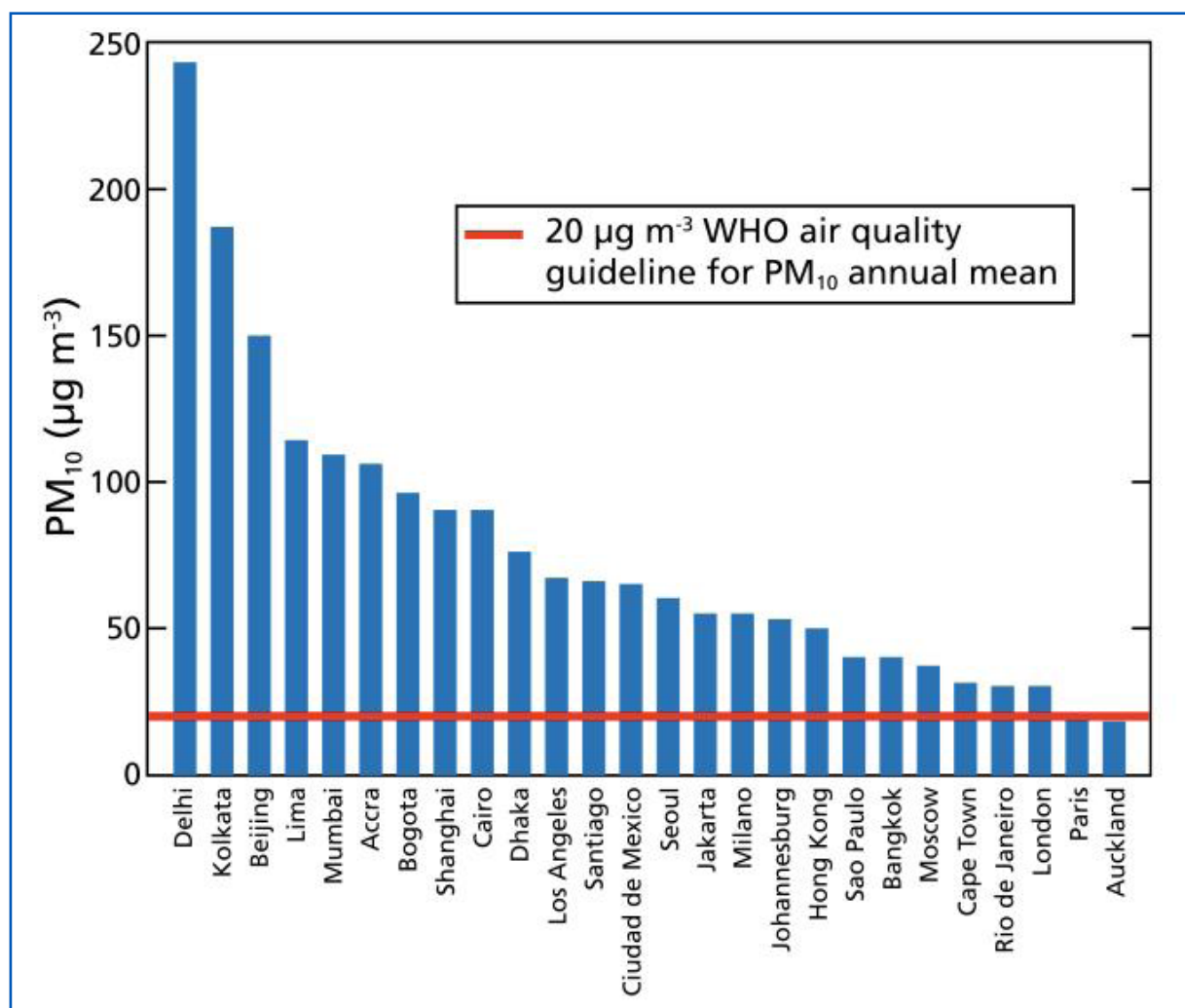


Figure 1.

Les moyennes annuelles des niveaux de PM₁₀ dans différentes agglomérations (Zhu *et al.* 2012).

avec un souci éthique pour inclure l'ensemble de l'humanité dans un nouveau mode de développement fondé davantage sur des technologies de pointe et des économies d'énergie et de matière.

Ces nouvelles orientations sont soutenues par les découvertes des méfaits sanitaires induits par les pollutions. Paradoxalement, au fur et à mesure que les émissions toxiques diminuent, la connaissance de leurs impacts augmente et impose une vigilance renouvelée sur la pollution chronique dont les effets délétères ont été mis en évidence. En France, dans la continuité de la relation privilégiée entre l'État et l'industrie, l'accent a été mis, dès les années 1970, sur les alertes industrielles (I. Roussel, 2015), plus faciles à maîtriser au cours de situations météorologiques favorables à l'accumulation de polluants. La gestion de la pollution cristallisée autour des pointes et des alertes est une spécificité française ancienne, explorée, dans ce numéro spécial, à travers différentes facettes. Sur avis du préfet et en fonction du respect de normes, l'épisode a pour conséquence le déclenchement d'une procédure d'information-recommandation ou d'alerte, dont le déroulement et l'efficacité dépendent de l'expertise qui alimente les arrêtés préfectoraux organisant les actions à mettre en œuvre à ces moments-là. Cependant, le temps court de l'alerte, favorable à une information soutenue par les médias, entre en contradiction avec le temps long des actions à mettre en œuvre pour assainir l'air des villes. C'est sur cette tension que se focalise l'étude des alertes et des mesures d'urgence qui, pour être efficaces, doivent être relayées par des actions durables. Après 17 ans de mise en œuvre des procédures d'alertes imposées par la loi sur l'air de 1996 (la LAURE), quel bilan peut-on tirer ? Le dispositif instauré en 2015 a beaucoup évolué, et il ne s'appuie pas sur le même contexte, la méconnaissance des méfaits de la pollution invisible et donc un besoin d'information ont fait place à une demande d'actions aussi bien de la part des citoyens que de l'Union européenne pour lesquels les discours ne suffisent plus, ils attendent des résultats. En même temps, les connaissances et l'expertise sur lesquelles s'appuie le dispositif d'alerte se sont élargies et complexifiées. C'est pourquoi les éléments regroupés dans ce numéro pour renseigner un retour d'expérience sur le temps long de l'histoire ont mobilisé des acteurs de la pollution très divers, depuis les météorologues puisque les épisodes de pointes sont avant tout contrôlés par les situations anticycloniques, jusqu'aux épidémiologistes puisque, en dernier ressort, l'amélioration de la santé des populations

est la finalité des actions entreprises, en passant par des modélisateurs et des analyses des politiques publiques.

Les épisodes récents qui étayent notre analyse sont pris en charge par l'État mais générés par la météorologie ; ils surviennent lorsque les conditions météorologiques sont défavorables à la dispersion des polluants.

I. Les caractéristiques de ces épisodes récents

Les épisodes de forte pollution sont de mieux en mieux connus, prévus et analysés par les efforts conjoints des AASQA, de l'INERIS à travers le LCSQA, et de Météo-France qui mettent au point ensemble des modèles de plus en plus fiables. En effet, ces épisodes sont contrôlés par des situations météorologiques particulières, mais les mesures d'émission et d'immission sont indispensables pour les caractériser.

Le poids des conditions météorologiques

Les épisodes de forte pollution correspondent à l'installation d'une situation anticyclonique favorable à la subsidence de l'air. Cependant, comme le montre J.-P. Tonnelier (2015) dans ce numéro, les caractéristiques de l'anticyclone, la hauteur de l'inversion et sa persistance permettent de définir différents types d'épisodes pollués :

- Les épisodes radiatifs avec une pollution essentiellement endogène : la nuit, l'inversion de rayonnement liée au froid nocturne renforce le phénomène qui s'interrompt quand le réchauffement diurne rompt l'inversion (le gradient thermique redevient négatif). Toutefois, en hiver, l'inversion peut se maintenir toute la journée, voire plusieurs jours. En revanche, lorsque l'anticyclone permet l'arrivée d'air froid, non seulement celui-ci entretient l'inversion tout au long de la journée mais l'excès de chauffage lié à cet épisode froid augmente les émissions de particules.

Lorsque l'inversion est puissante et en l'absence de gradient de pression, la pollution est endogène ; ce sont les polluants émis localement qui s'accumulent, les exemples de décembre 2013 ou de 2010 illustrent cette pollution endogène qui affecte les fonds de vallée, les villes et les zones industrielles.

- Les épisodes advectifs : si le niveau d'inversion est plus haut avec un gradient de pression marqué, des échanges de masses d'air peuvent avoir lieu, et des apports de polluants exogènes sont alors observés. L'épisode de mars 2014 a pu connaître ces contributions (épandages agricoles ou fumées générées par le chauffage au bois).

La persistance de cette inversion est un facteur aggravant, car les polluants s'accumulent sous ce couvercle d'air relativement plus froid.

- Les épisodes d'ozone relèvent de tout autres processus, puisque l'ozone est un polluant secondaire qui se forme sous l'influence du soleil lors des heures chaudes des journées estivales. Les polluants précurseurs peuvent être émis par des sources lointaines ; la formation de l'ozone peut être décalée par rapport aux zones d'émission (L. Mari).

Ainsi, comme on peut lire dans l'article de R. Deprost : « Les conditions météorologiques régissent le transport des masses d'air, la dispersion et le lessivage, mais aussi les émissions (davantage d'émissions liées au chauffage ou au moteurs froids lorsque les températures baissent) et les réactions chimiques (formation photochimique du nitrate d'ammonium). La météorologie agit donc de façon multiple sur les concentrations de particules PM₁₀, et peut donc aussi bien provoquer ou accentuer les épisodes de pollution que permettre de les résorber ».

Les polluants jouent un rôle essentiel dans la formation de ces épisodes

Ce sont bien les émissions, qu'elles soient locales ou exogènes, qui contribuent à la formation de ces épisodes. Les normes permettent de mieux cerner la valeur absolue de ces épisodes, tandis que les cartes montrent leur extension spatiale.

Les normes en vigueur permettent de situer la sévérité des épisodes puisque le phénomène de pointe a une valeur relative. Mais les normes peuvent évoluer dans le temps. Ainsi, en forçant à peine le trait, il est possible d'affirmer que les pics d'aujourd'hui correspondent au bruit de fond d'hier car, comme le relève un document du RNSP¹ : « l'utilisation du terme 'pic' pour toute situation reflétant une modification relative des conditions habituelles constitue un excès de lan-

gage propre à entretenir une certaine confusion entre les situations du passé et celles rencontrées aujourd'hui ».

En effet, les polluants mesurés sont des indicateurs d'éléments différents. L'ozone mesuré peut représenter différents gaz photochimiques ; les investigations récentes montrent la complexité de la nature des particules qui peuvent même apparaître, quand elles sont ultrafines, sous forme de NOx. Certaines particules mesurées sont primaires, d'autres secondaires ou semi-volatiles, ce qui a introduit une discontinuité dans les mesures, comme le montre I. Roussel (2015), en retraçant l'histoire des alertes. Cette imprécision sur la réalité du cocktail atmosphérique rend difficile l'utilisation des normes pour rendre compte des impacts sanitaires de la pollution. Les normes ont pu donner l'impression d'introduire une dimension sanitaire et de transformer l'occurrence d'un épisode en risque sanitaire à maîtriser. Or, mis à part les seuils choisis pour l'ozone qui traduisent des données toxicologiques et expérimentales, les seuils utilisés pour définir des épisodes ne marquent pas un risque accru, et surtout leur respect n'est pas une garantie d'innocuité. Ces seuils, d'ailleurs, ont tendance à fluctuer selon les besoins stratégiques du moment (H. Scarwell). D'où les interrogations des responsables sanitaires vis-à-vis des « pointes » rappelées par B. Nader et S. Host.

La stratégie de gestion par les normes, mise en œuvre par les alertes, a tendance à simplifier une réalité complexe qui ne peut plus être assimilée à la pollution industrielle locale. En effet, l'occurrence de sources exogènes lors de certains épisodes complique la gestion et, en même temps, affranchit ces épisodes de la simple responsabilité des acteurs locaux.

Si les normes permettent de situer les épisodes dans le temps, les modèles permettent de spatialiser l'extension de l'épisode.

Les modèles intégrant à la fois des paramètres météorologiques et des données d'émissions peuvent rendre compte de l'extension spatiale de l'épisode. Ces modèles, dont le choix est discuté par N. Michelot *et al.* (2015), sont des outils récents qui ne permettent pas de reconstituer l'historique des épisodes, comme on peut le faire, non sans difficultés et incertitudes, avec de longues séries de mesures.

La cartographie développée à l'heure actuelle

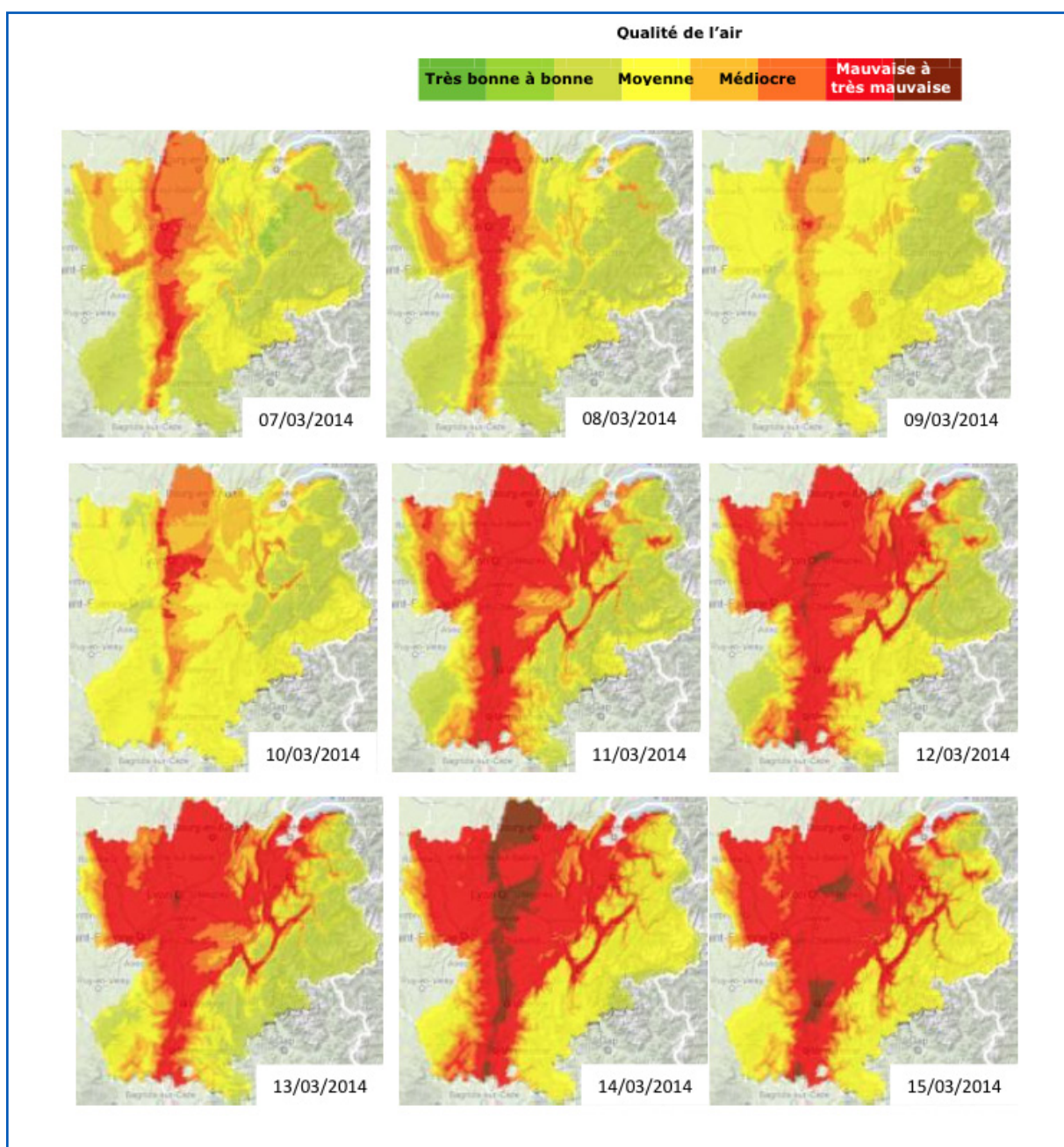


Figure 2.

Évolution spatiale de l'épisode de pollution dans la région Rhône-Alpes (source : Air-Rhône-Alpes).

montre qu'au cours de certains épisodes, comme en mars 2014, seules les zones d'altitude ont été épargnées, les Vosges (R. Deprost) et les sommets alpins (cf. ci-dessous). L'article rédigé par Airparif (2015) comme la cartographie réalisée par Air-Rhône-Alpes² confirment cette constatation.

Une pollution locale, cantonnée dans les villes et progressivement dans les vallées alpines au début de l'épisode, se généralise petit à petit entre le 11 et le 14 mars et souligne l'arrivée

d'une pollution importée. Cependant, compte tenu des limites des modèles qui ne peuvent pas inclure, en routine, des éléments de topoclimatologie, évalués à des échelles fines, ces cartes ne peuvent que donner des indications globales sans rentrer dans le détail de l'exposition des individus.

Les outils d'investigation mis au point par les AASQA et utilisés quotidiennement permettent actuellement de mieux identifier la nature des polluants incriminés dans ces épisodes. La caracté-

térisation des particules, présentée par L. Rouil (2015) permet de mieux connaître les sources qui contribuent à ces épisodes de pollution élevée, et donc d'agir de manière plus pertinente, même si, dans les villes, la pollution d'origine automobile est toujours incriminée.

Tous ces outils développés récemment permettent d'affiner l'expertise et de mieux cerner ce phénomène non sans introduire un certain nombre d'incertitudes identifiées : les limites des échelles fines dans les modèles (les brûlages, le réenvol des poussières, voire même les épandages agricoles ne sont pas pris en compte dans les cadastres des émissions), les limites des normes pour identifier un risque sanitaire (H. Scarwell)... La définition des « pointes » relève de l'expertise, tandis que les actions à exécuter pendant ces périodes, considérées comme présentant un risque sanitaire, sont prises en charge par l'État en tant que garant de la sécurité sanitaire des citoyens. Cependant, un des enjeux du dispositif d'alerte consiste à informer l'ensemble des citoyens pour leur faire prendre conscience d'une responsabilité partagée.

II. La gestion des « pointes » est prise en charge par l'État qui transforme les pointes en alertes

L'État, en fonction de ses prérogatives institutionnelles sur la maîtrise de la qualité de l'air, souhaite intégrer ces épisodes au sein d'un dispositif d'intervention plus vaste, comme l'avait fait la LAURE ou comme le rappelle le futur PREPA porté par la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, votée le 3 mars 2015. Les initiatives de l'État s'imposent puisque la pollution locale n'est pas la seule à contribuer aux épisodes, les polluants peuvent avoir des origines transfrontalières que l'État a en charge de gérer à travers les traités internationaux. C'est aussi l'État qui s'engage, au sein de l'Europe, à respecter les normes indiquées dans les directives. C'est d'ailleurs en raison de cette responsabilité de l'État que l'association Respire a pu porter plainte pour non-respect des normes.

L'occurrence d'une pointe de pollution est en quelque sorte un constat d'échec montrant que les émissions sont encore trop élevées. Cet échec n'est pas uniquement celui des collectivités

locales ou des habitants puisque la pollution peut être exogène. C'est pourquoi, compte tenu de la variété des caractéristiques de ces épisodes, l'État a mis en place des dispositifs d'urgence. L'arrêté de mars 2014, précisé par une instruction technique de septembre 2014, est présenté par N. Michelot. Outre le fait, entre autres, qu'il harmonise les critères de déclenchement et porte les outils de modélisation, il a été adapté aux contextes locaux à travers différents arrêtés préfectoraux, comme celui de décembre 2014 édicté dans la région Rhône-Alpes ou celui du 9 mars 2015 pour la Basse-Normandie.

C'est l'État, à travers la personne du préfet, qui transforme l'épisode en alerte avec une graduation dans les mesures prises. Ces dispositifs s'appliquent essentiellement sur des périmètres administratifs, le plus souvent des départements ou des groupes de départements, mais peuvent aussi être adaptés à de plus fines échelles, comme les bassins d'air en région Rhône-Alpes où, en raison de la variété des conditions topoclimatiques, 17 zones d'alerte ont été identifiées. Certaines agglomérations, comme Strasbourg, ont mis au point leur « plan particules » qu'elles peuvent mettre en œuvre rapidement pour compléter le dispositif préfectoral. L'application de ces dispositifs d'alerte s'arrête aux frontières puisqu'il s'agit d'un mode de gestion national, peu partagé par nos voisins. En mars 2014, les journaux anglais stigmatisaient la France qui, d'après la presse, était fortement polluée, alors que les niveaux de pollution enregistrés à Londres étaient quasiment identiques. Des réactions analogues ont pu être observées dans le Bade-Wurtemberg (Allemagne).

La première des mesures à prendre en cas d'épisode identifié par le préfet en accord avec le réseau de mesure consiste à informer les citoyens du risque encouru.

L'information est envoyée à une liste de correspondants qui, eux-mêmes, ont la charge de diffuser l'information qui est également confiée à la presse sous la forme d'un communiqué de presse. Souvent, les journaux, outre l'information transmise par la préfecture, transmettent des détails sur la pollution de l'air et ses effets.

L'exemple de la page des *Dernières Nouvelles d'Alsace* du 5 décembre 2013 illustre cette conjonction entre la transmission de l'information sur l'alerte aux particules à Mulhouse et, en même temps, sur la même page, figure un article



Figure 3. Les Dernières Nouvelles d'Alsace, le 5 décembre 2012.

plus fondamental sur l'explication du lien entre la mortalité et la pollution de l'air. L'annonce d'un « pic » est souvent l'occasion pour la presse de diffuser une explication détaillée.

Cette information a pour objectif de prévenir les personnes sensibles (personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics (par exemple, personnes diabétiques, personnes immunodéprimées, personnes souffrant d'affections neurologiques ou à risque) ou vulnérables (femmes enceintes, nourrissons et jeunes enfants, personnes de plus de 65 ans, personnes souffrant de pathologies cardio-vasculaires, insuffisants cardiaques ou respiratoires, personnes asthmatiques) de prendre des précautions. Les conseils ont été détaillés dans l'arrêté pris en août 2014 sur les conseils d'un avis du Haut conseil de la santé publique. Les AASQA transmettent un aperçu simplifié de ces recommandations, plus détaillé, comme le montre le communiqué émis par Air-Rhône-Alpes³ à travers l'exemple de décembre 2014, ou celui, encore plus simplifié, élaboré par Atmo PACA⁴.

B. Nader évoque les difficultés rencontrées pour élaborer une prévention efficace ces jours de forte pollution et le scepticisme des épidémiologistes quant à l'attention portée aux seuls pics de pollution. Toutefois, lors de l'épisode de

mars dernier, les Franciliens interrogés ont fait état d'une relation directe entre la pollution et la gêne ressentie. L'AFP, dans une note du 17 mars (figure 4) rend compte de la recrudescence des crises d'asthme au cours de ces épisodes, peut-être en liaison avec le début de la saison pollinique (S. Monnier *et al.*, 2015). L'occurrence d'autres symptômes hivernaux (toux, rhume...) n'est peut être pas liée à la pollution mais mériterait d'être surveillée (S. Host). Le meilleur remède consisterait sans doute à respecter les seuils préconisés par l'OMS et à éviter l'apparition des épisodes présentant des niveaux de polluants dépassant ces seuils.

Dès le premier niveau d'information-recommandation, le préfet peut recommander un certain nombre de comportements susceptibles de ne pas augmenter les niveaux de pollution (figure 5). Il peut également imposer une diminution de la vitesse sur certains axes. Mais, le plus souvent, les conseils prodigués sont incitatifs : prendre les transports en commun, éviter d'allumer des feux et modérer les pratiques sportives.

Lorsque l'épisode s'amplifie, le second niveau est celui de l'alerte, au sein duquel peuvent se déployer des mesures d'urgence dont le caractère peut être contraignant.

Outre les implications sur les industriels, ces mesures portent actuellement essentiellement

Pollution et asthme: les jeunes enfants plus touchés en Ile-de-France

17/03/2014 19h56 - ENVIRONNEMENT-SANTÉ-POLLUTION-TRANSPORTS-GOUVERNEMENT-IDF - Monde (FRS) - AFP

PARIS, 17 mars 2014 (AFP) - Une hausse "régulière" des passages aux urgences en Ile-de-France pour asthme, pendant l'épisode de pollution de l'air atmosphérique de jeudi à dimanche, a été noté par l'Institut de veille sanitaire (InVS), avec une "augmentation particulière" chez les jeunes enfants.

"La hausse a été régulière tous âges confondus pour l'asthme depuis jeudi dernier: on est ainsi passé de 64 passages aux urgences pour asthme jeudi 13 mars, à 106 dimanche 16 mars", a indiqué lundi à l'AFP le Dr Thierry Cardoso, directeur du Département coordination des alertes et des régions (DCAR) à l'InVS.

Ces valeurs n'avaient pas été observées lors des deux dernières années aux mêmes dates en Ile-de-France, a ajouté le Dr Cardoso.

"Une augmentation particulière" a été relevée chez les moins de quinze ans, notamment chez les enfants de moins de cinq ans avec 25 passages aux urgences jeudi dernier contre 42 le dimanche qui a suivi, a précisé le Dr Cardoso. Chez les 5-14 ans, on est passé de 22 cas à 28 aux urgences, sur cette période.

"Ce n'est pas un afflux massif aux urgences, mais il s'agit d'une augmentation notable", a noté ce spécialiste qui s'appuie sur un système d'alerte et de surveillance d'une dizaine d'indicateurs (respiratoires, etc.) utilisé, entre autres, pour la grippe.

Figure 4.

Note de l'AFP du 17 mars 2014.

Mais que faire quand l'épisode est installé ou prévu ? Les mesures d'urgence

sur la limitation de la vitesse sur les autoroutes, comme le montre l'article du 12 décembre 2013 (figure 6).

Les collectivités peuvent compléter ce dispositif en offrant la gratuité des transports en commun ou des tarifs préférentiels, comme à Strasbourg (figure 6). Cependant, la gratuité a un coût, et le STIF (Syndicat des Transports en Ile de France) ne veut pas être le seul à supporter le manque à gagner.

La mesure la plus spectaculaire est celle de la circulation alternée mise en place à Paris en

1997 et le 17 mars 2014. Le sondage effectué par l'ADEME (p. 35) souligne l'acceptabilité du dispositif considéré comme une expérience préfigurant des contraintes plus pérennes pour maîtriser réellement la pollution. Cette mesure, accompagnée par de nombreux contrôles, a rencontré plusieurs réticences, tandis que son efficacité est étudiée par Airparif : d'aucuns trouvent qu'il vaudrait mieux laisser les véhicules les plus polluants au garage plutôt que ceux qui portent un numéro impair. D'autres ne croient pas à l'efficacité du dispositif, venu, il est vrai, après le passage de la pointe de pollution (figure 8). D'autres, enfin, considèrent que les polluants étant largement d'origine agricole, les contraintes devaient porter sur les agriculteurs qui ont fait l'objet de sollicitations de la part du ministère de l'Agriculture, selon une dépêche de l'AFP du 15 mars à 11h33, selon laquelle : « le ministère de l'Agriculture recommande aux agriculteurs de 'restreindre ou reporter' les épandages d'engrais et les travaux au sol face aux pics de pollution aux particules qui touchent plusieurs régions françaises. En outre, selon les niveaux de pollution aux microparticules, des interdictions d'écobuage ou de brûlage à l'air libre des sous-produits agricoles ont été ou seront le cas échéant prises par les préfets en fonction des situations locales ».



Figure 5.

Communiqué des Dernières Nouvelles d'Alsace du 13 mars 2014, indiquant le maintien de la procédure d'alertes et les recommandations à suivre.

Ces mesures d'urgence, quelquefois mises en œuvre à la hâte, peuvent être perçues comme des réponses obligées à une attente créée par la forte médiatisation des alertes qui contraste avec



Figure 6.

Les mesures d'urgence prises dans le Bas-Rhin le 12 décembre 2013 (*Dernières Nouvelles d'Alsace*, 12 décembre 2013).

l'impuissance apparente des pouvoirs publics. « Nous savons que la pollution atmosphérique tue. Que faisons-nous maintenant ? », s'exclame Simone Werhling dans *Les Dernières Nouvelles d'Alsace*, le 5 décembre 2013. *Le Monde* du 15 mars 2014 dénonce « l'inertie de la France depuis 20 ans » et « l'inaction des politiques » tandis que dans ce même journal, Marie-Béatrice Beaudet et Pierre le Hir s'interrogent : « il a fallu attendre une semaine pour que le gouvernement se décide à prendre de timides mesures d'urgence, jeudi 13 mars, afin de lutter contre la pollution de l'air – exceptionnelle dans sa durée, son intensité, son amplitude territoriale – qui plombe le ciel de plus de trente départements français. Les transports en commun sont gratuits jusqu'à dimanche soir en région parisienne et dans d'autres villes comme Caen et Rouen. Pourquoi un tel retard alors que ces nuages toxiques de particules fines, classés par l'OMS comme cancérigènes, réduisent l'espérance de vie – de six à dix mois à Paris – des populations et provoquent des maladies respiratoires et vasculaires ? ». Le découragement se fait sentir aussi l'été, lors des pics d'ozone, comme on peut le lire dans *Var Matin*, le 13 juillet 2010 : « La région Provence-

La population est invitée à limiter l'utilisation des véhicules à moteur au strict nécessaire et à privilégier la marche à pied ou la bicyclette pour les courts trajets, le transport en commun pour les trajets plus longs.

Pour en savoir plus : <http://www.atmo-alsace.net>

Les particules sont de fines matières liquides (brouillard) ou solides (poussières, fumées) en suspension dans l'air, d'origine naturelle (feux de forêt, poussières volcaniques...) ou issues des activités humaines, dont principalement le trafic routier.

Les particules provoquent des effets inflammatoires sur les voies respiratoires et certaines d'entre elles sont suspectées d'être cancérigènes après une exposition à

long terme.

La taille des particules constitue un critère essentiel, car il détermine, notamment, la profondeur de la pénétration dans l'arbre pulmonaire.

- Les particules les plus grosses (> 10 µm) se déposent rapidement et sont retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures (spores, bactéries, pollen...);
- Les particules de taille intermédiaire (entre 2,5 et 10 µm) se déposent au niveau de l'arbre trachéo-bronchique et peuvent être éliminées par la toux;
- Les particules fines (< 2,5 µm) atteignent en grand nombre les alvéoles pulmonaires.

(*) Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique. ■

RTE 04

Contrôles antipollution à gogo pendant l'alerte

L'OPÉRATION ne prendra que quelques minutes. Pendant qu'un fonctionnaire de police vérifie les papiers de la voiture qu'il vient d'arrêter, un de ses collègues place un capteur dans le pot d'échappement du véhicule. « Laissez tourner le moteur », indique-t-il à la conductrice. Tout de suite après, le résultat s'affiche sur l'écran de l'appareil de mesure.

Les gaz d'échappement de la petite C3 essence contiennent nettement moins de 4,5 % de monoxyde de carbone (la limite autorisée). La conductrice peut repartir. « Dans le cas contraire, elle aurait eu droit à une contravention à 90 € et à une immobilisation administrative du véhicule... C'est-à-dire un délai de 48 heures pour faire réparer la voiture », explique le brigadier en charge de l'opération mise en place hier toute la journée sur la place de la Nation (XII^e).

Et le périphérique à 60 km/h

Les contrôles de ce type — déjà fréquents en temps normal — se sont multipliés depuis mercredi dernier et les dépassements à répétition des seuils d'information ou d'alerte à la pollution aux particules fines. Outre la mise en œuvre des mesures réglementaires habituelles (réduction des vitesses et notamment 60 km/h sur le périphérique, recommandations sanitaires pour les personnes fragiles...), le préfet de police de Paris a en effet demandé une intensification de la surveillan-



Place de la Nation (XII^e). Le préfet de police de Paris a demandé une intensification de la surveillance de la circulation. (LP/PH)

ce de la circulation. Selon la préfecture de police (PP), les contrôles de vitesse à l'aide de radars mobiles (les radars fixes n'étant pas ré-étalonnés aux vitesses « antipollution ») ont permis de relever près de 13 000 excès de vitesse sur l'ensemble des axes d'Ile-de-France, depuis mercredi. 551 défauts de contrôle technique et 30 infractions pour « débridage » de véhicule ont également été verbalisés. « La plupart du temps, les gens ne savent pas que

leur véhicule est polluant », note un brigadier du service logistique de la PP, surpris du peu de succès des diagnostics gratuits organisés tous les vendredis matins derrière l'hippodrome de Vincennes.

Lui, et ses collègues seront à nouveau sur le bord des routes aujourd'hui, pour de nouveaux contrôles, puisqu'une nouvelle alerte à la pollution a été déclenchée. La cinquième en moins d'une semaine.

BENOIT HASSE

Figure 7.

Les contrôles menés pendant l'alerte et relatés dans *Le Parisien* du 12 mars 2014.

blématique des émissions automobiles, et non pas à l'adoption de mesurettes plus spectaculaires qu'efficaces'. 'Il faut des aménagements de fond de la zone industrialo-portuaire', renchérit le collectif citoyen environnement Provence. Des mesures de fond prévues par les pouvoirs publics, selon Fabienne Fournier Beraud, responsable de la mission qualité de l'air à la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Paca (Dréal), qui cite notamment le plan de protection de l'atmosphère (PPA) des Bouches-du-Rhône et ses '43 mesures pérennes' pour réduire la pollution atmosphérique. Parmi elles, l'utilisation de carburants à teneur en soufre réduite par les navires au sein du port autonome de Marseille ou la limitation du temps de fonctionnement des groupes auxiliaires qui fournissent de l'électricité aux avions en escale sur l'aéroport Marseille-Provence. Des mesures visiblement insuffisantes au vu des pics actuels ».

Ces demandes d'action, au moment des élections municipales d'avril 2014, ont suscité des engagements de la part des élus qui ont dû faire des promesses pour maîtriser la qualité de l'air dans leur ville et ne plus revoir ces épisodes. Les primes à la casse et la création de zones à circulation réglementée ont pour objectif de limiter l'accès des villes aux véhicules les moins polluants. Mais là encore, comme l'installation d'un péage urbain, ces mesures demandent une grande préparation en associant les habitants concernés. Ces solutions sont coûteuses et se déroulent sur un temps long.

L'État, pour sa part, a tiré les leçons de ces événements et profité des progrès réalisés dans l'expertise pour rendre les mesures d'urgence plus homogènes et plus pertinentes grâce à l'arrêt de mars 2014, suivi par l'instruction technique de septembre 2014. Les outils dont disposent les



ÉDITORIAL par Yves Thréard ythreard@lefigaro.fr

Gadget écolo

Certes, l'air n'était sans doute pas très pur ces derniers jours. Mais, quand même, on n'a pas fini de se demander pourquoi le premier ministre a décidé d'imposer la circulation alternée ce lundi à Paris.

Pourquoi dans la capitale, et pas dans les agglomérations lyonnaise et marseillaise, tout autant touchées par les fameuses microparticules ? Pourquoi ce jour-là, alors que le pic de pollution était passé et que la fraîcheur était revenue ? Oui, pourquoi, puisque les médecins, dans leur grande majorité, n'avaient pas observé une hausse du nombre de consultations la semaine dernière ?

Viennent donc à l'esprit quelques considérations politiques. Jean-Marc Ayrault, critiqué de toutes parts, entend-il montrer qu'il gouverne encore ? Est-ce, de sa part, un signe de fébrilité, à quelques jours d'un possible changement de gouvernement et de premier ministre ? Est-ce une façon de s'accorder les faveurs du vote écologiste à moins d'une semaine d'élections municipales qui s'annoncent périlleuses pour les socialistes ? Quoi qu'il en soit, cette mesure relève plus du gadget écolo que d'une politique envi-

ronnementale digne de ce nom. Elle ne résout rien à long terme, même si le gouvernement dresse un bilan positif de l'expérience. Chacun sait que la réduction de la pollution passe d'abord par la fin des moteurs diesel, dont la France s'était fait une spécialité, et un encouragement aux véhicules électriques, dont Vincent Bolloré est l'artisan émérite. Elle ne saurait, en outre, être une affaire

Si la pollution est sans frontières, notre crédulité a des limites

douanières : nous subissons de plein fouet le remplacement de l'industrie nucléaire par les énergies fossiles en Allemagne.

Ce n'est donc que par une politique ambitieuse, coordonnée à l'échelle européenne, que l'on pourra changer le fond de l'atmosphère. Et non par des mesures ponctuelles aux effets cosmétiques. Si la pollution est sans frontières, notre crédulité a des limites. ■

seulement nationale.

Tout comme le nuage de Tchernobyl naguère, l'air vicié se moque des réglementations

Figure 8.

Le regard critique d'un éditeur du *Figaro*.

AASQA permettent de mieux anticiper l'épisode, de définir le périmètre de la zone d'alerte et, pour les particules, de mieux cibler les sources incriminées.

Conclusion

Certes, depuis les premières tentatives de gestion des pointes qui ont pris les préfets au dépourvu, surtout dans certaines régions littorales (I. Roussel), les dispositifs se sont adaptés pour donner à l'information et aux mesures d'urgence une efficacité plus grande. L'amélioration de l'expertise permet de mieux caractériser les épisodes et surtout de les anticiper. Les mesures d'urgence sont d'autant plus pertinentes qu'elles ont été déjà testées et préparées. Mais ne préfigurent-elles pas des mesures qu'il conviendrait de pérenniser ? L'AFP, dans une dépêche du 20 mars 2014 à 10h24 nous rend compte d'une joute oratoire entre Bertrand Delanoë et Nathalie Kosziusko-Morizet qui accuse la maire de Paris d'avoir manqué de courage et pris des mesures insuffisantes pour lutter contre la pollution. Ce à quoi, Bertrand Delanoë réplique avoir « combattu la pollution dans la durée, loin des préoccupations politiciennes autour du pic récent ». S'il est vain d'opposer mesures d'urgence et mesures pérennes, il convient de lever certaines incohé-

rences ; celle qui pèse sur le diesel a été abondamment citée, mais le développement du vélo et les conseils à donner les jours de pollution ne font pas encore l'unanimité en dépit des résultats donnés par les études menées (C. Praznocy⁵).

Comme pour toutes les actions de prévention, l'évaluation de l'efficacité des mesures prises pour atténuer les effets des épisodes de pollution est difficile à quantifier. Des retours d'expérience existent sur l'organisation de la circulation alternée à Paris, en 1997, pour atténuer les effets d'une pointe de NO₂, et en 2014, pour lutter contre les particules (Airparif). Les résultats montrent que la circulation a diminué et donc les émissions liées à l'automobile (Airparif) ont baissé, mais c'est clairement le changement de la situation météorologique qui a mis fin à l'épisode (J.-P. Tonnelier) par l'apport d'un air propre sous l'influence d'un flux arctique maritime. Le préfet de la région Rhône-Alpes souligne combien la levée de l'alerte s'explique par la météo et par les actions mises en œuvre depuis le début de l'épisode (dépêche de l'AFP 18/03 à 16h45). Il salue le comportement citoyen des Rhône-Alpins qui ont accepté de changer leurs habitudes et de différer des activités polluantes.

C'est ainsi que la gestion de la pollution de l'air interroge à la fois les phénomènes météo-

rologiques et les activités humaines, étroitement imbriquées mais destinées à aboutir à un équilibre, de manière à ce que la capacité de dispersion de l'atmosphère puisse absorber les émissions pour maintenir une qualité de l'air favorable à la santé de l'homme. La complexité de cet enjeu est bien loin de la quasi-linéarité observée entre les émissions industrielles et la maîtrise des immissions. Ce défi de l'environnement suppose une combinaison des savoirs qui doivent en même temps se nourrir de l'action et des expériences tentées.

Les travaux effectués au sujet de ces épisodes demanderaient à être poursuivis de manière pluridisciplinaire. En effet, pour réaliser ce premier état des lieux, cet état de l'art, il a fallu réunir

les compétences de nombreux ingénieurs mais aussi d'épidémiologistes, de politistes, de pharmaciens, de géographes et de sociologues. Cette investigation montre combien l'étude des pointes ne peut pas être découplées de tout le contexte de cet objet complexe qu'est la pollution de l'air, lui même très lié à l'évolution des connaissances. En effet, surtout dans la perspective du changement climatique, l'ampleur de la tâche à accomplir suppose également d'avoir une meilleure connaissance de l'évolution de l'opinion et de l'acceptabilité des transformations culturelles et économiques radicales qui s'imposent dans ce nouveau contexte qui est celui de l'Anthropocène, dans lequel il convient de mieux coupler les innovations technologiques avec le métabolisme de la planète...

1. RNSP, pics de pollution atmosphérique et santé publique, la place de l'épidémiologie, mars 1998, 16 p.
2. <http://www.air-rhonealpes.fr/site/media/telecharger/688949>
3. [file:///Users/isarou/Downloads/episode_de_pollution___communiqu%C3%A9_du_16_d%C3%A9cembre_2014%20\(1\).pdf](file:///Users/isarou/Downloads/episode_de_pollution___communiqu%C3%A9_du_16_d%C3%A9cembre_2014%20(1).pdf)
4. http://www.airfobep.org/docs/affiche_recommandations.pdf
5. Praznoczy C., Les avantages sanitaires de la promotion du vélo dans le cadre des déplacements domicile-travail, Pollution atmosphérique n° 219, [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=2377>

Références

- ADEME. Évaluation de la circulation alternée en Ile de France.
- AIRPARIF. (2015). Bilan de l'épisode de pollution de mars 2014 et évaluation de la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014 en Ile de France. *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 25
- Deprost R., Paul P., Vasbien F., Kleinpeter J. (2015). Conditions météorologiques et épisodes de pollution par les particules en Alsace. *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 115
- Host S., Karusisi N., Fiori M. et al. (2015). Analyse de l'impact sanitaire d'un épisode de pollution : retour d'expérience sur la surveillance syndromique lors de l'épisode de mars 2014 et difficultés méthodologiques *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 179
- Michelot N., Carrega P., Rouïl L. (2015). Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique, *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 92
- Michelot N. (2015). Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 20
- Monnier S., Thibaudon M., Besancenot J.-P., Michelot N. (2015). Pollution, pollen et pollinoses : retour sur l'épisode de pollution de mars 2014 en France, *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 157
- Nader B. (2015). Épisodes de pollution aiguë : quelles réponses sanitaires pour quels enjeux ? *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 165
- Rouïl L. (2015). Épisodes de pollution particulaire en France : quels enseignements tirer des récents épisodes ? *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p.
- Roussel I. (2015). Le regard du Progrès de Lyon sur les épisodes de pollution 1997-2013, *Pollution atmosphérique*, n° spécial, « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 185
- Roussel I. (2015). Épisodes de pollution et dispositifs d'alerte en France : une vision historique et sociopolitique. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 40
- Scarwell H. (2015). Élaboration et signification des normes : une tendance à la simplification d'une réalité plus complexe ?, *Pollution atmosphérique*, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 67
- Tonnelier J.-P., Guidotti S., Lossec B. et al. (2015). La météorologie et les pics de pollutions. Étude des cas de décembre 2013 et mars 2014. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience », p. 78
- Roussel I. (2015). Les épisodes d'ozone en région PACA, le prix sanitaire du soleil, n° spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience ». p. 135

DOCUMENTS

Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant

Nicolas MICHELOT

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie.
Direction générale de l'énergie et du climat. Bureau de la qualité de l'air.
92055 La Défense cedex.

Résumé :

L'arrêté interministériel du 26/03/2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant permet de clarifier, d'harmoniser et de stabiliser les modalités de gestion des pics de pollution. En effet, les événements de pollution de l'air méritent une organisation particulière car ils sont souvent évolutifs d'un jour sur l'autre et parfois étalés sur plusieurs départements. Ils impliquent la mise en œuvre par les préfets, de mesures adaptées au contexte local dans les différents secteurs d'activités, dans des délais très courts. Or, jusqu'à présent, des mesures de gestion disparates étaient mises en œuvre dans le cadre de la prévision et de gestion des pics de pollution au travers des arrêtés préfectoraux qui laissaient apparaître de larges différences non justifiées et non adaptées à une gestion optimale du phénomène.

En application de l'article R.223-1 du code de l'environnement, l'arrêté interministériel met désormais en place un mécanisme harmonisé et simplifié de gestion des pics de pollution par les préfets, avec une approche graduée qui accorde une souplesse localement pour décliner des mesures de réduction d'émissions dans les différents secteurs d'activités contribuant aux épisodes de pollution. Enfin, l'arrêté s'inscrit dans une volonté de simplification administrative, de regroupement et de mise à jour de différents textes en la matière.

Mots-clés :

réglementation, pollution de l'air, pic, alerte, particules, ozone, dioxyde d'azote.

Introduction

Les concentrations de polluants dans l'air sont réglementées par les directives 2008/50/CE et 2004/107/CE, transposées en droit français dans le code de l'environnement. Ces directives prévoient pour chaque polluant réglementé des valeurs limites à respecter, calculées sur 1 an, dont le respect nécessite la mise en place de plans d'actions pérennes. Elles fixent aussi des seuils d'information et d'alerte caractérisant des situations aiguës de pic de pollution, au cours desquelles il est nécessaire d'informer la population, d'émettre des recommandations comportementales et sanitaires et, le cas échéant, de mettre en œuvre des plans d'actions à court terme.

L'amélioration de la qualité de l'air est soutenue actuellement en France de manière pérenne avec, entre autres, des plans nationaux (plan particules et futur Plan de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques, dit PREPA, dont la publication est attendue pour mi-2015) et locaux (plan de protection de l'atmosphère, dit PPA, qui est l'outil juridique et de planification de la politique de l'air localement).

La France a fait le choix de gérer de manière ambitieuse les pics de pollution (dépassement des seuils d'information-recommandation et d'alerte). C'est ainsi que le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air a abaissé les seuils d'information-recommandation et d'alerte des PM₁₀ afin que le seuil d'information-recommandation soit le même que le seuil annuel à ne pas dépasser plus de 35 jours par an imposé par la directive 2008/50/CE. La gestion des épisodes de pollution aiguë, qui n'arrivent que quelques jours par an, a pour but d'écarter les pics afin de minimiser l'impact de cette pollution en particulier sur les personnes les plus fragiles, et de diminuer la durée de tels épisodes en mettant en place le plus tôt possible des mesures de réduction des émissions. La mise en œuvre de mesures adaptées localement et au bon moment, peut permettre une baisse, certes parfois limitée et fonction des conditions météorologiques, des niveaux ambiants et donc à la fois de descendre sous les seuils réglementaires et de limiter l'exposition de la population sensible.

L'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant (dit arrêté « mesures d'urgence ») permet désormais

de clarifier, d'harmoniser et de stabiliser les modalités de gestion des pics de pollution. En effet, les événements de pollution de l'air méritent une organisation particulière car ils sont souvent évolutifs d'un jour sur l'autre et parfois étalés sur plusieurs départements. Ils impliquent la mise en œuvre par les préfets, de mesures adaptées au contexte local dans les différents secteurs d'activités, dans des délais très courts.

L'arrêté interministériel en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2014, doit être décliné sous la forme d'arrêtés préfectoraux ou interpréfectoraux de mise en œuvre des procédures. Ces arrêtés préfectoraux existent déjà et devront donc être révisés.

Cet article de vulgarisation a pour but de présenter cet arrêté interministériel qui marque un changement certain dans le paysage de la gestion des épisodes de pollution, puis de souligner les principales évolutions qu'il introduit par rapport à l'ancien dispositif.

1. Présentation de l'arrêté interministériel

1.1. Quelques éléments

juridiques

Le dispositif de gestion des épisodes de pollution par le préfet de département est défini dans la partie réglementaire du code de l'environnement (livre II, titre II, chapitre 3). Il était jusqu'à présent encadré par deux arrêtés et plusieurs circulaires :

- l'arrêté du 17 août 1998 relatif aux seuils de recommandation et aux conditions de déclenchement de la procédure d'alerte ;

- l'arrêté du 11 juin 2003 relatif aux informations à fournir au public en cas de dépassement ou de risque de dépassement des seuils de recommandation ou des seuils d'alerte ;

- la circulaire du 17 août 1998 (circulation des véhicules) ;

- la circulaire du 18 juin 2004 relative aux procédures d'information et de recommandation et d'alerte et aux mesures d'urgence ;

- la circulaire du 12 octobre 2007 relative aux épisodes de pollution aux particules PM_{10} ;

- diverses circulaires relatives à l'information du public.

L'arrêté « mesures d'urgence » s'inscrit dans une volonté de simplification administrative, de regroupement et de mise à jour de ces différents textes.

L'article L.223-1 du code de l'environnement prévoit qu'en cas d'épisode de pollution, le préfet informe immédiatement le public et, selon le niveau de seuil atteint (seuil d'information-recommandation ou seuil d'alerte), émet des recommandations ou prend des mesures propres à limiter l'ampleur et les effets de la pointe de pollution sur la population. Cet article donne également la possibilité au préfet de déclencher des procédures préfectorales, y compris des mesures restrictives et juridiquement contraignantes, lorsque « les normes de qualité de l'air [...] ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être ».

L'article R.223-1 du code de l'environnement prévoit « qu'un arrêté conjoint des ministres chargés de l'Environnement, de la Santé, de l'Industrie et des Transports précise les conditions de déclenchement des différentes mesures applicables aux sources fixes et mobiles de pollution lorsque les seuils d'alerte sont dépassés ou risquent de l'être ».

L'article R.223-2 prévoit que le préfet prend un arrêté, compatible avec le PPA lorsqu'il existe, qui définit les procédures applicables localement en cas d'épisode de pollution.

1.2. Les grands principes de fonctionnement

L'arrêté « mesures d'urgence » prévoit que les arrêtés préfectoraux ou interpréfectoraux reprendront la totalité des actions d'information et de recommandations et des mesures réglementaires présentes en son annexe, mais que ces mesures devront être adaptées au contexte local (notamment économique) dans leur formulation et dans leurs modalités de mise en œuvre.

En outre, il appartient au préfet de décider, à

chaque épisode de pollution, quelles mesures de l'arrêté préfectoral ou interpréfectoral doivent être déclenchées en fonction des caractéristiques de la pollution constatée ou prévue. C'est d'ailleurs ainsi que fonctionnent de nombreux dispositifs préfectoraux à l'heure actuelle : un arrêté préfectoral « cadre » regroupe toutes les mesures susceptibles d'être déclenchées et précise quelles mesures sont prises automatiquement lorsqu'il y a des épisodes de pollution. Les autres mesures sont prises au coup par coup, si besoin, par des arrêtés préfectoraux complémentaires.

L'intérêt de la liste de mesures annexée à l'arrêté « mesures d'urgence » est d'élargir le spectre des mesures prévues dans chaque département et d'éviter toute situation où une mesure, non prévue en amont mais nécessaire, ne pourrait être mise en œuvre assez rapidement. La réactivité face aux épisodes de pollution sera donc améliorée.

2. Quelles sont les principales évolutions par rapport à l'ancien dispositif ?

Par rapport à l'ancien dispositif caractérisé par la diversité des dispositifs de déclenchement et des modalités de gestion, l'arrêté « mesures d'urgence » prévoit les évolutions suivantes singulières :

- Une harmonisation nationale des procédures préfectorales en décrivant un déroulé que l'autorité préfectorale doit suivre ; ainsi qu'une harmonisation nationale des critères de déclenchement. Celui-ci se fait, conformément aux dispositions de la directive 2008/50/CE, lorsque le dépassement d'un seuil est modélisé (soit par prévision, soit en intégrant après-coup dans la modélisation les résultats de mesure sur stations de fond) sur une surface d'au moins 100 km² dans une région. Ce critère permet de déclencher les mesures d'urgence lors d'épisodes de grande ampleur, et ainsi de ne pas inclure de dépassements très locaux qui affectent peu la population. Ce critère est complété par un critère de population (10 % de la population d'un département ou 50 000 personnes exposées dans les départements de moins de 500 000 habitants) afin de tenir compte des différences de densité entre les territoires.

La possibilité est malgré tout laissée au préfet de déclencher les mesures d'urgence s'il le souhaite en fonction des situations locales. Les critères de déclenchement ne s'appliquent pas au polluant SO₂ (principalement dû aux installations industrielles), pour lequel les modalités de gestion sont renvoyées au préfet. Lorsque le critère de superficie régionale est validé (dès 100 km² au total), la procédure est activée sur l'ensemble des départements concernés par l'épisode de pollution (c'est-à-dire ceux pour lesquels au moins 25 km² sont prévus de dépasser par modélisation). Si l'arrêté est inter-préfectoral, il peut prévoir les modalités d'extension géographique de la procédure à l'ensemble de la région.

- La possibilité de déclencher des procédures préfectorales sur prévision, afin d'anticiper l'épisode de pollution (modélisation déjà mise en œuvre par les AASQA). Autrement dit, l'arrêté offre la possibilité de déclencher les mesures d'urgence par anticipation lorsque des outils de modélisation sont utilisés.

- La gestion des événements de grande ampleur en confiant au préfet de zone, avec le concours des préfets de départements qui organisent par arrêté le dispositif opérationnel, l'établissement d'un document-cadre zonal. Il prévoit entre autres que des arrêtés préfectoraux définiront localement les modalités de gestion des épisodes de pollution et les mesures à mettre en œuvre (et plus largement, le rôle des différents acteurs). Les préfets de zone sont donc invités à se concerter pour la gestion d'événements inter-zones notamment pour les pollutions à l'ozone, aux PM₁₀, ou lorsque des mesures sont susceptibles d'impacter une zone voisine (report de trafic, par exemple).

- La persistance d'un épisode de pollution aux PM₁₀, qui aura pour conséquence le passage automatique d'une procédure d'information-recommandation (aucune mesure prescriptive et sanctionnable) à une procédure d'alerte (mise en œuvre de mesures prescriptives et sanctionnables) dès lors que le seuil d'information-recommandation est dépassé durant 2 jours consécutifs et qu'il est prévu un dépassement le jour-même et le lendemain (modélisation intégrant les stations de fond), afin d'agir efficacement en anticipation des pics de grande intensité. En l'absence de modélisation, l'épisode est persistant lorsque le dépassement sur station de fond du seuil d'information-recommandation est constaté durant 3 jours consécutifs. Avec l'introduction de la per-

sistance, les épisodes d'alerte seront moins fréquents, mais verront leur durée multipliée par 3, ce qui permettra d'asseoir une communication sans effet « yoyo » et d'engager des mesures fortes de lutte contre la pollution aux particules PM₁₀.

- Une liste d'actions d'information et de recommandations et de mesures réglementaires pouvant être prises par le préfet. Cette liste comporte des mesures qui visent les 4 secteurs d'émission de polluants atmosphériques (secteurs industriel, des transports, résidentiel-tertiaire et agricole). D'après les inventaires du CITEPA, ces secteurs contribuent respectivement à 33 %, 19 %, 27 % et 19 % des émissions nationales de PM₁₀, sachant que localement ces parts varient, comme les transports qui peuvent devenir une source d'émissions prépondérante dans les agglomérations.

L'ensemble de ces évolutions a pour but une meilleure gestion de l'événement par la mise en œuvre en amont des actions adéquates.

Conclusion

Les particularités des anciens textes qui encadraient la gestion des pics de pollution étaient sources de difficultés administratives et organisationnelles. Il était devenu nécessaire de réorganiser les modalités de déclenchement des procédures préfectorales dans le but d'harmoniser, de simplifier les procédures de déclenchement et de gérer au mieux ces épisodes de pollution atmosphérique.

Dans le cadre de cette réorganisation nationale des dispositifs de gestion des épisodes de pollution et suite à la publication de l'arrêté « mesures d'urgence », une instruction technique complète et précise depuis le 24/09/2014 certains points de cet arrêté afin d'assurer une interprétation harmonisée des nouvelles dispositions.

Les principales modalités de cette instruction consistent à définir le rôle des préfets de zone et de département, l'adaptation des mesures au contexte local et aux caractéristiques de l'épisode de pollution, à la communication, au remplissage du portail national « pic de pollution », etc. Ce dernier est élaboré par le laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) pour le ministère du Développement durable, et sera

renseigné quotidiennement, afin de permettre au ministère de connaître quotidiennement la situation relative aux procédures d'urgence engagées et de permettre ainsi de pouvoir communiquer (particulièrement en cas d'épisode d'ampleur nationale).

Enfin, le dispositif est complété par l'arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé. Cet arrêté « a pour objet de préciser aux acteurs locaux, en charge de la communication sur la pollution de l'air et ses effets sanitaires, les principales informations et recommandations sanitaires à diffuser aux populations vulnérables et sensibles ainsi qu'à la population générale, [...] après avoir éventuellement été ajustées au contexte local ».

Remerciements :

Je tiens à remercier l'ensemble des participants du GT « MU » avec lesquels la révision du dispositif a été engagée en octobre 2009. Merci également à Jimmy Brun, Edwige Duclay et Isabelle Derville pour leur contribution centrale et production majeure à ce nouveau dispositif de gestion des pics de pollution. Enfin, je salue les DREAL/DRIEE, l'INERIS/LCSQA, l'ADEME et les AASQA pour leurs remarques et conseils, notamment concernant la mise en œuvre locale du dispositif.

Bilan de l'épisode de pollution de mars 2014 et évaluation de la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014 en Ile-de-France

Amélie FRITZ,¹ Fabrice DUGAY,¹ Cécile HONORÉ,¹ Olivier SANCHEZ,¹ Véronique GHERSI,¹ Charlotte SONGEUR,¹ Pierre PERNOT,¹ Frédéric MAHÉ,¹ Sophie MOUKHTAR,¹ Jean SCIARE²

Le lundi 17 mars 2014, les autorités ont décidé la mise en place d'une circulation alternée à Paris et dans la vingtaine de communes limitrophes, dans le cadre d'un épisode aux particules PM₁₀. Cette décision fait suite à la persistance des niveaux élevés enregistrés par les stations d'Airparif. Une telle procédure avait déjà été mise en place en 1997 mais pour un épisode de pollution au dioxyde d'azote. C'est la première fois qu'elle s'appliquait pour les particules. Sont décrits ci-après le déroulement de l'épisode de pollution de mars 2014, la composition chimique des particules observées lors de cet épisode puis l'évaluation de la mise en place de la circulation alternée sur les niveaux de pollution.

Description de l'épisode de pollution du 5 au 17 mars 2014

La qualité de l'air dépend en grande partie de l'intensité des émissions polluantes mais aussi de la météorologie **qui conditionne notamment la dispersion des polluants ou au contraire leur accumulation. Prévoir la qualité de l'air est donc un exercice difficile puisqu'il doit prendre en compte l'ensemble de ces facteurs.**

Ainsi, vent et pluie favorisent la dispersion, le brassage et le lessivage des polluants. En revanche, les situations anticycloniques persistantes (pression atmosphérique élevée, ciel dégagé, fortes ou faibles températures) accompagnées d'une absence de vent au sol (inférieur à 2 m/s) et de situations d'inversion de température se traduisent par une accumulation progressive des polluants émis au-dessus de l'agglomération. Les conditions météorologiques peuvent également placer l'Ile-de-France sous l'influence d'une pollution en provenance des pays et des régions limitrophes. Les vents amènent alors des masses d'air chargées en particules et en précur-

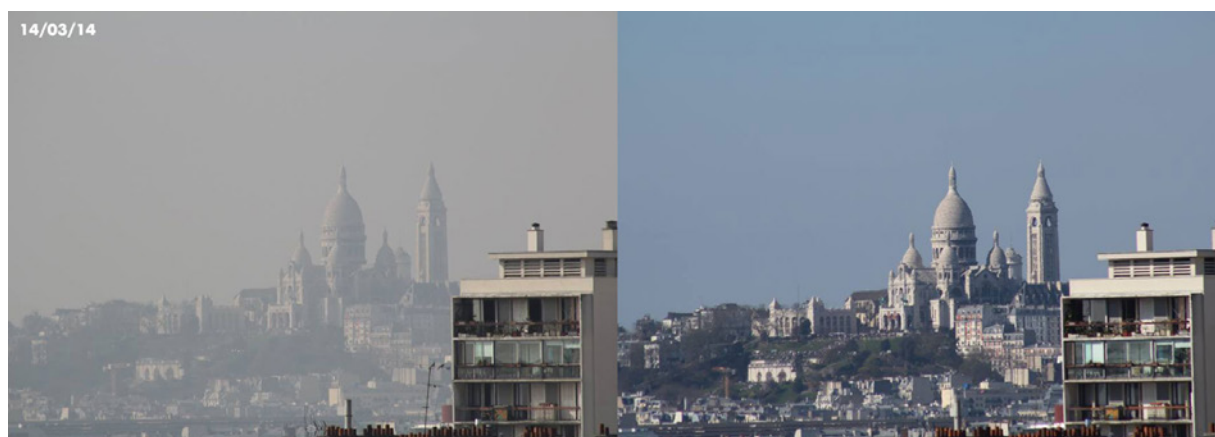


Figure 1.

Indice le 14 mars 2014 (photo de gauche : indice > 100) et le 16 mars 2014 (photo de droite : indice 43/100).

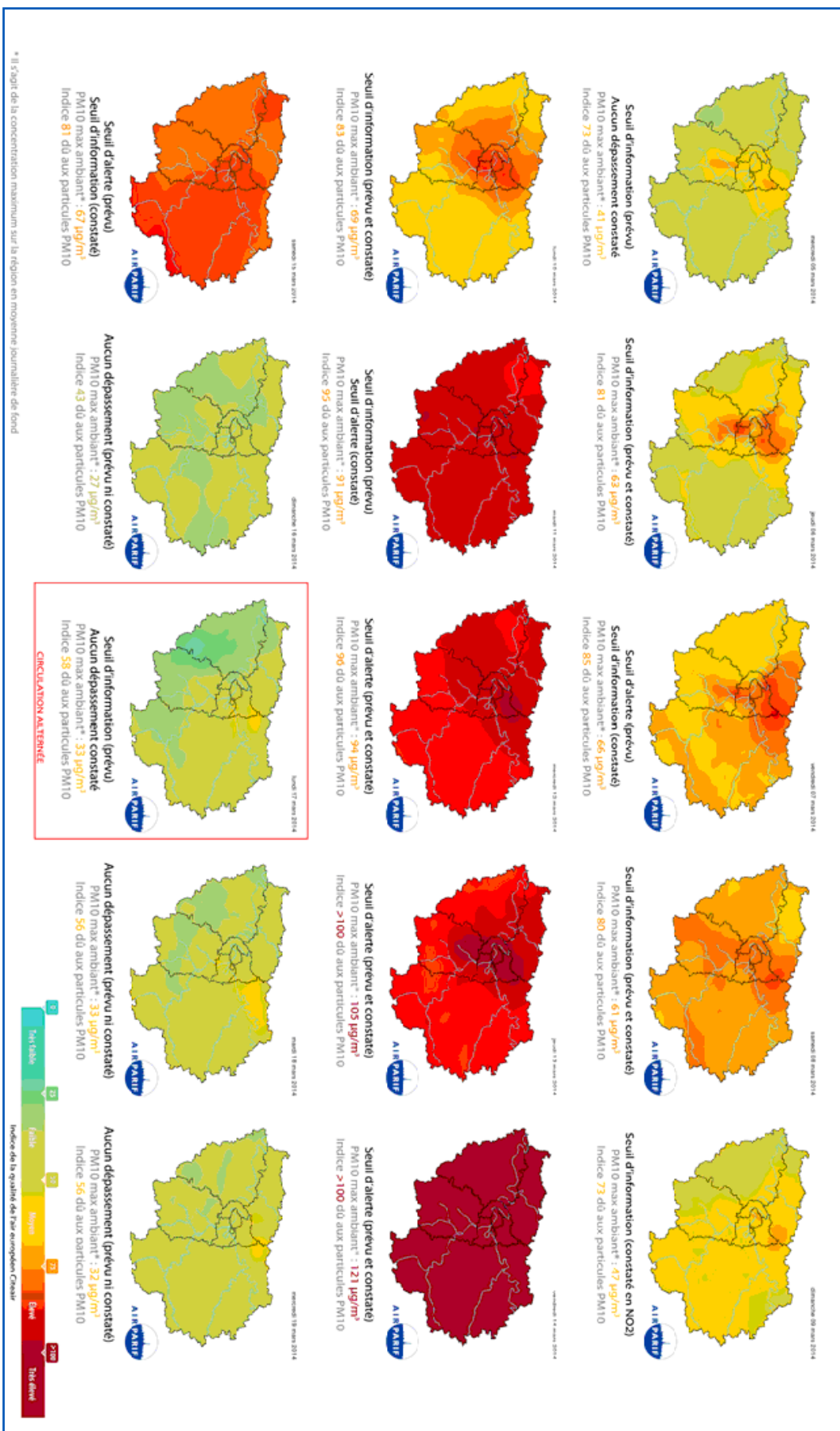


Figure 2. Cartes journalières de la qualité de l'air en Ile de France, du 5 mars 2014 au 19 mars 2014.

seurs. Ces régimes continentaux sont fréquemment associés à des conditions météorologiques favorables à la formation de particules secondaires, en particulier le nitrate d'ammonium, sur de larges zones géographiques. L'import de pollution sur la région, qui s'ajoute aux émissions locales, peut ainsi contribuer pour une bonne part aux fortes concentrations enregistrées certains jours, mais il est difficile de chiffrer précisément cette part.

Les seuils de déclenchement de la procédure d'information et d'alerte ont été abaissés fin 2011 pour les particules PM_{10} . Ils sont ainsi passés – en moyenne sur 24 heures – de 80 à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le premier seuil (information et recommandations), et de 125 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le deuxième seuil (alerte).

Depuis l'abaissement des seuils de déclenchement, le nombre d'épisode de pollution en Ile-de-France a sensiblement augmenté. Ces nouveaux seuils sont en lien avec les valeurs limites de la réglementation européenne (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} à ne pas dépasser plus de 35 jours par an). En dehors des épisodes de pollution, ce sont les niveaux élevés de pollution chronique de particules respirés tout au long de l'année qui restent problématiques en Ile-de-France. Chaque année entre 1 et 4 millions de Franciliens sont potentiellement exposés à des niveaux de pollution qui ne respectent pas la réglementation, principalement le long du trafic et dans le cœur de l'agglomération. Les valeurs limites étant notamment dépassées de manière récurrente en Ile-de-France, pour les particules PM_{10} et pour le dioxyde d'azote, la Commission Européenne a engagé une procédure de contentieux à l'encontre de la France pour les premières, et pourrait suivre pour le second. Seize autres États membres sont également concernés.

Le déroulement de l'ensemble de l'épisode, du 5 au 17 mars 2014 sur la région francilienne, est illustré par les cartes suivantes.

Les premiers jours de l'épisode étaient dus à une accumulation des polluants émis localement du fait de conditions anticycloniques caractéristiques de l'hiver avec de fortes inversions de température, notamment aux heures de pointes du trafic avec un vent très faible et une hauteur de couche de mélange très basse. La part de production locale s'est accumulée au-dessus de l'agglomération parisienne provoquant des dépassements du seuil d'information.

Les mardi 11 et mercredi 12 mars, le vent s'est levé légèrement (faible à modéré) amenant sur la région un air chargé en polluants qui ont rajouté une contribution de l'import important aux niveaux locaux, déclenchant les premiers dépassements du seuil d'alerte.

Puis les jeudi 13 et vendredi 14 mars, les conditions anticycloniques de blocage, empêchant la dispersion des particules, se sont mises en place de nouveau. Le matin une inversion de température était observée sur l'agglomération avec un vent très faible et une hauteur de couche de mélange très basse. Une part importante de production locale de particules s'est de nouveau ajoutée aux niveaux de fond déjà très élevés. Airparif prévoyait une persistance des dépassements du seuil d'alerte sur ces journées.

Un vent d'ouest (faible à modéré) s'est ensuite installé à partir de la mi-journée du samedi 15 mars et a permis une dispersion des particules. Un risque de dépassement était prévu le lundi 17 mars au matin avec un vent faible et une hauteur de couche de mélange basse. Une inversion de température était de plus attendue ; elle n'a finalement pas été observée.

En conclusion, durant cet épisode de mars 2014, les dépassements de seuils PM_{10} s'expliquent dans un premier temps pour une contribution majeure de la pollution émise localement, renforcée par un import de pollution sur la région en milieu d'épisode puis, de nouveau, un ajout de pollution locale en fin de semaine.

Composition chimique des particules lors de l'épisode de mars 2014

Les particules regroupent de nombreux composés sous différentes formes chimiques : nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, matière organique, carbone suie... Ce dernier, autrement appelé carbone élémentaire, carbone suie ou *black carbon*, est produit par des combustions incomplètes, issues du trafic routier notamment. L'origine des épisodes, notamment son caractère local ou non, peut être approchée à partir d'informations sur la composition chimique des particules rencontrées.

La figure 3 (graphe du haut) représente l'évolution des concentrations horaires de par-

ticules PM_{10} (en rouge) et du carbone suie (en noir) à Paris (fond urbain). Ces deux polluants sont représentés avec des échelles différentes. Lorsque les deux courbes se chevauchent, le carbone suie représente 10 % de la concentration en PM_{10} . Le graphe du bas représente l'évolution des concentrations horaires (dans la fraction PM_{10}) de nitrate, sulfate, ammonium et composés organiques, mesurés par les équipes de recherche du LSCE et LCSQA/INERIS sur le super-site atmosphérique du SIRTA, représentatif de la pollution régionale en Ile-de-France.

Durant cet épisode, les concentrations en carbone suie sont très importantes par rapport aux concentrations moyennes (de l'ordre de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration la plus forte, de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, est enregistrée en tout début d'épisode, le 6 mars.

Les concentrations en carbone suie sont très variables au cours de l'épisode. Cette évolution est très liée à l'évolution des conditions météorologiques. Les trois phases de l'épisode décrites précédemment se distinguent nettement.

L'épisode démarre le 6 mars avec des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion. Les concentrations en carbone suie sont alors en forte augmentation, ce qui indique une augmentation des concentrations de PM_{10} liées aux sources locales, en particulier le 6 et le 10. Les concentrations sont plus modérées les 8 et 9 mars, qui correspondent au week-end, au cours duquel les émissions liées au trafic sont réduites et plus diffuses sur la journée. Sur cette première période, le carbone suie représente jusqu'à 40 % des particules PM_{10} en concentration horaire. En revanche, les concentrations en composés inorganiques secondaires sont assez faibles.

Les 11 et 12 mars, un vent de nord-est se lève, amenant sur la région Ile-de-France des masses d'air continentales riches en particules. Une grande partie du Nord de la France est alors également impactée par un épisode de pollution. La composition chimique des particules change : la proportion de carbone suie dans les PM_{10} diminue fortement, tandis que les concentrations en nitrate et sulfate d'ammonium augmentent fortement. La présence de sulfate indique une contribution significative des imports de PM sur la région puisque la région Ile-de-France émet peu de dioxyde de soufre (à l'origine de la formation du sulfate), et que la formation de sulfate est typiquement de plusieurs jours en hiver. Aux

particules importées viennent notamment s'ajouter les particules secondaires de nitrate d'ammonium formées photochimiquement au-dessus de l'Ile-de-France à partir des précurseurs gazeux émis par la région : le NH_3 issu des épandages agricoles et les NO_x émis en grande partie par le trafic. La difficulté majeure reste de déterminer précisément la part de ce qui est importé de ce qui est émis au niveau de la région. Durant cette phase, le carbone suie représente moins de 5 % des particules PM_{10} .

Pendant les journées du 13 et 14 mars, les concentrations en carbone suie augmentent de nouveau, sous l'effet des conditions météorologiques peu dispersives. Pendant ces deux journées, la masse d'air polluée stagne sur l'ensemble du Nord de la France, et la pollution d'origine locale à la fois primaire et secondaire vient s'ajouter à une pollution de fond déjà importante, conduisant aux concentrations en particules les plus fortes de l'épisode.

Impact de la circulation alternée

Méthodologie employée

L'ampleur de l'impact de mesures locales telles que la circulation alternée dépend des conditions météorologiques du jour, de la situation de la pollution et du polluant concerné. Les outils de calculs et de modélisation d'Airparif permettent d'évaluer cet impact pour la journée du 17 mars 2014.

Hypothèses utilisées

- Situation de référence

Afin de pouvoir évaluer l'impact de la mesure de circulation alternée prise le 17 mars 2014, il convient de comparer la situation observée à cette date avec une situation de référence, représentative du trafic qu'il y aurait eu sans cette mesure.

La journée du lundi 10 mars 2014 est utilisée comme référence : c'est également un lundi, du même mois. Les conditions climatiques de cette date n'étaient pas dégradées (pas de pluie ou de neige qui impacterait le trafic), et ce lundi ne constituait pas un lundi de retour de congés.

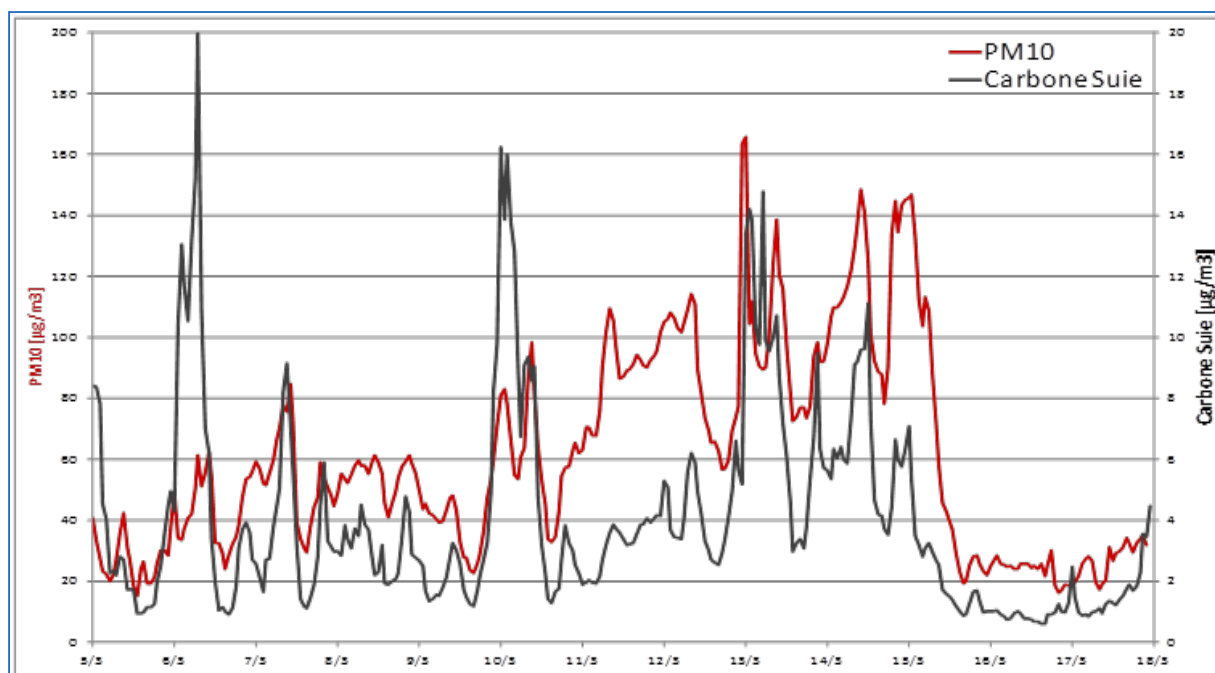


Figure 3.

Évolution des concentrations horaires de particules PM_{10} (en rouge) et du carbone suie (en noir) à Paris (fond urbain).

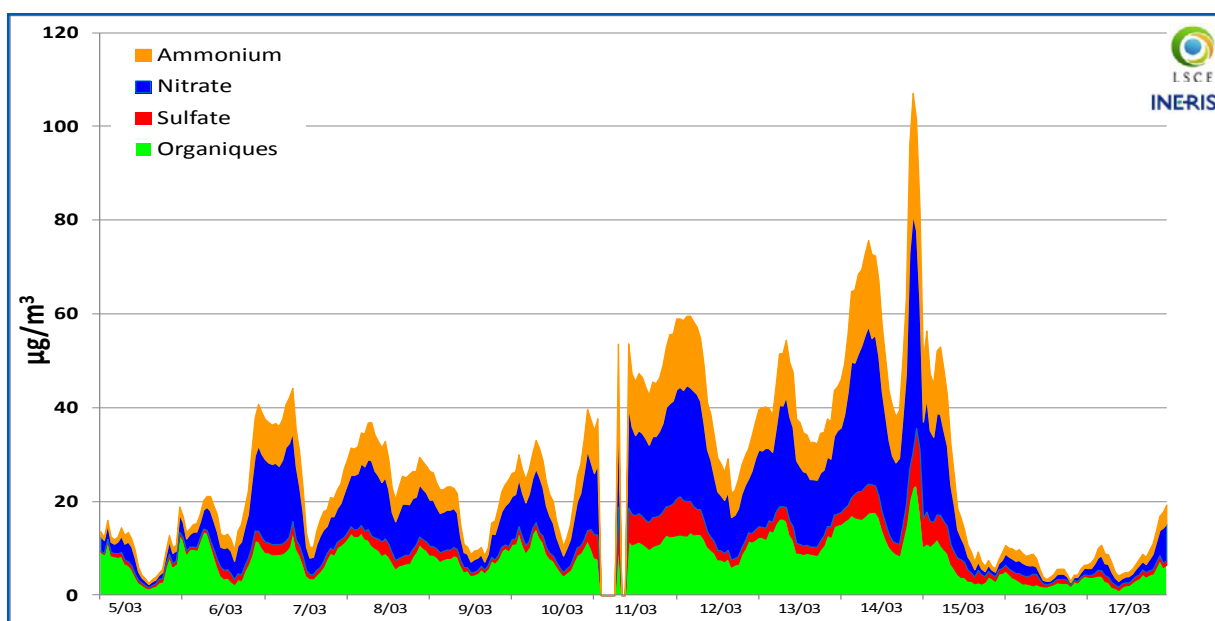


Figure 4.

Évolution des concentrations horaires d'ammonium, nitrate, sulfate, organiques.



Figures 5 et 6.

La circulation alternée à Paris le 17 mars 2014.

- Hypothèses sur le parc circulant

Pour mener à bien cette évaluation, Airparif ne dispose pas d'éléments précis sur le parc roulant circulant ce jour. Les véhicules n'étant pas clairement identifiés, nos estimations trafic sont basées sur des analyses moyennes de flotte roulante et des boucles de comptage réelles. Sans cette identification précise des véhicules, il n'est pas possible de connaître exactement quels véhicules ont circulé.

Impact sur le trafic routier

Les données utilisées sont celles issues du système HEAVEN³, recalé toutes les heures à partir de 400 points de comptages à Paris et environ 100 sur le reste de l'Ile-de-France. Ainsi les données de trafic utilisées intègrent toutes les mesures de restriction prises le 17 mars 2014, soit la réduction de vitesse sur les grands axes franciliens, le contournement des poids lourds en transit ainsi que la circulation alternée sur Paris et les 22 communes limitrophes. L'effet de ces

différentes mesures ne peut être examiné séparément.

Le tableau suivant montre l'écart de trafic entre le lundi 10 mars et lundi 17 mars. La mise en place de la circulation alternée a un impact variable suivant les zones géographiques avec -18 % de trafic sur Paris, -13 % sur Petite Couronne et - 9 % sur Grande Couronne.

Impact sur les émissions

Les émissions de polluants correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère. Les émissions permettent d'évaluer l'impact des actions de réduction sur la source de la pollution. Le tableau ci-dessous montre le pourcentage de réduction des émissions évalué durant la journée du 17 mars. En moyenne sur la durée de la circulation alternée (5h30-24h), cette mesure a contribué à la baisse de 15 % des émissions liées au trafic routier en particules PM₁₀ et de 20 % des émissions d'oxydes d'azote.

Zones	Heure pointe du matin	Heure pointe du soir	Durée de la circulation alternée
Paris	- 9 %	- 21 %	- 18 %
Petite Couronne	- 6 %	- 15 %	- 13 %
Grande Couronne	- 4 %	- 10 %	- 9 %

Tableau 1.

Évolution du trafic le 17 mars en regard du trafic du 10 mars 2014 par secteur géographique.

HPM = de 7 à 9 h, heure locale, et HPS = de 18 à 20 h, heure locale.

Circulation alternée = de 5h30 à minuit, heure locale

En prenant en compte la journée de référence du 10 mars, un effet contrasté suivant les périodes de la journée est observé. En cohérence avec les données de trafic, la baisse sur les émissions durant les heures de pointe du soir a été plus importante que celle du matin. Pour les particules PM_{10} , la baisse des émissions est estimée à - 3 % sur les heures de pointe du matin et - 19 % sur celles du soir et respectivement - 9 % et - 23 % pour les émissions d'oxyde d'azote. Airparif ne possède pas d'assez d'éléments pour expliquer ce phénomène (temps de mise en place ? Effet comportemental ? Choix de la journée de référence ? Etc.).

Impact sur les concentrations ambiantes

Afin de mettre en avant l'impact de la circulation alternée sur les niveaux de pollution, Airparif a réalisé des cartes de « différence » entre les concentrations durant la journée de la circulation alternée et celles attendues ce jour-là sans mise en place de l'action (carte du jour avec le trafic de référence du 10 mars). Sur les cartes suivantes, une amélioration liée à la circulation alternée apparaît en bleu et une dégradation apparaîtrait en rouge.

L'évaluation de l'impact de la mise en place des restrictions de circulation, et notamment de la circulation alternée le 17 mars, montre un bilan global positif :

- En situation éloignée des axes routiers, une amélioration de presque 2 % (soit $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules PM_{10} a pu être constatée en moyenne sur la journée dans la zone de la mise en place de la circulation alternée.

- À proximité du trafic et notamment sur les

grands axes parisiens, la circulation alternée a eu un plus grand impact, notamment sur le Boulevard périphérique.

Pour les particules PM_{10} , la diminution induite par la mise en place de la mesure est estimée à plus de 6 % (soit $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de baisse) sur l'ensemble de la journée (5h30-24h). Certaines heures de la journée sont marquées par des baisses plus importantes, notamment l'heure de pointe du soir avec des diminutions supérieures à 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique.

L'impact de cette action est encore plus important sur le dioxyde d'azote avec, en moyenne sur la journée, une baisse de 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. À l'heure de pointe du soir sur ce même axe routier, ces diminutions ont ponctuellement pu atteindre 30 % (voir figure 8).

Conclusions et perspectives

L'évaluation de l'impact de la mise en place des restrictions de circulation, et notamment de la circulation alternée le 17 mars, montre un bilan global positif avec des améliorations à la fois en situation de fond, c'est-à-dire éloignée des sources directes de pollution, ainsi qu'en situation de proximité au trafic routier.

En situation de fond, une amélioration de presque 2 % (soit $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules PM_{10} a pu être constatée en moyenne sur la journée dans la zone de la mise en place de la circulation alternée.

À proximité du trafic, et notamment sur les grands axes parisiens, la circulation alternée a eu un impact un peu plus grand, notamment sur le

Zones	Émissions de Particules PM_{10}	Émissions d'Oxyde d'azote (NOx)
Circulation Alternée (CA)	- 15 %	- 20 %
Petite Couronne hors CA	- 8 %	- 13 %
Grande couronne	- 4 %	- 9 %

Tableau 2.

Évolution des émissions le 17 mars avec et sans mesures de restriction de circulation par secteur géographique.

	Concentration particules PM ₁₀	Concentration dioxyde d'azote (NO ₂)
Loin des axes routiers	- 2 %	- 7 %
À proximité du trafic (exemple du Boulevard péri- phérique)	- 6 %	- 10 %

Tableau 3.

Impact moyen de la circulation alternée pour les particules PM₁₀ en Ile-de-France
(en % de diminution de concentration sur la durée de l'opération : 05h30-minuit)

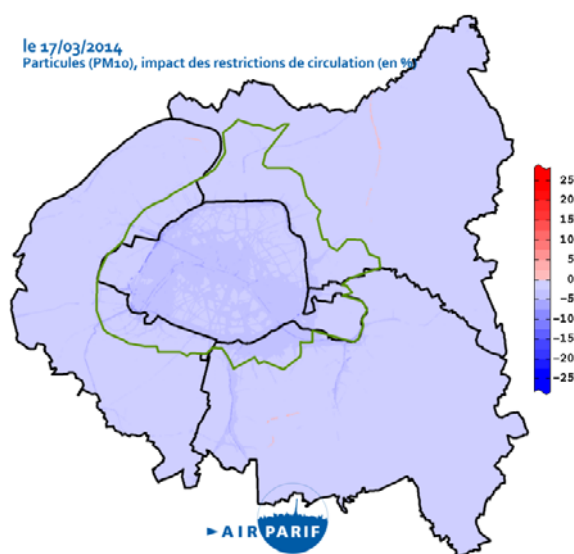


Figure 7.

En vert : limite de la zone de circulation alternée.

Boulevard périphérique.

Pour les particules PM₁₀, la diminution induite par la mise en place de la mesure est estimée à plus de 6 % (soit 4 µg/m³ de baisse) sur l'ensemble de la journée (5h30-24h). Certaines heures de la journée sont marquées par des baisses plus importantes, notamment l'heure de pointe du soir avec des diminutions supérieures à 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. Même si ces baisses peuvent apparaître comme modestes sur les niveaux de PM₁₀, elles concernent néanmoins une source (trafic) dont la toxicité est avérée.

En effet, le centre international de recherche sur le cancer (IARC), l'agence spécialisée de l'Organisation Mondiale de la Santé, a annoncé qu'elle classait la pollution de l'air extérieur comme cancérigène. Les particules fines, un composant majeur de la pollution ambiante,

ont aussi été évaluées séparément et ont également été classées comme cancérigènes. Le rapport de l'IARC montre qu'il existe une relation entre l'augmentation du risque de cancer du poumon et l'augmentation du niveau d'exposition aux particules et à la pollution de l'air. La pollution de l'air est déjà connue pour augmenter les risques de nombreuses maladies, telles que respiratoires et cardio-vasculaires. C'est pourquoi, pour les particules, toute diminution d'exposition représente une réelle amélioration en termes de santé publique.

L'impact de cette action est encore plus important sur le dioxyde d'azote avec, en moyenne sur la journée, une baisse de 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. À l'heure de pointe du soir sur ce même axe routier, ces diminutions ont ponctuellement pu atteindre 30 %.

Avec des conditions météorologiques différentes (par exemple par temps anticyclonique, avec peu de vent et une forte inversion de température), une amélioration plus importante peut être escomptée. Aussi, il est prévu de compléter cette analyse avec une étude académique, afin d'évaluer l'impact de la mise en place de la circulation alternée avec :

- une variation du trafic plus homogène sur la journée ;
- des conditions météorologiques différentes, notamment étudier un épisode de pollution hivernal local tel que celui observé en décembre 2013 ;
- l'interdiction de circuler pour les véhicules les plus polluants.

La circulation alternée n'est bien sûr pas la seule mesure pour réduire la pollution, mais cette

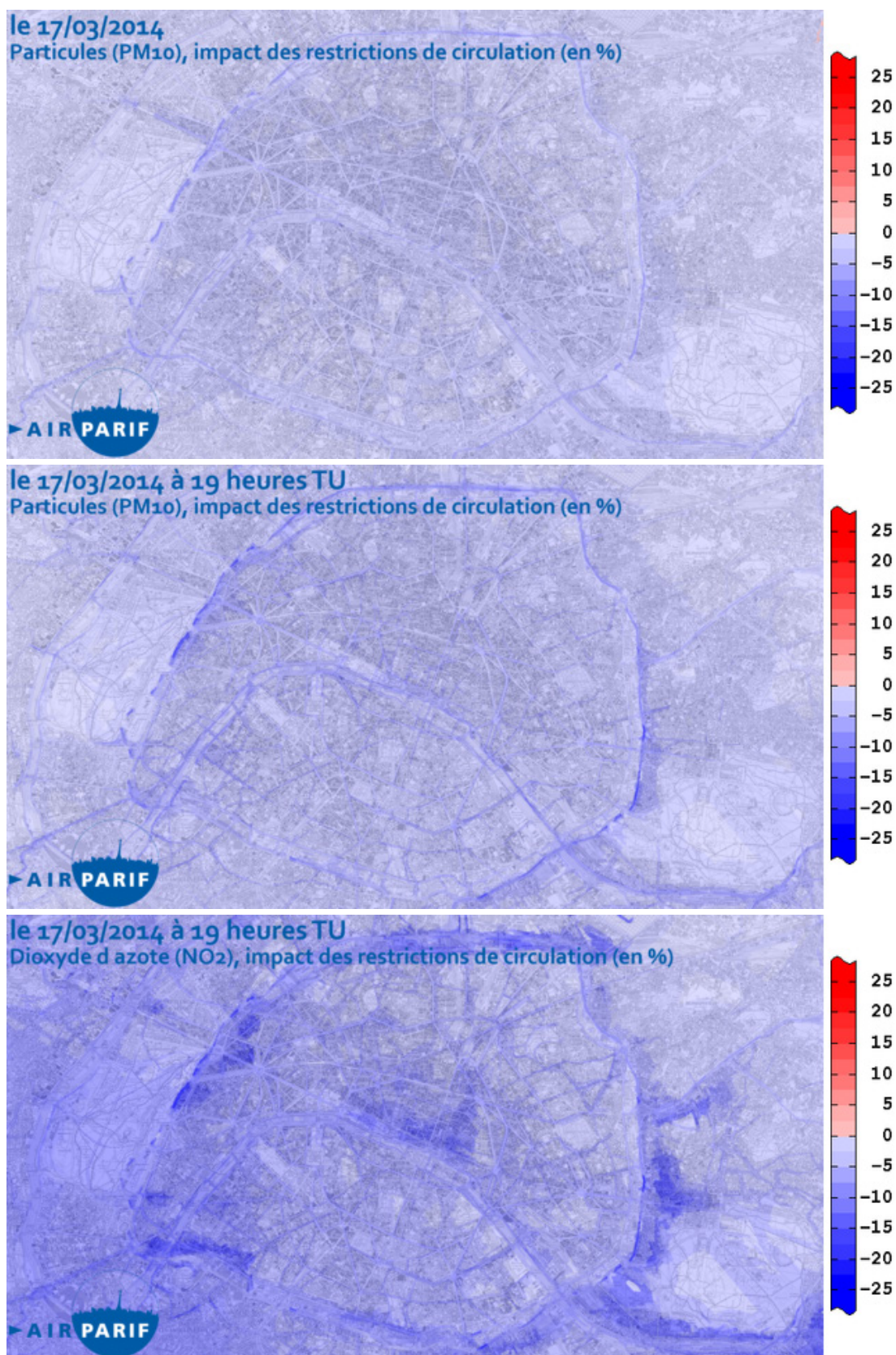


Figure 8a, b, c.

Maxima de baisse atteints en particules PM₁₀ et en dioxyde d'azote à 20h, lors de la pointe de trafic du soir (le Boulevard périphérique apparaît nettement).

étude lui est spécifiquement consacrée. La circulation alternée est certes une mesure ponctuelle sur le trafic mais elle constitue une action de réduction qui a un impact quantifiable et visible. Elle apporte ainsi des enseignements sur l'impact d'autres actions chroniques nécessaires pour abaisser la pollution due au trafic routier et plus généralement due à l'ensemble des sources de l'agglomération, telles que les mesures et les recommandations prévues par le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) approuvé le 25 mars 2013. Il convient également de rappeler le contexte de la région Ile-de-France, région densément peuplée et fortement urbanisée. Plus de

85 % de la population francilienne vit dans le cœur de l'agglomération parisienne soit 2 600 km². Les valeurs limites sont dépassées de manière récurrente en Ile-de-France pour les particules PM₁₀ depuis plusieurs années, chaque année entre un et quatre millions de Franciliens sont exposés à des niveaux de particules dépassant les limites réglementaires, et une procédure de contentieux est en cours entre la France et l'Union européenne.

Afin d'abaisser les niveaux globaux sur le long terme, des actions pérennes de grand envergure sont nécessaires.

1. Airparif
2. LSCE
3. Source HEAVEN : modèle de trafic routier exploité par Airparif et développé en collaboration avec la Ville de Paris et la DRIEA et alimenté par des données horaires de la Ville de Paris et de la DIRIF.

Évaluation de la circulation alternée en Ile-de-France

ADEME

Sondage BVA demandé par l'ADEME en mai 2014 pour obtenir un retour d'expérience sur la journée de circulation alternée du 17 mars 2014.

850 enquêtes ont été réalisées en ligne, du 4 au 11 avril 2014.

Avant d'analyser les attitudes et les comportements des Franciliens lors de la journée du 17 mars, l'enquête s'est interrogée sur la sensibilité des ménages au sujet de la pollution atmosphérique.

Les Franciliens accordent une grande importance à la santé qui représente une forte préoccupation

44 % des personnes interrogées mettent en avant la santé comme étant une de leurs préoccupations principales, et 80 % y accordent une attention supérieure à la moyenne, alors que 40 % accordent peu de prix à l'environnement, ce qui peut étonner puisque l'environnement est

une ressource sanitaire essentielle... La santé environnementale est encore peut intégrée dans les esprits. Pourtant, 48 % des personnes interrogées souffrent d'allergies, et 44 % se disent gênés par la pollution de l'air. Cependant, 27 % seulement ont ressenti un trouble ou une gêne au cours de l'épisode de mars 2014.

41 % sont préoccupés par la mauvaise qualité de l'air qu'ils respirent. Il s'agit surtout de femmes (62 %). 77 % de cet ensemble compte au moins une personne sensible dans son foyer (64 % pour la moyenne de l'échantillon). Cette constatation est consolidée par d'autres observations analogues ; en effet, la présence de quelqu'un, dans la maison, qui ressent dans son corps les méfaits de la pollution, sensibilise toute la famille et la mobilise en faveur de gestes préventifs.

38 % accordent à la vie sociale et associative une attention supérieure à la moyenne, ce qui est le reflet d'un faible investissement dans ce qu'il est convenu d'appeler le « vivre ensemble ».

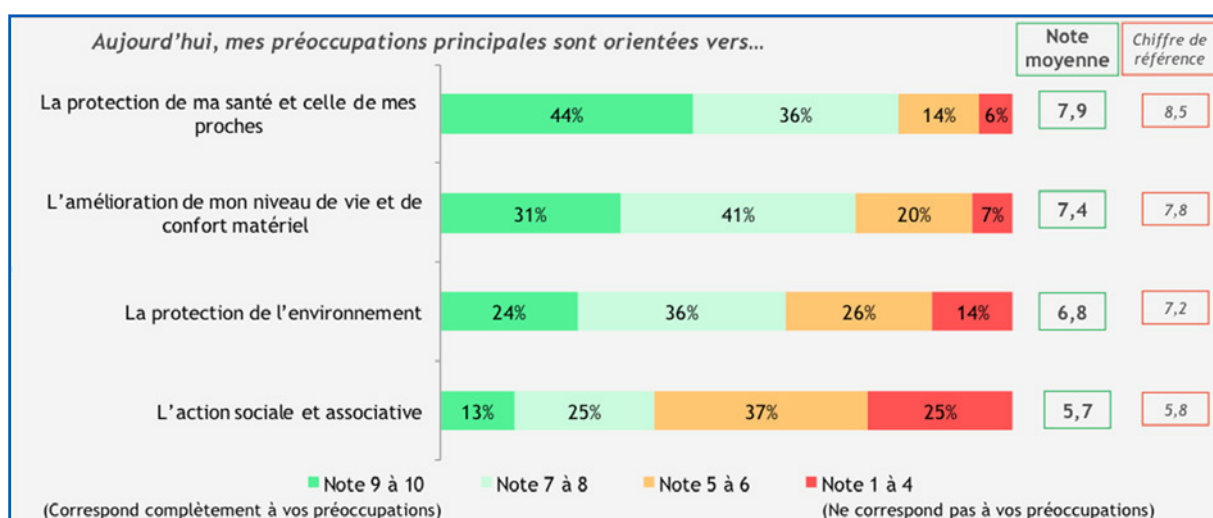


Figure 1.

Réponses à la question « Mes préoccupations principales ».

Ce sont les transports qui captent l'attention des Franciliens, car ils les considèrent comme étant la principale source de pollution

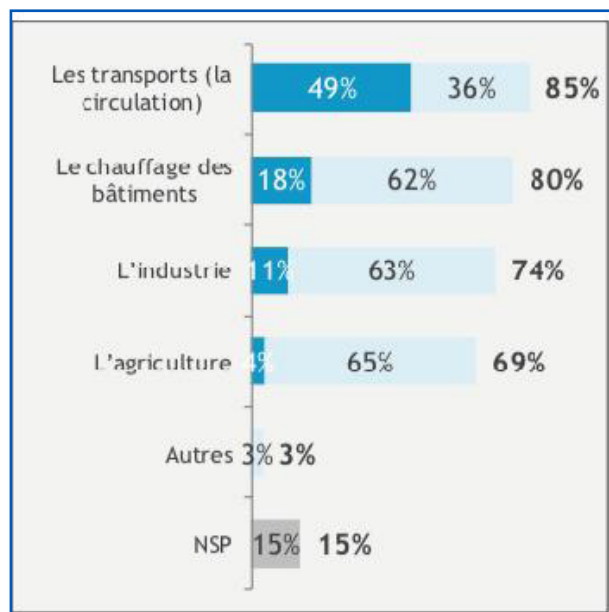


Figure 2.

Réponses à la question : « Quelles sont, d'après vous, les principales sources de pollution ? »

L'enquête fait état des pratiques environnementales des Franciliens, proches de celles de la moyenne des Français, avec, semble-t-il, une plus forte utilisation des modes doux que dans le reste de la France : 62 % des Franciliens utilisent les transports en commun plutôt que la voiture puisque, depuis longtemps, l'accès aux parkings est réduit, et le temps passé dans les bouchons est dissuasif. 21 % des enquêtés pratiquent le covoiturage, pratique nouvelle qui tend à se généraliser rapidement, ce qui est un signe du glissement généralisé vers la perception de la voiture comme un outil qu'on utilise plutôt que comme une propriété qui valorise.

Si les transports reflètent la préoccupation des Franciliens, le bâtiment arrive en seconde position, ce qui montre bien une appropriation grandissante des préoccupations sur le mode de chauffage des maisons. S'agit-il réellement d'une déclaration à l'encontre des combustibles fossiles ? On peut se poser la question, ainsi que celle de la vision du chauffage au bois comme source de pollution.

Les solutions préconisées pour lutter contre la pollution atmosphérique

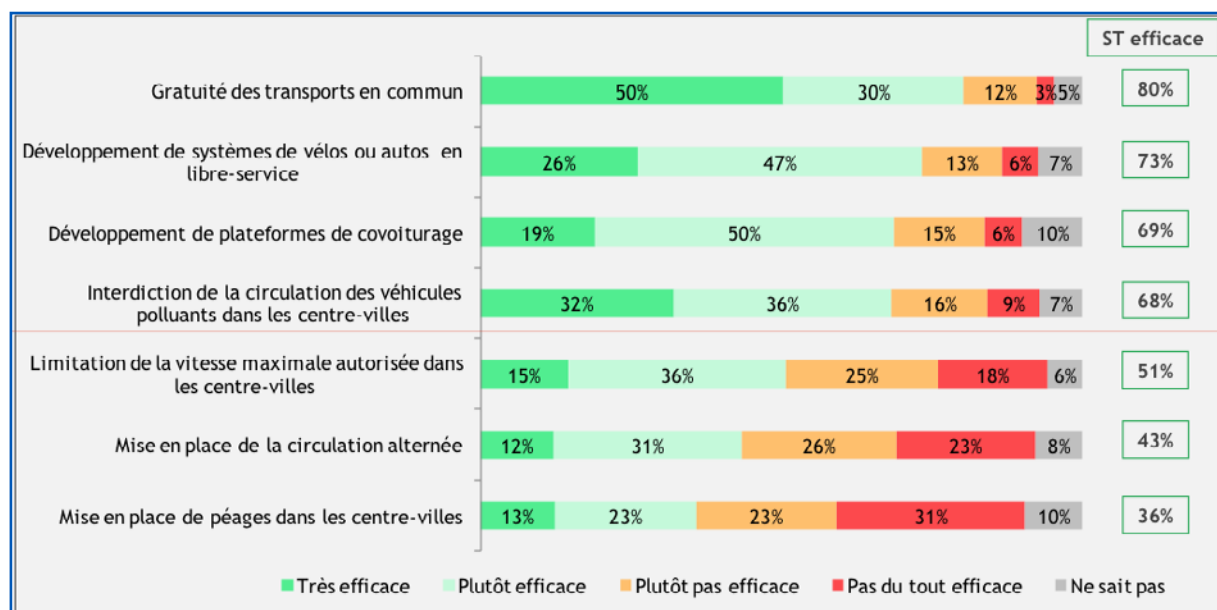


Figure 3.

Réponses à la question : « Quelles sont les solutions que vous considérez comme efficaces pour limiter la pollution ? »

44 % des personnes interrogées se jugent insuffisamment informées au sujet de la pollution, et elles sont donc démunies pour trouver des actions pertinentes pour limiter cette pollution, ce qui ne leur interdit pas de donner un avis sur les solutions proposées en faveur de la qualité de l'air.

Bien évidemment, la gratuité des transports recueille le maximum de suffrages. Les solutions préconisées mettent plutôt en avant les nouvelles technologies et les pratiques innovantes ; en revanche, les mesures plus contraignantes, comme les limitations de vitesse ou de circulation, recueillent moins d'approbation. La circulation alternée n'est considérée comme efficace que par 12 % de la population, et pourtant c'est à propos de ce dispositif que les enquêtés ont été questionnés.

Retour d'expérience sur le dispositif de circulation alternée mis en place le 17 mars 2014

Quand et comment les intéressés ont-ils été informés ?

63 % des enquêtés connaissaient le périmètre du dispositif : 30 % avaient pris connaissance de ce dispositif le samedi 15 mars, 36 % le

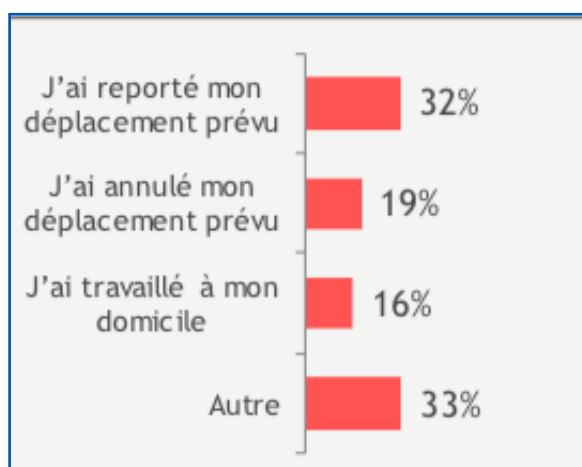


Figure 4.

Réponses à la question : « Pour ceux qui ont annulé leurs déplacements, quelles ont été les solutions alternatives ? »

dimanche, 6 % le lundi avant de partir et 3 % le lundi après être partis.

58 % ont pris connaissance de la mise en place de la circulation alternée par la TV, et 18 % par la radio. 15 % seulement par le bouche à oreille, et 5 % par Internet.

Donc l'information a circulé par différents canaux, mais assez peu de Franciliens peuvent reconnaître avoir été pris au dépourvu.

Les modalités des déplacements entrepris le 17 mars

Les trois quarts des interviewés ont maintenu leurs déplacements. La majorité a utilisé les transports en commun (47 %), 25 % ont utilisé un véhicule en toute légalité, 6 % déclarent avoir contourné le dispositif.

24 % ont annulé ou reporté leur déplacement.

Si 33 % de ceux qui ont modifié leur pratique ont trouvé des solutions diverses et inclassables, on peut noter la faible proportion de ceux qui ont pu remplacer leur déplacement par du télétravail, ce qui pose la question de la pérennisation possible de cette alternative.

76 % des déplacements ont été maintenus, mais parmi ceux qui ont maintenu leur déplacement, 17 % l'ont trouvé pénible, tandis que 55 % ont trouvé facilement une solution, et 75 % disent ne pas avoir rencontré de fortes contraintes.

Les opinions émises sur le dispositif

26 % des enquêtés estiment que c'est un succès, et 19 % considèrent qu'il s'agit d'un échec.

59 % ont trouvé le dispositif justifié et, parmi ceux-ci, 44 % pensent que la pollution a diminué, et 29 % que la circulation était plus fluide.

Si la plupart des personnes interrogées se sont adaptées, la majorité d'entre elles, soit 64 %, pensent que ce dispositif doit rester exceptionnel. La plupart des bénéfices accordés à cette expérience sont de l'ordre de la pédagogie et de la sensibilisation. Seulement 19 % des personnes interrogées pensent que la circulation alternée

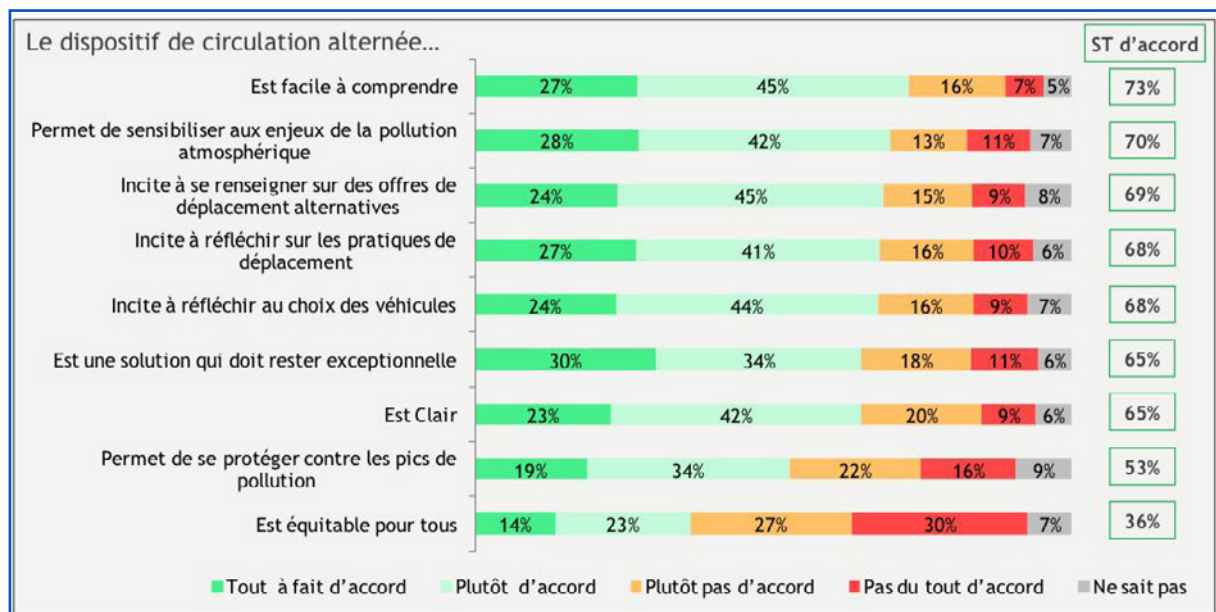


Figure 5. Réponses à la question : « Votre appréciation sur le dispositif ».

est un moyen pour se protéger des pics de pollution. Ils considèrent qu'il s'agit d'une solution à court terme qui ne peut pas être reproduite dans la durée.

Les enquêtés apprécient ce dispositif facile à comprendre ; il permet de sensibiliser, il incite à réfléchir. Mais son résultat relève plus de la connaissance que de l'action. Donc, selon la plupart des enquêtés, il ne peut pas constituer une solution pour lutter contre la pollution.

On retrouve, à travers ce sondage, la difficulté qui consiste à harmoniser des mesures d'urgence avec des solutions pérennes. Le travail de sensi-

bilisation effectué ce jour-là est vu positivement, mais il n'est pas suffisant pour agir. Les mesures d'urgence qui répondent à une sollicitation médiatique ont surtout pour objectif la visibilité ; elles doivent frapper par leur caractère exceptionnel, ce qui est fondamentalement en désaccord avec la possibilité de les pérenniser.

Pourtant, la figure 6 incite à une vision plus positive puisque 64 % seulement des personnes enquêtées reprennent leurs habitudes, 23 % envisagent de tirer les leçons de l'expérience considérée vraisemblablement comme positive, et 12 % ont changé leurs habitudes.

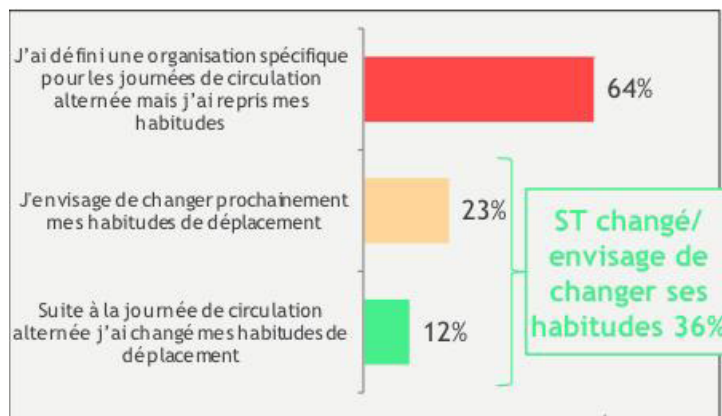


Figure 6. La pérennisation des dispositions prises.

L'avantage de ce dispositif n'est donc pas de faire baisser la pollution mais de démontrer qu'un changement de pratiques est possible, mais ceci reste à confirmer...

Conclusion

La majorité des Franciliens trouvent ce dispositif justifié, mais son résultat final fait débat. Il est d'ailleurs peu contraignant eu égard aux pratiques de déplacement des Franciliens, très largement organisées sans la voiture. Si les personnes impactées et sensibles considèrent cette journée innovante comme un succès, les personnes moins impliquées sont plus critiques. Il s'agit des habitants qui avaient une plaque d'immatriculation paire, ceux qui habitent à proximité de leur lieu de travail, ceux qui n'ont pas respecté l'interdiction ou qui sont hostiles à toute solution de ce genre. L'acceptabilité augmente avec la participation, prouvant ainsi la capacité des citoyens à se conformer à des règles de restriction... pour peu qu'elles soient vécues comme légitimes.

Certes, cette journée a généré des difficultés en raison du faible délai d'information, du bouleversement des habitudes et du surcroît de monde dans les transports en commun. Mais les solutions d'accompagnement (gratuité des transports) ont reçu un écho favorable...

Cette journée a plutôt été vécue comme une expérience, une répétition, et non comme une solution pour effacer la pointe, car la situation météorologique se chargeait de la dispersion des polluants. Serait-il intéressant d'augmenter la fréquence de ce genre de journée en préparant mieux l'organisation d'une telle journée qui serait plus facilement reproductible ?

Quelles sont les actions, peut-être moins spectaculaires mais plus durables, qu'il faudrait promouvoir pour profiter des bonnes dispositions dont les Franciliens ont fait preuve, et pour leur plus grand bien ? Le lien entre les contraintes proposées et le bénéfice sanitaire peut être davantage explicité pour promouvoir la santé ou le bien-être dont les Franciliens sont si soucieux.

ARTICLES

Épisodes de pollution et dispositifs d'alerte en France : une vision historique et sociopolitique

History of air pollution alerts in France from an historical and sociopolitical point of view

Isabelle ROUSSEL

Résumé

La gestion des épisodes de forte pollution a ponctué l'histoire des politiques publiques liées à la pollution atmosphérique. Dans un premier temps, parce que la métrologie n'était pas assez fine pour détecter « le bruit de fond » puis, parce que la pollution industrielle, développée depuis le début de la révolution industrielle et au cours de la période de reconstruction qui a suivi la Seconde Guerre mondiale, a monopolisé l'attention des pouvoirs publics pratiquement jusqu'à l'arrivée de la loi sur l'air de 1996, à l'exception, toutefois, de nombreuses initiatives municipales. Cette loi marque un tournant considérable en braquant les projecteurs des médias sur ces épisodes fortement pollués, traités auparavant entre les services de l'État et les industriels. Cependant, cette nouvelle gestion des pics de pollution, souvent liés à l'automobile et à l'accumulation de polluants tels que le dioxyde d'azote et l'ozone, pas toujours correctement mesurés, pose de nombreuses questions. En particulier, en attirant l'attention sur les niveaux de pollution élevés ne risque-t-on pas de faire peur certains jours pour lesquels le risque sanitaire n'est pas avéré, au détriment d'une attention soutenue de la pollution de tous les jours ? Le développement des connaissances sur les méfaits sanitaires des particules a permis d'attirer l'attention de la population sur la nécessité de maîtriser ces polluants qui contribuent à l'effet de serre, accentuent le trouble atmosphérique, rendant ainsi perceptible la pollution et qui peuvent être suffisamment fins pour s'insinuer profondément dans différents organes et provoquer des nuisances à court, moyen et long terme.

Mots-clés :

alerte, pollution atmosphérique, pic de pollution, risque sanitaire, pollution particulaire.

Abstract

Managing high pollution episodes is a landmark of air pollution public policies. At the start, because metrology was not accurate enough to measure background levels but also because industrial pollution, which appeared with the industrial revolution and peaked during the reconstruction period which followed the second world war monopolized the attention of public authorities practically until the vote of the Air Law in 1996, with the exception, however, of numerous municipal initiatives. This law stands as a major turning point, putting high pollution episodes under the media spotlights when they were previously managed between state administration and industry representatives. This new management of air pollution peaks, often related to road traffic and pollutants accumulation such as nitrogen oxides or ozone not always correctly measured, raises numerous questions. In putting the light on pollution high levels, is not there a risk to frighten the population at times when sanitary hazards are not clearly established at the expense of a sustained care for everyday pollution ? Knowledge development concerning sanitary impact of particles has raised the populations awareness regarding the necessity of mastering these pollutants, which contribute to global warming, make pollution visible because they cloud the atmosphere and are small enough to penetrate different organs and induce pathologies at short, medium and long term.

Keywords:

alert, outdoor air pollution, peak of air pollution, sanitary risk, particulate air pollution.

L'épisode de forte pollution de mars 2014 a été l'objet d'une médiatisation redoublée par la proximité des élections municipales. Des épisodes de ce type, souvent baptisés « pointes » ou « pics », ont une longue histoire, mais la réalité qu'ils recouvrent est aujourd'hui totalement différente de ce qu'elle a pu être dans le passé, même si leur occurrence est toujours liée à l'installation de situations météorologiques anticycloniques défavorables à la dispersion des polluants. L'inquiétude au sujet de la pollution particulaire associée au chiffre des « 42 000 morts par an », résultats du programme CAFE (Clean Air for Europe), s'est progressivement installée, traduisant la convergence de plusieurs études épidémiologiques. En revanche, au cours des années cinquante ou soixante, la pollution, mal identifiée, était considérée par la puissance publique comme un dommage collatéral de la reconstruction et de l'explosion de la production industrielle devenue critère majeur de progrès. Ce sont les « pointes », caractérisées par une forte concentration de polluants, qui ont attiré l'attention au moment où la météorologie, encore balbutiante, évaluait le bruit de fond et les faibles doses avec beaucoup d'incertitude. Aux beaux jours de la révolution industrielle, la multiplicité des panaches des cheminées, loin de donner lieu à des alertes, était le signe de la prospérité. À la fin des Trente glorieuses – ou des « trente pollueuses », baptisées ainsi par S. Frioux (2013) – et avec la mise en place progressive des directives et normes élaborées par l'Union européenne et par l'OMS, la notion de pic a trouvé une signification sanitaire, en raison des progrès de l'épidémiologie et de la toxicologie expérimentale : exposition humaine contrôlée aux USA, qui voyaient la morbidité augmenter avec la concentration en gaz ou aérosols toxiques. D'un point de vue chronologique, l'assimilation d'une pointe de pollution à une norme lui conférerait une valeur relative puisque les seuils définissant les « dépassements » n'ont cessé d'évoluer pour les différents polluants réglementés. Ainsi, en forçant à peine le trait, il est possible d'affirmer que les pics d'aujourd'hui correspondent au bruit de fond d'hier car, comme le relève un document du RNSP : « l'utilisation du terme 'pic' pour toute situation reflétant une modification relative des conditions habituelles constitue un excès de langage propre à entretenir une certaine confusion entre les situations du passé et celles rencontrées aujourd'hui ». En outre, W. Dab, dans une recherche évoquée ci-dessous (Dab, 1999), affirmait que la définition des pointes est très aléatoire : « il suffit de rajouter ou d'enlever un jour à la définition de ce qu'on appelle un épisode pour

voir des tendances s'inverser. La définition de ces épisodes, pouvant donner lieu à une procédure préfectorale, s'est affinée au fil des ans : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 a encore apporté des précisions supplémentaires.

Il convient de distinguer un épisode de pollution de l'alerte qui peut être déclarée. Celle-ci résulte d'un dispositif administratif qui confère à un événement observé une dimension procédurale. Cette césure entre l'observation d'un pic de pollution et la déclaration d'une alerte est essentielle puisqu'elle marque une coupure entre l'expertise et la gestion. Les réseaux de mesure, de par leur délégation de service public, sont habilités à entamer une procédure d'information à partir des observations et en conformité avec la réglementation. Seul le préfet peut décréter un certain nombre d'actions correspondant au seuil de pollution atteint et au dispositif prévu.

Dès la mise en place des premiers réseaux de mesure, des alertes industrielles ont été institutionnalisées puis, en 1996, la LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie) a inscrit les dispositifs d'alerte dans la loi en insistant sur la nécessaire information du public. Au fil des ans, le protocole suivi pour décréter les alertes a beaucoup évolué, ainsi que la prise de conscience des effets sanitaires d'une pollution devenue urbaine et constituée par une multitude de sources émanant de nombreux acteurs, professionnels ou citoyens. Peu à peu s'est constituée une véritable culture de la qualité de l'air, encore insuffisamment partagée, qui obéit au temps long de la prévention de la pollution atmosphérique. En effet, seules des mesures de fond agissant à la fois sur la motorisation des véhicules, les carburants, l'énergie, l'urbanisme, l'agriculture... seront susceptibles de diminuer les effets néfastes d'une pollution généralisée née de l'essor techno-économique sans précédent qui s'est développé après la guerre. De ce point de vue, la problématique de la qualité de l'air a été profondément renouvelée, à la fois comme problématique urbaine, mais surtout comme une problématique particulaire, d'où la prégnance de la question du Diesel, par exemple, ou de l'agriculture... Cette évolution est largement liée au développement des connaissances sur les effets sanitaires des polluants : pollution acido-particulaire (acidité forte et fumées noires), monoxyde de carbone, oxydes d'azote, ozone et particules au sens large. Ce sont les particules qui ont fait l'objet de développements majeurs des connaissances depuis une quinzaine d'années, aussi bien sur la mise en

évidence de la complexité de leur chimie que sur celle des méfaits de la pollution chronique et des faibles doses au sein du cocktail que représente l'air des villes, avec le chiffre emblématique, déjà cité, de 42 000 morts par an. Le terme même de particule affecté autrefois à l'indicateur « fumée noire », recouvre aujourd'hui une réalité plus complexe et mieux différenciée. C'est ainsi que les alertes, initialement liées aux polluants acido-particulaires (AF ou SO₂/FN), se sont portées sur le dioxyde d'azote, l'ozone puis, plus récemment, sur les particules de tailles et de natures différentes (PM₁₀, PM_{2,5}...). Quel a été le rôle des alertes, agissant sur un temps court à travers des mesures d'urgence, sur l'intégration de la qualité de l'air dans la plupart des préoccupations de la vie quotidienne ? Leur valeur pédagogique, répétitive, a-t-elle pu fonctionner comme un rappel à l'ordre régulier, comme une sonnette d'alarme réveillant ou éveillant les consciences et déclenchant des réflexes de peur ou d'action ? Paradoxalement, en France, ces alertes ponctuelles ont été utilisées comme mode de gestion par les politiques publiques ; elles ont donné lieu à un corpus législatif considérable, comme le prouve le grand nombre de circulaires ministérielles et d'arrêtés préfectoraux et interpréfectoraux ayant les épisodes de pollution pour objet. Le dernier arrêté interministériel date du 26 mars 2014 (Michelot, 2015). Cette réglementation abondante poursuit deux objectifs : l'un, qui se situe dans le sens de la mission de protection sanitaire assignée à l'État, consiste à alerter les populations dont la santé pourrait être altérée par des niveaux de pollution élevés ; l'autre encourage les acteurs de la pollution à limiter les émissions qui, compte tenu des mauvaises conditions de dispersion, pourraient amplifier l'épisode. Cette seconde ambition était surtout pertinente et efficace au temps où la pollution était essentiellement considérée comme d'origine industrielle, avec des sources faciles à identifier et dont la maîtrise réagissait de manière linéaire sur les niveaux de la pollution ambiante. Actuellement, la pollution est surtout urbaine, complexe et multiscale, la diminution des émissions locales est insuffisante pour réduire la pollution, notamment particulaire qui est, aujourd'hui, la plus préoccupante. Quant au premier objectif, il se heurte à la difficulté qui consiste à passer de l'indication d'un risque général, populationnel potentiel à des conseils sanitaires plus individualisés, car la variabilité des expositions et des sensibilités inter- et intra-individuelles est très forte. On peut s'interroger sur la réalité de cette distinction entre les deux objectifs. N'est-on pas tour à tour ou simultanément à la fois victime et acteur ?

Pourquoi séparer les gestes qui protègent la santé de ceux qui veillent à la salubrité de l'environnement ? Cette césure n'est-elle pas issue des fractures induites par un certain rationalisme français qui marque la difficile émergence de la santé environnementale en France (L. Charles, 2009). Ces questions interrogent l'ensemble de l'histoire de la pollution atmosphérique dont les alertes, réponse institutionnelle aux pointes de pollution, ne représentent qu'une petite partie.

Les prémices des alertes : les progrès du mesurage et de la quantification de la pollution de l'air

À l'heure actuelle, dans un contexte où la connaissance de la pollution atmosphérique et, *a fortiori*, celle de l'exposition des habitants est devenue très complexe, le dispositif d'alerte en vigueur est l'héritier d'une gestion de la pollution par les normes, telle qu'elle a été progressivement mise en place depuis la Seconde Guerre mondiale, en conformité avec la tradition hygiéniste.

De nombreux auteurs s'accordent pour attribuer la naissance de la vigilance sanitaire sur la pollution moderne à la fameuse catastrophe londonienne de 1952, observée au cours d'un épisode de smog hivernal. 3 500 à 4 000 morts dans le Grand Londres ont pu être attribués à des niveaux de 4 000 µg/m³ de fumées noires et 2 000 µg/m³ d'acidité forte (liée principalement au dioxyde de soufre). Cet événement a marqué le début d'une prise de conscience de l'importance qu'il fallait accorder aux effets sanitaires de la pollution de l'air, particulièrement aigus au cours de certaines situations météorologiques favorables à l'accumulation des polluants dans les basses couches de l'atmosphère. Si le smog porte sa part de responsabilité, il se conjugue avec l'essor de la reconstruction urbaine et industrielle en Grande-Bretagne, comme en France, qui a mis l'accent sur le développement massif de la production sans prendre en compte les dommages collatéraux engendrés sur l'environnement. En Grande-Bretagne, le chauffage et la pollution urbaine ont été rapidement incriminés, mais, en France, la prise de conscience s'est cristallisée autour de la pollution industrielle et des grandes chaufferies, accompagnée par l'État qui en a assumé la prise en charge. Cette orientation

a perduré longtemps ; en 2001, un spécialiste de sciences politiques pouvait écrire : « un trait caractéristique de la politique de lutte contre la pollution atmosphérique des années 1970 et qui ne semble pas avoir changé au cours des années 1980 est sa forte concentration sur les sources industrielles fixes, ayant pour corollaire une faible coordination avec des mesures d'aménagement en matière de chauffage dans les zones résidentielles et surtout l'absence quasi totale de prise en compte des sources mobiles (...). La négligence des sources mobiles de pollution a des racines plus profondes que l'on doit chercher dans la promotion par l'État français de la mobilité individuelle et de la production automobile » (Knoepfel *et al.*, 2001).

Les progrès de la métrologie

Au lendemain de l'épisode londonien, les progrès de la métrologie permettent d'orienter la mesure vers l'air ambiant, les immissions et non plus vers les seules fumées et les émissions. Ce tournant permet aux industriels, grâce aux chiffres, d'objectiver les plaintes et de supplanter le ressenti de la pollution par la population par des mesures et des normes qui deviennent un outil au service d'une forte technocratie pilotée par l'État. Toutefois, la surveillance de la pollution de l'air a connu une évolution majeure en quittant le terrain de la gêne et de la nuisance qui formaient encore la base de la surveillance de la pollution lors de la définition donnée par le Conseil de l'Europe en 1967. Les premiers mesurages à Paris sont intervenus en 1956-7 par deux laboratoires, le LHVP et le LCPP. La rationalité du chiffre, indicateur de la pollution invisible, a remplacé l'approche sensible de la pollution.

Sous l'impulsion des industriels et des municipalités, les stratégies adoptées pour l'implantation des premiers réseaux de mesures ont surtout été guidées par l'autocontrôle des industriels et la surveillance sanitaire des habitants. Celle-ci, à l'époque, était assimilée au respect d'une norme, ce qui explique le consensus partagé par les médecins et les industriels sur cette démarche. Ces réseaux ont, pour la plupart, vu le jour sous l'impulsion de l'APPA (Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique), créée en 1958, à la veille de la loi sur l'air de 1961. Cette loi, souvent considérée comme timide, encourageait pourtant les mesures et l'autocontrôle des installations industrielles. À cette époque, sous l'influence de « l'hygiénisme municipal », la réunion, au niveau local, d'industriels, d'élus et de

médecins, a permis de développer des mesures quoique encore artisanales et limitées à l'acidité forte et aux fumées noires. Dans quelques grandes villes, l'évaluation de la pollution automobile était effectuée à travers des mesures ponctuelles du monoxyde de carbone. Ce n'est que très progressivement que des indicateurs plus pertinents mais plus complexes ont été établis (*cf.* ci-dessous).

Les résultats des analyseurs, encore trop peu répandus pour mailler le territoire, étaient surtout utilisés pour appréhender l'évolution chronologique des polluants, pour mesurer les progrès techniques réalisés mais aussi pour éviter de dépasser certains seuils au-delà desquels la qualité de l'air était considérée comme dommageable pour la santé des habitants.

La lente objectivation de la pollution par le mesurage

Le mesurage a permis l'élaboration progressive de normes sanitaires et des comparaisons à la fois dans le temps et dans l'espace. De nombreuses études épidémiologiques, certes imparfaites, ont été réalisées en France mais surtout à l'étranger, dans les années 1970, pour évaluer un lien entre les niveaux de pollution et l'occurrence d'effets dommageables sur la santé. Par exemple, une enquête effectuée à Denain-Quievrechain, publiée en 1977, a montré les relations entre le nombre d'arrêts de travail pour affections respiratoires aiguës et les niveaux d'acidité forte et des fumées noires. En France, une des premières études épidémiologiques de grande ampleur, l'étude PAARC (Pollution Atmosphérique et Affections Respiratoires Chroniques), mise en œuvre en 1975 et pilotée par des chercheurs bordelais, a surtout montré, en raison des limites métrologiques et méthodologiques de l'époque, l'influence des niveaux élevés de pollution.

Les progrès encore balbutiants de la métrologie ont permis de déléguer la gestion de la pollution au respect des normes qui servaient de référence aux industriels pour évaluer la diminution de leurs impacts. Ce recours à la norme permettait d'intégrer une dimension sanitaire encore faiblement étayée par des démarches expérimentales animales et humaines et des approches épidémiologiques émergentes. Cependant, à l'image de la technicisation de la médecine qui, de plus en plus, avait tendance à objectiver par des analyses le diagnostic du médecin, les effets

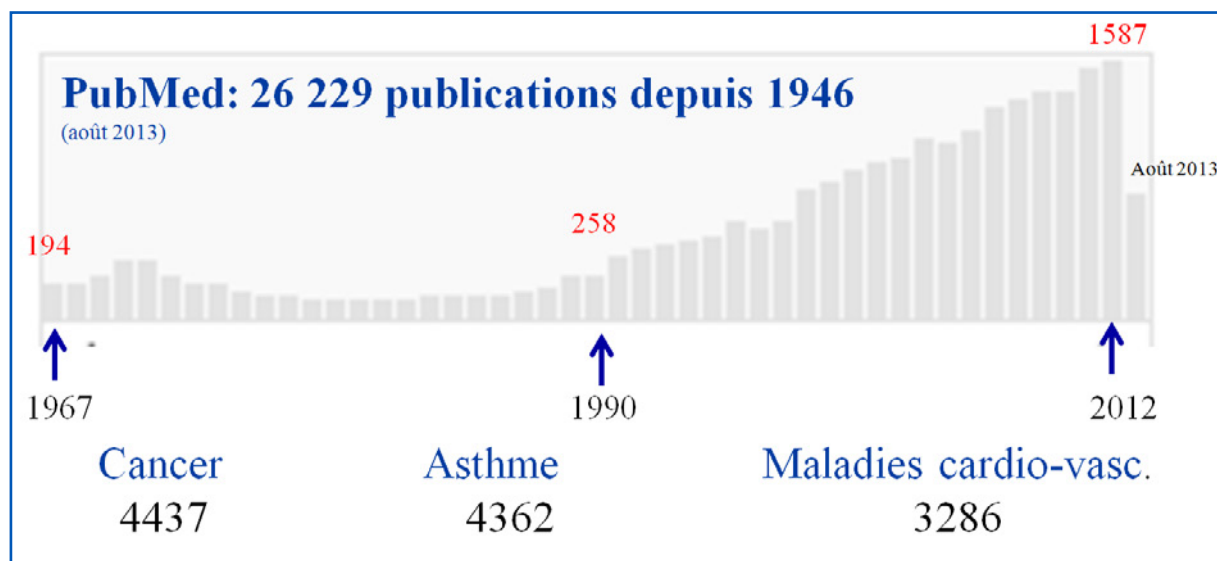


Figure 1.

Évolution (statistique) du nombre de publications liées à la pollution atmosphérique dans PUBmed.
Statistical evolution of the number of publications connected to atmospheric pollution in PUBmed.

de la pollution étaient illustrés par le respect de la norme qui, toutefois, dépend de la fiabilité et de la représentativité des mesures de référence.

C'est dans ce contexte qu'au lendemain de la création du ministère de l'Environnement en 1971 et grâce aux progrès de la métrologie, développés sous l'influence des ingénieurs du corps des Mines, plusieurs sites industriels ont pu être équipés de mesures en continu pour mettre en place un système d'alertes industrielles, dans la Basse-Seine en 1974 et à Dunkerque en 1976. À une époque où les niveaux de pollution étaient beaucoup plus élevés qu'actuellement, les alertes industrielles avaient pour objectif d'écrêter les pointes pour respecter les normes en vigueur pour la pollution acido-particulaire (AF, FN). Ce dispositif, actionné par les préfets, très peu médiatisé, imposait aux industriels l'utilisation de combustible à basse teneur en soufre pour améliorer la qualité de l'air lors des épisodes prévus ou non. La norme et l'alerte étaient devenues les outils de gestion d'une technostucture liant l'administration à l'industrie à travers une quantification et une technicisation du risque sanitaire induit par la pollution atmosphérique. Le système d'une surveillance hésitante, empirique et hygiéniste locale était remplacé par le savoir-faire des ingénieurs en lien avec le préfet.

La faiblesse des résultats mis en avant par l'étude PAARC, la progression de l'énergie « propre » liée au développement du nucléaire, et l'apparent respect des normes ont contribué à

détourner l'intérêt des chercheurs et des médecins de la mise en évidence des effets sanitaires de la pollution de l'air (figure 1).

La mise en place de ce dispositif d'alertes industrielles correspond bien aux caractéristiques des politiques publiques françaises vis-à-vis de l'environnement : elles reflètent le poids des industriels, engagés dans une dynamique de promotion des procédés propres au sein d'une structure administrative forte et très centralisée. Elles induisent aussi le retrait des habitants qui ne s'approprient plus une pollution devenue invisible et normée, mise à distance. L'homogénéisation des procédures, mise en place depuis la création du ministère de l'Environnement, s'est amplifiée en rationalisant progressivement les initiatives prises par les acteurs locaux. Les habitants ont ainsi été évacués des procédures qui, très techniques, ont souffert d'un manque de démocratie. Les alertes sont déterminées par rapport à des seuils liés aux normes de qualité de l'air qui s'appliquent aux immissions observées ou prévues. Les actions mises en œuvre en cas de dépassement ne peuvent être que curatives, avec une efficacité limitée puisque l'évolution des concentrations de polluants dans l'atmosphère est surtout pilotée par la situation météorologique. La pertinence de ces actions repose sur leur préparation et donc sur la qualité de la prévision qui, à la faveur des progrès de la modélisation, s'est beaucoup améliorée au fil des ans.

Les alertes industrielles et leurs limites

Ces alertes font l'objet de procédures, très techniques, qui sont mises en place lorsque la situation météorologique prévue semble défavorable à la dispersion des polluants. Dans ce cas de figure, un arrêté préfectoral oblige les entreprises d'une certaine taille à utiliser un fuel avec une basse teneur en soufre. Ce dispositif s'inscrit dans une dialectique entre l'État et les industriels pour éviter les pointes de pollution et respecter les normes en vigueur qui sont censées représenter l'intérêt des habitants en garantissant leur bonne santé tout en les maintenant en dehors de cette procédure peu médiatisée. Petit à petit, l'évolution de la société, des connaissances et des caractéristiques de la pollution ont mis en lumière les limites de ce dispositif pour constituer des bases nouvelles qui ont fait l'objet de la loi sur l'air de décembre 1996.

Les modalités de mise en place de ces alertes

Elles sont différentes selon les régions et le nombre d'établissements industriels concernés par la modification du fuel utilisé. Elles reposent

à la fois sur la fiabilité des prévisions météorologiques et sur celle de la métrologie mise en place dans les réseaux de mesure nouvellement créés.

La pertinence et l'efficacité de ce système s'expliquent par la linéarité de la relation entre les émissions industrielles et les niveaux de pollution acido-particulaire (AF, FN) enregistrés dans l'air ambiant. Le nombre d'alertes décrétées en une année varie en fonction de la variabilité des situations météorologiques. Par exemple, à Lyon, la rigueur du mois de janvier 1997 a suscité le déclenchement de ce dispositif qui n'avait pas été activé depuis 1993.

- À Lyon, la procédure ne s'appuie pas uniquement sur les prévisions météorologiques, elle se réfère également aux niveaux observés sur les différentes stations du territoire, et elle peut être déclenchée à partir des observations.

- À Grenoble, entre le 15 novembre et le 15 février, toutes les entreprises grenobloises sont astreintes à ne brûler que du fioul avec une teneur maximale en soufre de 2 %. En cas de situations météorologiques préoccupantes, l'alerte préfectorale impose une teneur maximale de 1 %.

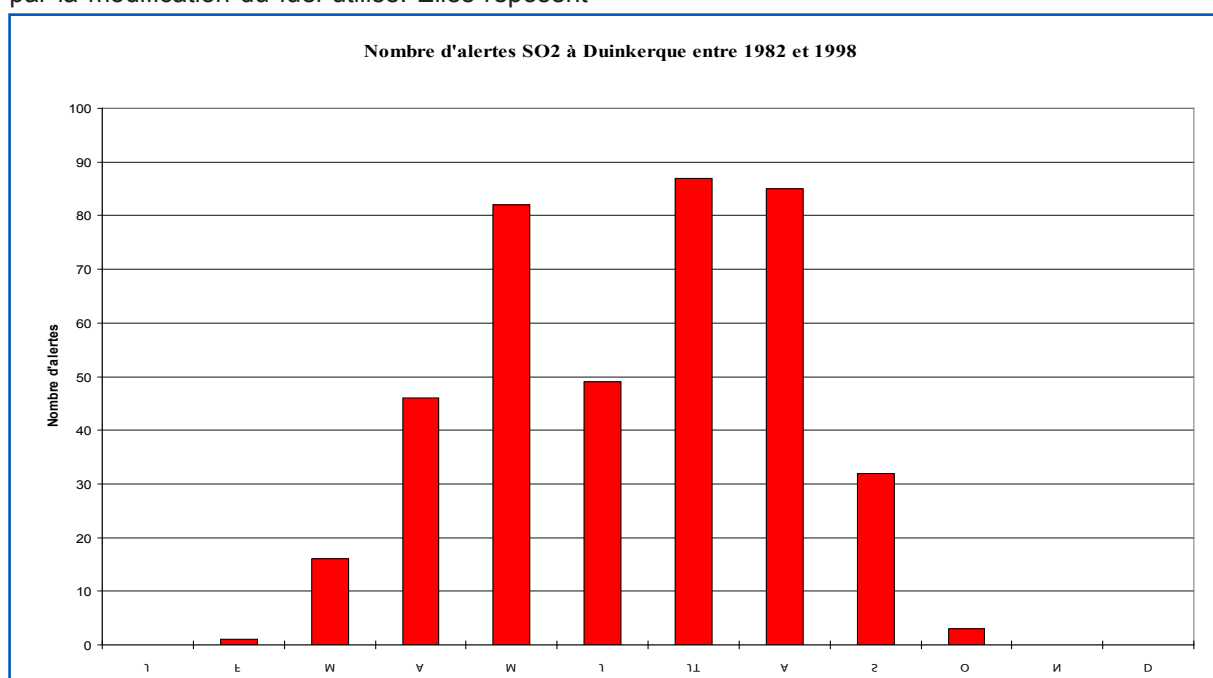


Figure 2.

Nombre d'alertes à Dunkerque entre 1982 et 1998. L'occurrence estivale, liée aux brises de mer, est nette. (Source : Opal'air).

Number of alerts in Dunkerque between 1982 and 1998. The summery occurrence connected to sea breezes is clear.

- À Dunkerque, les modalités de la procédure d'alerte ont été fixées en 1981. Elle se déroule en deux temps, une première mobilisation des industriels a lieu au cours d'une période de pré-alerte définie selon des critères météorologiques. Si la situation météorologique persiste et si les niveaux de polluants mesurés s'élèvent, la phase d'alerte est décrétée et impose aux industriels d'utiliser un fuel à basse teneur en soufre.

- À Dunkerque, comme autour du golfe de Fos/Mer, les alertes ont lieu surtout l'été, au cours des situations météorologiques favorables aux brises de mer, vents locaux qui affectent les basses couches de l'atmosphère et transportent les polluants vers les habitations (figure 2). Au cours de l'année 1998, sur 20 alertes industrielles déclenchées, deux seulement ont eu lieu l'hiver. Le déclenchement de ces alertes repose sur la connaissance fine des phénomènes météorologiques locaux.

Dans cette ville industrielle, cinq entreprises produisaient 75 % du dioxyde de soufre émis ; les restrictions imposées aux émissions industrielles sont donc très efficaces. En revanche, ces alertes dunkerquoises n'ont pas permis de régler la question des poussières qui ne sont pas affectées par le changement de fuel. Or les retombées de particules de forte taille affectent la vie quotidienne des Dunkerquois par des dépôts salissant le linge en train de sécher ou les sièges de jardin... Ce sont les PPA, issus de la loi sur l'air, qui ont introduit une réglementation sur le ré-envoi des poussières sur les tas de minerai ; lorsque le vent dépasse une certaine vitesse, les industriels sont obligés d'arroser le minerai stocké.

Ces dispositifs ont permis d'écarter les pointes et de faire prendre conscience aux industriels des pollutions émises et de leur nécessaire limitation en modifiant les procédés utilisés. Ainsi, à Dunkerque, plusieurs entreprises, plutôt que de changer de type de fuel plusieurs fois dans l'année, ont adopté le gaz naturel.

Au fil des ans, le nombre d'alertes au dioxyde de soufre a diminué en raison de la plus grande maîtrise des émissions industrielles polluantes ; quelques effets de panache persistaient sous le vent d'une usine lors de conditions météorologiques précises qui dirigeaient les fumées issues des usines vers les zones plus urbanisées. En 1995, dans le département de Seine-Maritime, des procédures de réduction des émissions ont été adoptées pour éviter les problèmes de retom-

bées de panache sur des sites particuliers. Dans ces conditions, la prévention s'appuie sur deux leviers distincts : la réglementation permet de maîtriser les émissions en modifiant les procédés industriels tandis que l'aménagement du territoire permet d'éviter d'encourager l'urbanisation des territoires à proximité des usines.

En dépit des progrès constatés dans le sens d'une réduction des émissions, le système présente des insuffisances.

Les limites de ce dispositif et les prémices de la loi sur l'air

Dans le courant des années 1990, le contexte dans lequel se situe la maîtrise de la pollution atmosphérique change de façon très importante, comme plusieurs ouvrages sur les politiques publiques s'en sont fait l'écho (Boutaric, 2014). Au début des années 1980, la question de la pollution atmosphérique était considérée comme réglée, et peu d'études étaient entreprises sur le sujet, (Zmirou, 2014), mais la reprise est très nette depuis les années 1990 en raison de nouveaux développements méthodologiques, notamment en épidémiologie (figure 1). En effet, la santé quelque peu oubliée dans le pilotage technique de la pollution industrielle, s'impose à nouveau sous la forme d'effets, de mieux en mieux connus, provenant de sources très diversifiées. Cette évolution ébranle complètement le système de gestion piloté par les alertes que la loi sur l'air institutionnalise dans un tout autre contexte.

La pollution atmosphérique : un mélange complexe

La crise provoquée par le phénomène des pluies acides, au cours des années 1980, a mis en évidence le poids des transferts de pollution transfrontière déjà dénoncée par la convention de Genève de 1979. Elle révèle aussi celui de la pollution automobile, non seulement dans les villes mais aussi dans les campagnes. Or la pollution urbaine est caractérisée par un cocktail photo-oxydant : NOx, CO, HC, COV... En mettant en exergue les dommages causés à la forêt, sacralisée par l'imaginaire romantique, les Allemands ont mis en cause la voiture et imposé – *via* le renouvellement de la législation européenne – la généralisation du pot catalytique aux constructeurs français réticents (Roqueplo, 1988). Les réseaux de surveillance se sont alors progressive-

ment donné pour objectif de mesurer la pollution automobile et urbaine relevant d'autres polluants plus complexes car se transformant rapidement dans l'atmosphère dans un contexte de proximité avec les populations impactées.

La complexité du mélange identifié pose la question des indicateurs à utiliser et du mesurage à adapter (P. Lameloise, 1994). Si les émissions industrielles sont effectivement « piégées » par les analyseurs d'acidité forte et de fumées noires, ceux-ci ne donnent que peu d'indications sur les polluants azotés et la multiplicité des autres polluants émis par les voitures. Cependant, la pollution industrielle se diversifiait également et sa caractérisation imposait de prendre en compte des indicateurs pour évaluer les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les composés organiques volatiles, les métaux lourds, les hydrocarbures...

L'adaptation des réseaux d'analyseurs à cette nouvelle donne a pris du temps d'autant plus qu'au cours des transformations de la ville liées à « l'automobilité », le silence collectif quant aux nuisances induites s'explique aussi largement par la dépendance vis-à-vis de l'automobile, longtemps consensuelle et largement entretenue par des considérations économiques et industrielles ! Le poids des constructeurs automobiles et celui des ingénieurs des Ponts et chaussées, en charge des infrastructures routières, est une spécificité française qu'a montrée C. Vlassopoulos (1999) dans sa thèse, en comparant les politiques en matière de qualité de l'air de la France, pionnière de l'automobile et possédant une puissante industrie automobile, avec celle menée par la Grèce, dépourvue d'industrie automobile. Au moment des crises liées à la disparition des industries lourdes, c'est la construction automobile qui est venue au secours de la reconversion des zones socialement sinistrées, tandis que l'investissement dans le développement des infrastructures routières a été plus encouragé que celui du fret ferroviaire.

L'amélioration des connaissances a aussi porté sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique

L'étude ERPURS (Évaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé, 1994, 1996) est la transcription d'une méthodologie appliquée aux USA, celle de l'approche écologique tempo-

relle, par de jeunes chercheurs français, notamment franciliens. Elle a permis de confronter des données sanitaires récemment disponibles sous un format numérisé (mortalité, hospitalisations, SOS Médecins...) avec le suivi des mesures de différents polluants que la création d'AIRPARIF en 1979 avait rendues plus nombreuses et plus fiables. À la fin des années 80, le réseau de mesure parisien a été profondément réorganisé en multipliant le nombre de capteurs adaptés à la mesure de la pollution automobile. L'étude ERPURS a affirmé le lien statistique entre la pollution de l'air et différents indicateurs sanitaires ; elle interrogeait les décideurs à un moment où la pollution urbaine, évaluée à partir des indicateurs mesurés, atteignait des valeurs élevées provenant de sources plus difficiles à maîtriser que les sources industrielles, plus concentrées en certains points du territoire et mieux connues. Cette étude insistait sur le poids des faibles « doses » et de la pollution chronique, puisqu'elle montrait qu'il n'existe pas de seuils en deçà desquels la pollution atmosphérique ne provoquait pas de dommages. C'est en s'appuyant sur cette épidémiologie renouvelée, qui a suscité d'importantes controverses, que la loi sur l'air a pu être appelée « loi de santé publique ». I. Vazeille, dans sa thèse (2003) sur l'élaboration de la loi sur l'air, insiste sur le poids de quelques médecins de santé publique qui ont su imposer ce texte confronté à l'opposition de certains lobbies industriels.

La découverte progressive et mondiale de la complexité de la pollution atmosphérique fait évoluer la notion de norme

Le renouveau de l'épidémiologie et des recherches sur les effets sanitaires de la pollution de l'air interroge la communauté scientifique mondiale. L'OMS collecte les résultats, les rassemble, les soumet à expertise et propose ensuite – s'il y a consensus – des normes. La définition des seuils s'appuie sur de nombreux travaux : démarches expérimentales animales et humaines, approches épidémiologiques dont la Communauté européenne s'est saisie. Toutes ces investigations ont permis à l'Union européenne d'élaborer une série de normes appliquées à la qualité de l'air que les États s'engagent à respecter. Les normes sont reprises dans des directives européennes qui leur donnent une portée plus générale. La directive européenne de 1992, outil d'harmonisation des normes de qualité de l'air, impose aux États signataires un

encadrement normatif pour limiter l'exposition des populations et donc le risque sanitaire. Mais, comme le souligne H. Scarwell (2015) : « L'intégration progressive de l'environnement dans le champ des compétences européennes ne doit pas faire oublier que les objectifs écologiques de l'Union européenne n'ont jamais été coupés d'objectifs 'économiques' ». Les normes résultent d'un compromis juridique, technique et sanitaire ; elles permettent aux industriels d'adopter des technologies propres tout en limitant la concurrence. À côté des normes sur la qualité de l'air imposées aux États, d'autres normes, les normes d'émissions, ont été élaborées pour contrôler les performances industrielles. Elles sont efficaces pour imposer de nouvelles technologies qui ont permis la maîtrise de la pollution industrielle, mais elles sont plus faciles à mettre en œuvre pour les sources industrielles fixes que pour les sources mobiles, comme le montre l'adoption très progressive des normes Euros. La succession des normes Euro a permis de réduire considérablement les émissions unitaires de polluants entre la norme Euro 1, adoptée en 1993, et la norme Euro 6 entrée en vigueur au 1^{er} septembre 2014. Cependant, la performance technique unitaire du couple moteur/carburant ne s'est pas traduite de manière spectaculaire par une baisse des niveaux observés de la pollution urbaine car elle a permis une augmentation du trafic, avec des véhicules plus sûrs et plus performants. Ce relatif échec a permis de montrer l'importance des actions de prévention qui consistent à intervenir en amont et sur le long terme. En l'occurrence, pour diminuer la pollution automobile, il est nécessaire d'agir sur l'ensemble des composantes du système de la mobilité et des transports.

Les normes sont régulièrement « sévériées » pour imposer une dynamique de progrès mais, en même temps, cette évolution contribue à déstabiliser les possibilités d'appréciation de la dangerosité et à relativiser la notion de risque (cf. ci-dessus). Les modifications des seuils suivent les opportunités offertes par certains événements. La circulaire de juin 2004, relative à l'ozone, tire les leçons de l'été 2003 au cours duquel peu d'alertes ont été déclenchées, elle modifie les seuils à prendre en compte pour décréter des alertes : le seuil d'alerte est positionné à 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives (au lieu de 360 initialement). Un second seuil se situe à 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire dépassé pendant 3 heures consécutives, et le troisième est à 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire. Ces trois seuils permettent de mettre en

place des mesures d'urgence progressives.

Pour les particules, le décret du 21 octobre 2010, décliné dans les différentes régions par des arrêtés interpréfectoraux, définit une nouvelle valeur limite journalière pour les particules fines PM_{10} de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 fois dans l'année. Le seuil d'information et de recommandation et le seuil d'alerte des PM_{10} ont été abaissés respectivement à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mais quelle est la représentativité spatiale d'un analyseur qui dépasse les normes ? Comment préciser l'extension spatiale de l'alerte ? Ce sont des questions auxquelles les AASQA ont pu apporter des réponses de plus en plus précises pour stabiliser et généraliser les procédures mises en œuvre. En multipliant les alertes et la médiatisation qui leur est associée, les pouvoirs publics ont pour objectif d'augmenter la prise de conscience du risque encouru par les populations (Rodriguez, 2012). La peur, toujours mauvaise conseillère, ne risque-t-elle pas de laisser la place à une certaine lassitude et indifférence ?

La notion de seuil est progressivement remplacée par celle de valeur limite et d'objectif de qualité ou valeur cible. Les normes de référence appliquées en France et en Europe essaient de se rapprocher le plus possible des valeurs conseillées par l'OMS.

Les résultats des études épidémiologiques relativisant la pertinence des seuils ont permis de diversifier les normes établies : les références aux moyennes annuelles mettent l'accent sur la chronicité du risque qui n'est plus uniquement concentré sur l'objectif des seuils d'alerte.

Ainsi, les normes se sont diversifiées, leur évolution suit le développement des études sanitaires, et l'occurrence d'épisodes de pollution tels que celui de septembre 1982 peut contribuer à faire évoluer les directives. À cette date, toute l'Europe de l'Ouest connaît des concentrations en ozone importantes, à la faveur d'une situation anticyclonique persistante. À Roubaix, la teneur en ozone atteint 500 à 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant plusieurs heures. Les épisodes aigus de pollution oxydante n'étaient pas nouveaux mais, contrairement à d'autres pays, les analyseurs d'ozone étaient rares en France. En Californie, des pointes de pollution, du même ordre que celles observées à Roubaix en 1982, étaient fréquemment observées, notamment à Los Angeles. En 1970, à Pasadena (près de Los Angeles) des

pointes horaires de 1 000 µg /m³ d'ozone ont été enregistrées. Or, parallèlement à ces constats, les impacts de l'ozone et des oxydes d'azote sont de mieux en mieux renseignés, y compris pour les faibles doses permettant ainsi l'élaboration d'une directive concernant l'ozone qui a été promulguée en 1992. Cependant, est-il pertinent de séparer la normalisation de l'ozone de celle des oxydes d'azote ?

Une des difficultés soulevées par les normes est celle de leur affectation à un polluant indicateur des sources sur lesquelles il est opportun d'agir. Or le choix de ces indicateurs a beaucoup évolué en fonction de l'apport des recherches effectuées. Par exemple, le SO₂, considéré comme indicateur de la pollution industrielle, est de moins en moins utilisé (peut-être à tort). Les fumées noires, dont le mesurage est abandonné, étaient un bon indicateur de la pollution particulaire émise par les processus de combustion incomplète, qu'elles soient industrielles ou automobiles. Elles ont été remplacées par une mesure des particules qui intègre ou non la fraction semi-volatile (*cf.* ci-dessous) liée, en particulier, aux épandages agricoles. L'évaluation des niveaux de *black carbon*, intégrant à la fois le trafic et le chauffage urbain, serait une manière pertinente de remplacer le mesurage des fumées noires et de donner ainsi une indication sur le « cocktail urbain » (Festy, 2012). Les NOx peuvent également être un indicateur de particules ultrafines.

Une autre difficulté concerne le choix de la taille des particules auxquelles il convient d'affecter une norme, car les résultats des recherches montrent que plus les particules sont fines, plus leur origine anthropique est probable et plus leur impact sanitaire peut être fort puisqu'elles peuvent franchir la barrière des organes et ne pas affecter que l'appareil respiratoire. Pour l'instant, le mesurage des PM_{2,5} tend à se généraliser mais peut-être qu'une norme s'imposera pour les particules ultrafines (Airparif, 2008). Cependant, entre le résultat des recherches sanitaires et la mise en œuvre d'une norme consensuelle, un long délai est nécessaire. Il ne suffit pas d'édicter une norme, encore faut-il qu'elle puisse être appliquée à l'aide d'un réseau d'analyseurs correspondant. En 2014, la révision de la directive sur la qualité de l'air pose encore problème. Le commissaire européen en charge déclarait, au terme de l'année de l'air en décembre 2013, qu'il n'était pas envisageable de revoir des normes encore peu respectées dans plusieurs pays de l'Union.

Parallèlement à cette gestion technique, les exigences de la population augmentent à la fois sur le plan environnemental et sanitaire

Les alertes étaient négociées entre les industriels et l'administration préfectorale en s'appuyant, le cas échéant, sur les mesures effectuées, mais elles ne faisaient que très rarement l'objet d'une couverture médiatique. Les élus et les habitants sont peu impliqués lors de la mise en œuvre des alertes industrielles. Une étude réalisée au Havre en 1997 et 1998 a montré les inconvénients de ce déficit de communication, en particulier la confusion avec le confinement demandé pour la prévention des risques industriels (Delmas, 1999).

En outre, de plus en plus, les directives européennes ont mis l'accent sur la nécessaire information du public. La directive du 7 juin 1990 accordait aux citoyens le droit à l'information en matière d'environnement. Ce souci d'information des citoyens rejoint la préoccupation de plus en plus grande qu'ils peuvent manifester pour leur santé, indépendamment des actions que peut mener l'État dans sa mission de garant de la sécurité sanitaire. Certes, la maîtrise des émissions a pour objectif final un bénéfice sanitaire, mais cette notion de la santé publique qui fait le bonheur des individus sans eux, a fait long feu. L'épidémiologiste W. Dab constatait, dans une recherche mise en œuvre par le CNRS (1999) qu'« on assiste au retour de l'individu dans le domaine de la santé publique. On a longtemps fait de la santé publique un domaine de gestion de masse. Je crois que c'est de moins en moins adapté à l'attente sociale dans le domaine de la santé ». Cette constatation rejoint celle de L. Charles qui, dans la même recherche, estimait que l'individu, autonome, acteur de la constitution de son environnement, est ainsi conduit à participer à la maîtrise des pollutions émises collectivement et individuellement.

Avant la médiatisation, rendue obligatoire en 1992 par la directive ozone, les journaux avaient rendu compte de plusieurs épisodes de pollution hivernale. En 1987 et 1989, les hivers rigoureux avec des épisodes de brouillards avaient alerté les journaux dénonçant l'opacité (au sens propre comme au sens figuré !) qui entourait le phénomène de la pollution de l'air. Le public, plus soucieux de sa santé, exigeait d'être informé sur

ces questions. Or, sensibiliser des millions de conducteurs aux méfaits de la pollution urbaine suppose une action de grande envergure.

C'est dans ce contexte profondément renouvelé que la loi sur l'air de 1996 a été élaborée. L'émergence de ces différentes préoccupations a contribué à élargir le champ de la pollution atmosphérique à de nouveaux acteurs qui sont venus rejoindre les industriels au moment de la mise en œuvre de la LAURE. Le dispositif des alertes industrielles tel qu'il fonctionnait ne pouvait plus répondre aux attentes d'une gestion renouvelée de la qualité de l'air. Le ministre de l'Environnement de l'époque, Corinne Lepage, souhaitait remettre la santé et les habitants au cœur du dispositif qui continuait à s'appuyer sur des procédures d'alerte venant en complément d'une surveillance élargie et d'une planification territoriale accordant une large place à la prévention.

La loi sur l'air de 1996 a changé la donne en matière d'alertes

Cette loi se situe dans la continuité de la législation européenne, il revenait à la France de transcrire dans le corpus juridique national la directive de 1992. Or cette directive imposait aux signataires le respect de normes déclinées pour les principaux polluants dits « réglementés » : le SO₂, le NO₂, l'O₃ et les particules, sachant que cet objectif ne pouvait s'inscrire que dans une vision renouvelée de l'aménagement du territoire et de la politique énergétique. La LAURE, dite loi sur l'air, comporte de fait un volet sur l'utilisation rationnelle de l'énergie. Elle inscrit la pollution atmosphérique dans une dynamique environnementale, à travers une démarche à la fois métrologique (la surveillance), interventionniste et pédagogique (les mesures d'urgence), spatiale (avec des outils de planification, Plan régional pour la qualité de l'air – PRQA, Plan de déplacement urbain – PDU, Plan de protection de l'atmosphère – PPA) et sanitaire, en insistant sur la prévention.

Ainsi les alertes ne représentent qu'un dispositif parmi l'ensemble de ceux préconisés par la loi de 1996, dont la mise en œuvre, selon C. Lepage, n'a été que partielle : « Hormis la partie concernant la surveillance de la qualité de l'air, la loi n'a jamais été réellement appliquée ». Comme le souligne F. Boutaric : « La dynami-

sation semble, à ce jour, avoir plus porté sur les besoins de connaissance et la définition d'objectifs intersectoriels que sur un véritable renouvellement d'un réseau d'acteurs locaux capables d'engager des actions transversales ».

La loi sur l'air a donc été élaborée dans un contexte en pleine évolution dans lequel l'environnement, à l'image du développement durable, impliquait un élargissement des échelles spatio-temporelles et du nombre d'acteurs concernés.

Les alertes sont prises en charge par un dispositif institutionnel piloté par l'État

La loi comporte un volet, le titre IV, plus spécifiquement dédié aux mesures d'urgence. L'article 12 stipule : « Lorsque les seuils d'alerte sont atteints ou risquent de l'être, le préfet en informe immédiatement le public selon les modalités prévues à l'article 4 et prend des mesures propres à limiter l'ampleur et les effets de la pointe de pollution sur la population. Ces mesures, prises en application du plan de protection de l'atmosphère lorsqu'il existe et après information des maires intéressés, comportent un dispositif de restriction ou de suspension des activités concourant aux pointes de pollution, y compris, le cas échéant, de la circulation des véhicules, et de réduction des émissions des sources fixes et mobiles ».

Les procédures préconisées sont institutionnalisées, précisées par des arrêtés préfectoraux en fonction de différents seuils pour trois polluants, et des propositions faites par les AASQA. Ces alertes ne concernent pas uniquement les sources industrielles mais aussi les sources mobiles (NO_x), beaucoup plus difficiles à maîtriser. L'administration préfectorale, responsable du pilotage des alertes issues de la LAURE, a voulu profiter directement des acquis capitalisés par les alertes industrielles dont les bénéficiaires ont été prouvés en imposant le respect de la norme. C'est donc dans la continuité des alertes industrielles que les services de l'État ont piloté ces nouvelles alertes en pensant imposer des restrictions sur les émissions pour améliorer la qualité de l'air, mais les nouveaux polluants incriminés par les alertes ne pouvaient pas se gérer que localement.

La LAURE attribuait aux PPA, outil de planification dédié aux agglomérations de plus de

250 000 habitants, la description des procédures à utiliser pour le déclenchement des alertes mais, pour l'ozone, limiter l'alerte aux agglomérations n'avait pas de sens. Dans la circulaire du 18 juin 2004, élaborée à la suite de la canicule de 2003 et de la directive « ozone » de 2002, il est rappelé que : « lors d'épisodes de pollution par l'ozone liés à des phénomènes de grande ampleur, comme celui rencontré au cours de l'été 2003, seules des mesures de réduction des émissions prises sur un territoire suffisamment étendu (une partie ou la totalité du territoire national) sont efficaces pour en limiter l'intensité. Aussi, dans une telle situation, vous pourrez être invités par le ministre de l'Écologie et du Développement durable à mettre en œuvre des mesures d'urgence, indépendamment des niveaux constatés ou prévus localement, afin de réduire la pollution subie dans d'autres régions. Pour l'ozone, des procédures d'alerte doivent donc être instaurées au niveau de tous les départements, même si le risque d'un dépassement des seuils d'alerte est considéré comme négligeable dans certains d'entre eux ». Il paraît clairement que lutter trop localement contre des problèmes d'épisodes photo-oxydants serait un non-sens. Ce sont des phénomènes au minimum régionaux, ce ne sont donc pas des actions locales qui peuvent changer les conditions d'exposition humaine aux polluants photochimiques. L'arrêté de mars 2014, présenté par N. Michelot (2015), insiste d'ailleurs sur la nécessaire coopération interdépartemen-

taie voire interrégionale.

Les alertes, telles qu'elles ont été mises en place à Paris depuis 1998, ne sont pas suscitées par des émissions industrielles locales (figure 3). Les préfets ont eu à gérer trois types d'alertes : des alertes liées à un dépassement de seuil observé sur les NOx, et donc en lien avec la circulation automobile, des alertes liées à l'ozone associées à un risque de canicule, et des alertes déclenchées par des niveaux de particules élevés à partir de 2007. L'occurrence des alertes liées aux particules s'est accélérée pour différentes raisons (cf. ci-dessous). La maîtrise des oxydes d'azote et de l'ozone, polluants secondaires, résulte de processus difficiles à mettre en place dans l'urgence. Les alertes liées à l'ozone ont beaucoup surpris la population qui a découvert ce polluant qui, en survenant par les belles journées ensoleillées de l'été, ne correspondait pas à l'imaginaire de la pollution associée au temps brumeux de l'hiver. Le lien entre les restrictions de circulation et les risques sanitaires liés à ce polluant au pouvoir irritant fort, a été d'autant plus difficile à faire admettre que l'ozone est un polluant secondaire s'étendant sur de vastes régions. Cette difficulté avait été soulignée, en 1990, par un groupe de travail de l'OMS qui préconisait aux pouvoirs publics d'insister sur les actions de prévention à long terme (OMS, 1990).

Le dispositif législatif est précisé par une cir-

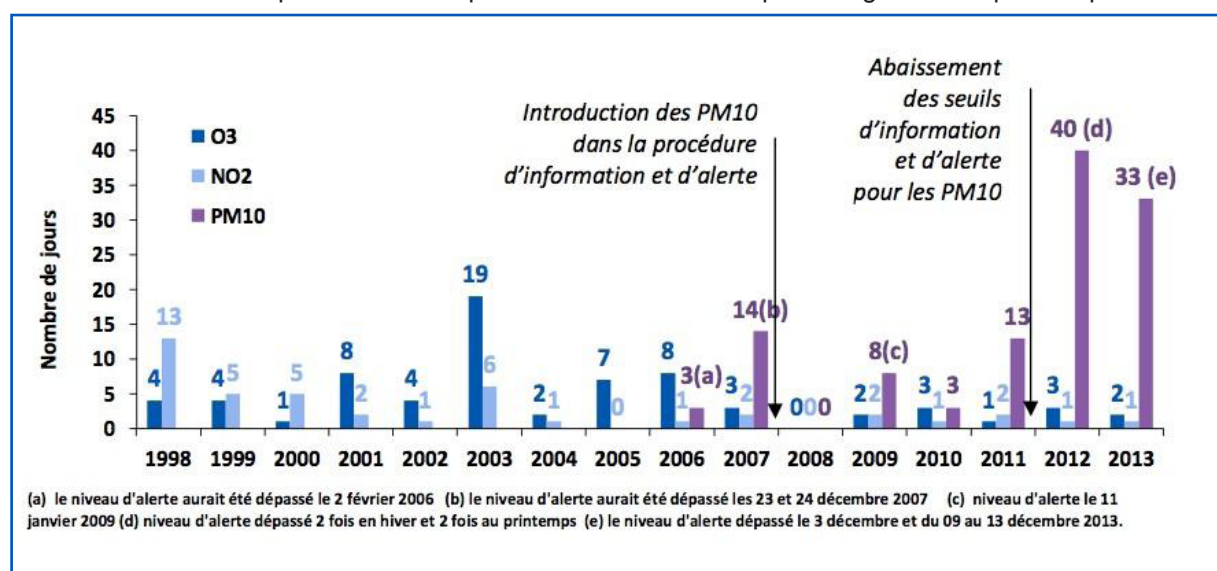


Figure 3.

Nombre de jours d'information et d'alerte en Ile-de-France de 1998 à 2013, selon chaque polluant (source : Airparif).

Number of days of information and alert in Ile-de-France from 1998 till 2013, according to every pollutant.

culaire datée du 7 août 1998. Celle-ci donne quelques éléments qui ne cesseront d'être repris au fil des ans au fur et à mesure que la question des alertes devient plus complexe à gérer. Les ministres signataires étaient conscients de la difficulté de l'exercice. La circulaire se conclut par ces termes : « Nous sommes conscients que ces dispositions sont complexes et qu'elles nécessiteront donc une mise en œuvre progressive. C'est pourquoi il sera nécessaire d'évaluer leur efficacité, éventuellement de procéder à des exercices préalables et d'assurer une large diffusion des connaissances acquises dans les agglomé-

mérations concernées. Vous mettrez en place un premier groupe d'actions simples que vous développerez ensuite en fonction des moyens disponibles et du retour d'expérience des premières activations ». Quelles sont les actions simples préconisées par cette circulaire ? À part la limitation de vitesse sur les voies qui relèvent de la compétence de l'État, quelles sont les actions de prévention qui peuvent être entreprises sans l'implication des collectivités locales ? En revanche, l'État a toute légitimité pour contribuer à la maîtrise des pollutions issues de sources exogènes et transportées sur de longues ou de moyennes

distances, qui apparaissent lors des épisodes de pollution liés à l'ozone ou aux particules, devant lesquels les habitants et les élus se sentent impuissants. Cette distorsion entre le caractère local des alertes décrétées et l'inefficacité des actions entreprises localement pour réduire la pollution que seule l'évolution de la situation météorologique peut éliminer, est une source majeure d'incompréhension du processus des alertes par la population. La seconde vocation des alertes concerne la protection des personnes sensibles en fonction de la mission sécuritaire de l'État, mais la mise en œuvre de ce deuxième objectif se heurte à de nombreuses difficultés. Les alertes ont, en fait, répondu à un troisième objectif communicationnel dans la perspective d'informer et de sensibiliser les populations à la faveur de ces épisodes médiatisés. En 2007, les alertes liées aux particules, en devenant plus fréquentes et plus directement contraignantes ont eu, semble-t-il, un écho plus attentif au sein des populations.

La gestion de l'alerte, phénomène inscrit dans le temps, ne peut être séparée d'un ancrage territorial à des échelles différentes. Cette distorsion scalaire est accompagnée d'un manque de coopération entre les acteurs de l'alerte, le préfet et les décideurs locaux qui détiennent les clés d'une prévention plus durable.

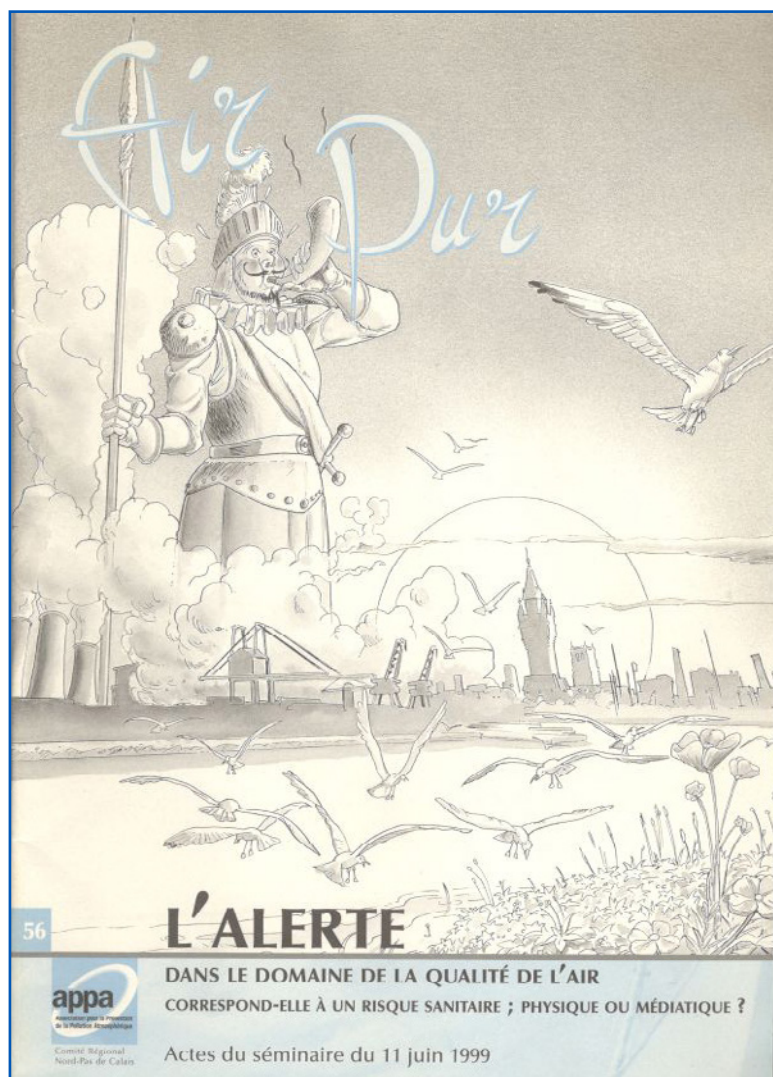


Figure 4.

Air Pur, n° 56, Actes du séminaire de restitution de l'étude CNRS : « l'alerte dans le domaine de la qualité de l'air correspond-elle à un risque sanitaire, physique ou médiatique ? », juin 1999.

Seminar presenting results of the CNRS study called "does the alert in the field of the air quality correspond to a sanitary, physical or media risk? «, June 1999.

La difficile gestion de la pollution dans le temps sans une dynamique spatiale

Les alertes liées aux oxydes d'azote interrogent la pollution urbaine dont le développement relève largement de la responsabilité des élus qui, à la veille de la loi sur l'air, ne se sentaient guère concernés par la qualité de l'air, relevant, selon eux, de la responsabilité de l'État. D'ailleurs la création des ZPS (Zones de Protection Spéciales qui ont surtout pour effet d'accentuer le divorce entre la ville et l'industrie) dans les grandes agglomérations s'est effectuée sous l'impulsion de l'État, à Paris, en 1963 et 1964 puis à Lyon et à Lille en 1974 ; ce qui montre combien, traditionnellement, même en ville, la qualité de l'air demeurait une compétence régaliennne. À Paris, dès 1994, une procédure d'alerte et d'information des populations est mise en place par le préfet de police en cas d'épisode de pollution atmosphérique pour trois polluants (NO₂, O₃, SO₂), en s'appuyant sur les mesures et les prévisions d'Airparif, mais il a fallu beaucoup plus longtemps pour que la mairie de Paris entreprenne des aménagements pour diminuer les émissions. Seules quelques grandes agglomérations, en l'absence d'une politique urbaine de gestion de la qualité de l'air, ont vu l'opportunité qui leur était offerte de réaménager leur ville – et spécialement les transports urbains – dans le sens d'une meilleure maîtrise de la qualité de l'air. En 1997, Raymond Barre constatait : « L'important n'est pas de prendre des mesures contraignantes les jours les plus difficiles, il est d'éviter de se trouver dans de telles conditions », et dans le compte rendu du conseil municipal de la ville de Lyon du 22 janvier 1997, on peut lire que Raymond Barre a expliqué qu'il estimait que l'élaboration du Plan de déplacements urbains et un réseau de transports en commun attractif devaient être les priorités pour lutter contre la pollution. Force est de constater que la complémentarité attendue entre les mesures d'urgence et les réformes territoriales préconisées par la loi sur l'air à travers les PRQA, PPA et PDU, s'est difficilement imposée. Cette discordance a pour origine le difficile synchronisme entre deux temporalités, celle du temps court de l'urgence et celle du temps long des aménagements nécessaires à la réduction de la pollution. Paradoxalement, le temps de l'alerte signe l'insuffisance des actions préventives engagées sur le long terme. Mais elle s'explique aussi par des liens qui ont été longs à établir entre les acteurs de l'urgence et les élus responsables des aménagements durables bénéfiques à la

qualité de l'air, même s'ils n'ont pas toujours été envisagés dans cette perspective. Pour beaucoup d'élus, il a fallu du temps pour qu'ils entreprennent de conjuguer aménagement et qualité de l'air, même si de nombreuses actions effectuées dans le domaine de l'aménagement ou des transports se sont traduites par un réel bénéfice sur les niveaux de polluants mesurés. Pendant longtemps, aux yeux des urbanistes, la qualité de l'air relevait de la responsabilité de l'État en raison de son assimilation à l'industrie (Roussel, 1998). Les méfaits de la circulation automobile sur la santé ont mis longtemps à s'imposer en province, en dépit des résultats mis en avant par l'étude ERPURS – considérée comme francilienne – et en raison du silence de l'État sous l'influence de l'UTAC (Union Technique de l'Automobile, du motocycle et du Cycle), selon C. Vlassopoulou (1999). C'est peut être au cours des pointes du mois de mars 2014 que les élus ont montré qu'ils s'étaient véritablement saisis de la question de la pollution de l'air et qu'ils mettaient tout en œuvre, au-delà des mesures médiatisées prises les jours de pointe, pour intervenir sur l'urbanisme, les transports, l'habitat pour construire une ville plus sobre et plus saine. Entre 1997 et 2014, l'État s'est trouvé souvent seul pour porter le dispositif des alertes qui a prouvé ses bénéfices dans le domaine de l'industrie mais reste timide s'il n'est pas pris à bras le corps par les élus. Les « retours d'expérience » sur les PDU (Frère, 2005, 2006) ont montré combien la culture de la qualité de l'air, à la fin du XX^e siècle, était encore peu appropriée par les ingénieurs en charge des transports qui avaient pour objectif des améliorations techniques comme l'implantation de TCSP (Transports en Commun en Site Propre) ; la question de la mobilité dans son ensemble était peu souvent évoquée. Ce n'est qu'au fil des temps que l'acculturation a pu lentement progresser.

Une fois que les seuils sont dépassés, il vaut mieux limiter les émissions et les rejets, mais on sait que seul le changement de la situation météorologique peut modifier fondamentalement les niveaux de pollution mesurés. Au fil des ans, les simples conseils prodigués ont évolué vers des mesures incitatives puis, ces dernières années, dès que les seuils d'information étaient atteints, le préfet décrétait souvent des limitations de vitesse. On peut s'interroger sur l'efficacité de ces mesures très ponctuelles ; on peut même se demander si elles n'ont pas contribué à entretenir un certain sentiment de découragement et d'impuissance devant la pollution, pourtant toujours considérée comme un problème environ-

nemental majeur par les Français (IRSN, 2014). Cependant, les progrès réalisés, tant dans la prévision des épisodes que dans la caractérisation des sources responsables, ont permis de mieux répondre à une demande d'action de la population très sensibilisée au cours de ces épisodes fortement médiatisés. Paradoxalement, pour que des mesures d'urgence soient efficaces, il faut qu'elles aient été anticipées et bien préparées ; ainsi, le décret interministériel de mars 2014 recommande : « Pour garantir la mise en œuvre efficace des mesures d'urgence et leur acceptabilité, il convient d'assurer au préalable, en dehors des épisodes de pollution, une large concertation avec les parties prenantes, et de définir des plans d'actions permettant de faciliter cette mise en œuvre dans des délais très courts. Par exemple, les modalités de mise en œuvre des restrictions de circulation peuvent être définies dans un plan de circulation d'urgence, discuté au préalable avec les collectivités et les entreprises pour favoriser durant ces périodes le recours aux transports en commun, covoiturage, télétravail, etc. »

Longtemps laissés sans prises possibles pour faire baisser les concentrations essentiellement pilotées par la situation météorologique, les préfets ont insisté sur leur mission, tout aussi délicate, de protection des personnes vulnérables ou sensibles selon les définitions et les modalités énoncées par les avis du HCSP.

En dépit des difficultés posées par la réduction de la pollution, l'autre bénéfice des alertes consiste à prévenir les personnes sensibles pour qu'elles puissent prendre des précautions vis-à-vis des niveaux élevés de pollution.

Les recommandations sanitaires diffusées au cours de ces épisodes se heurtent à plusieurs difficultés

La définition quelque peu mouvante de la notion de pic a contribué à fragiliser les dispositifs mis en place. La circulaire d'août 1998 stipulait : « Cette évaluation reposera sur des calculs tenant compte de l'ensemble des résultats des mesures sur stations fixes, disponibles sur la zone ou l'agglomération considérée, ainsi que des estimations par modélisation. Une pondération correspondant à la zone ou à l'agglomération considérée sera réalisée à partir des valeurs fournies par les capteurs dits de fond et celles des capteurs de proximité. Cette pondération, privi-

légiant les capteurs de fond, tiendra également compte des valeurs fournies par les capteurs de proximité, lorsque ceux-ci existent. ». Cette déclaration souligne le caractère relatif de la définition de l'événement qui est tributaire du nombre de capteurs pris en compte et de leurs caractéristiques. De nombreux arrêtés préfectoraux ont précisé, au fil des temps, les modalités à observer pour déclencher une procédure d'information ou d'alerte. Quels sont les capteurs à prendre en compte pour définir une alerte ? L'utilisation des données de proximité dans les critères de déclenchement est-elle pertinente ou, au contraire, ne relève-t-elle pas de l'exacerbation du local ? Les alertes sont devenues préventives et mieux territorialisées au fur et à mesure que les AASQA se sont dotées de modèles prédictifs. Il faut attendre le décret de mars 2014 pour trouver une définition plus précise mais néanmoins complexe, d'un épisode : « Un épisode de pollution est caractérisé :

- soit à partir d'un critère de superficie, dès lors qu'une surface d'au moins 100 km² au total dans une région est concernée par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules PM₁₀ estimé par modélisation en situation de fond ;

- soit à partir d'un critère de population : (1) pour les départements de plus de 500 000 habitants, lorsqu'au moins 10 % de la population du département sont concernés par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules PM₁₀ estimé par modélisation en situation de fond ; (2) pour les départements de moins de 500 000 habitants, lorsqu'au moins une population de 50 000 habitants au total dans le département est concernée par un dépassement de seuils d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou de particules PM₁₀ estimé par modélisation en situation de fond ;

- soit en considérant les situations locales particulières portant sur un territoire plus limité, notamment les vallées encaissées ou mal ventilées, les zones de résidence à proximité de voiries à fort trafic, les bassins industriels ».

Cette définition s'appuie sur des cartographies rendues possibles par la généralisation de la modélisation qui a permis de passer d'un mode de surveillance fondé uniquement sur les dépassements de certains seuils dans le temps à une vision plus spatialisée de la pollution de l'air.

Le territoire des procédures n'est pas celui de

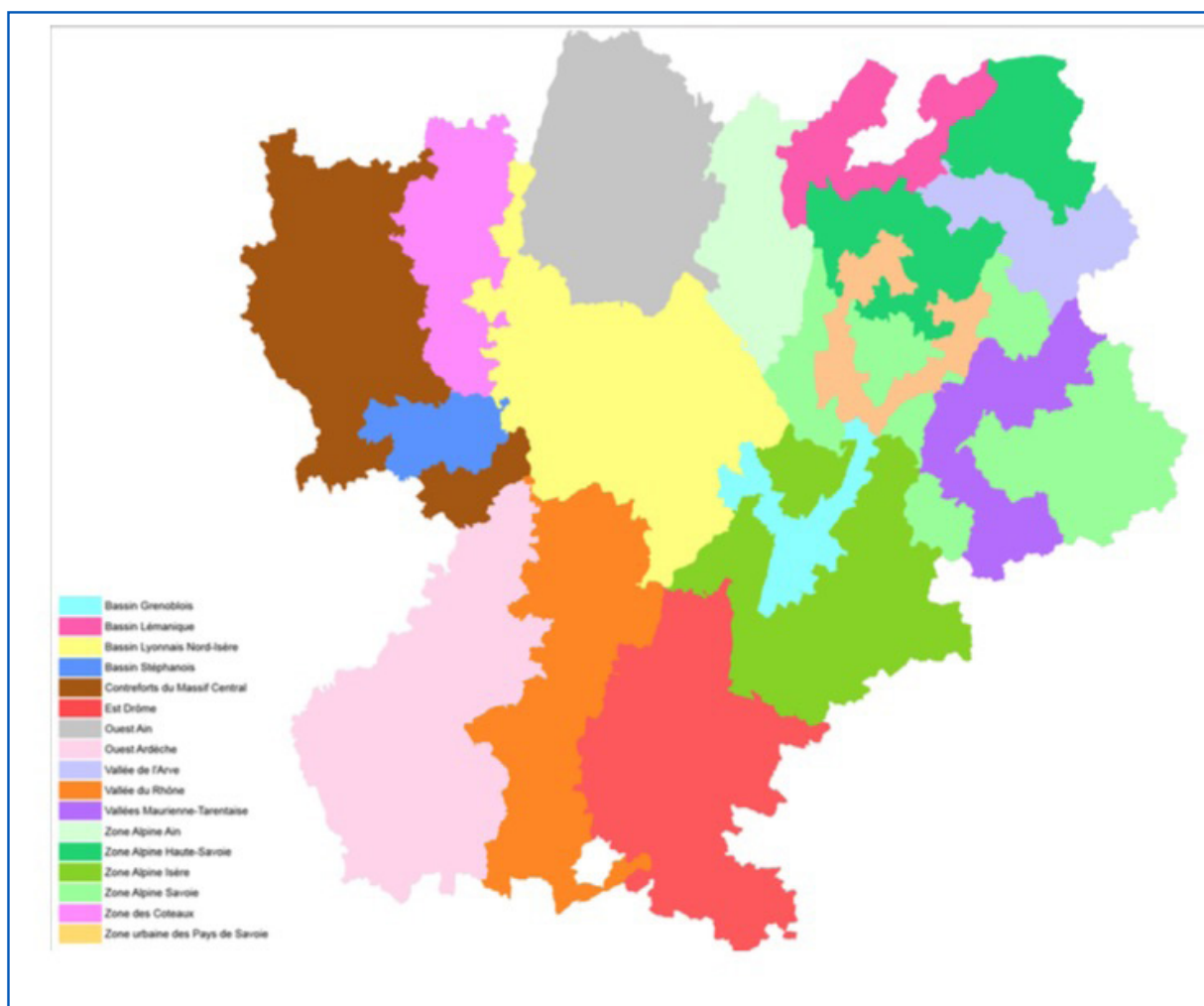
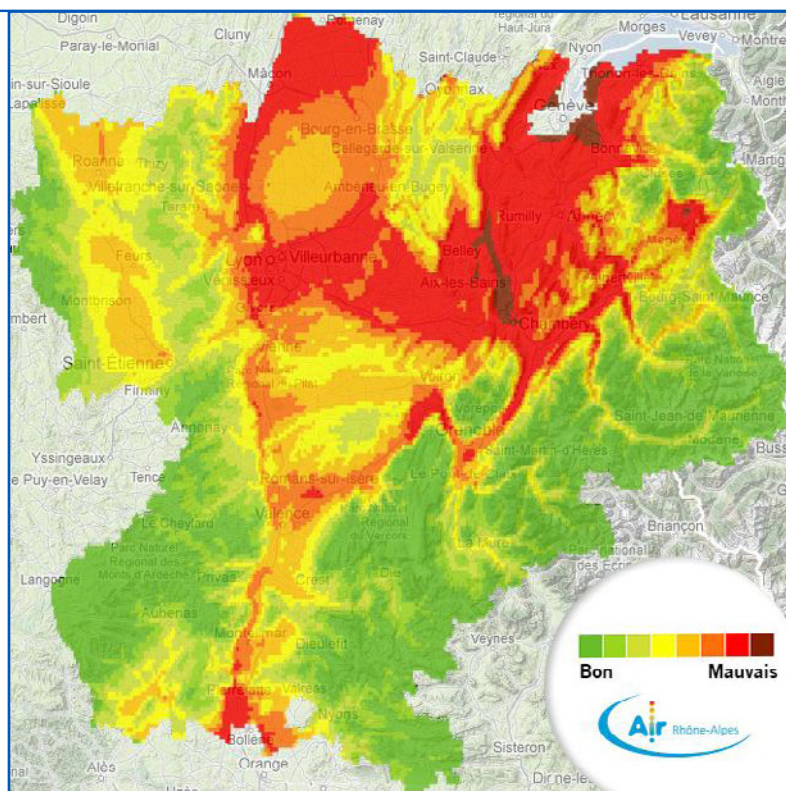


Figure 5.
 La territorialisation des alertes en Rhône-Alpes : les niveaux de pollution enregistrés le 5 mars 2014 et les différentes zones d'alerte (source : Air Rhône-Alpes).
 The territorialisation of the alerts in Rhône-Alpes : air pollution levels observed on March 5th 2014 and different alerts zones.



l'exposition des personnes sensibles. L'alerte est fondée sur le dépassement d'une norme observée sur un ou plusieurs points de mesure ou sur une zone issue de travaux de modélisation. Cet ajustement à une norme souffre bien sûr des hypothèses et des incertitudes liées à ce type de choix qui ne tient pas compte de la sensibilité et du genre de vie des individus (Scarwell, 1999).

L'exposition des individus n'est pas la même sur l'ensemble des territoires, comme le montre la carte de la qualité de l'air réalisée par Air Rhône-Alpes le 5 mars 2014. La pollution s'accumule dans les fonds de vallée, alors que les plateaux et reliefs voisins baignent dans de l'air plus pur. Les alertes se sont territorialisées à travers la création de 17 zones d'alerte identifiées dans la région Rhône-Alpes (figure 5). Les cartes montrant les variations spatiales de la pollution, comme celle du 5 mars 2014, posent la question de la nécessité d'imposer des contraintes aux zones montagneuses, alors que la pollution se concentre dans les vallées.

Indépendamment de ces considérations topographiques, la localisation des habitations à proximité de sources de pollution est une source de risque, comme l'ont montré plusieurs études (Jacquemin, 2009). C'est pourquoi, l'intégration, dans la mise en œuvre de la procédure d'alerte, de valeurs issues d'analyseurs installés dans un site dit de « proximité » est à la fois réaliste et en même temps trop spécifique.

Ces différences locales dans les niveaux d'exposition doivent être nuancées par les caractéristiques de l'air à l'intérieur des maisons puisque les individus passent environ 80 % de leur temps dans un lieu abrité.

Une autre différence, intégrée dans les propositions de recommandations, concerne les personnes sensibles ou vulnérables pour lesquelles le risque d'exposition est plus grand. Il s'agit de personnes déjà fragilisées (jeunes, personnes âgées, malades) ou de personnes dont l'état peut empirer sous l'effet de la pollution. Ce sont ces personnes auxquelles les messages sanitaires s'adressent en priorité, mais le risque qu'elles encourent en raison de la pollution ne se limite malheureusement pas aux quelques jours d'alertes.

Les seuils adoptés pour les alertes peuvent-ils être utilisés pour définir un risque sanitaire ? Le dispositif d'alerte s'appuie sur des normes et des

seuils à un moment où l'épidémiologie, selon W. Dab (1999), ne permet pas, avec les méthodologies disponibles à l'époque, « d'apprécier l'impact sanitaire des pics de pollution... Les pics ne sont pas les seuls moments porteurs de risque. La cinquantaine d'études de séries chronologiques disponibles au niveau international le montre... En termes de risque attribuable, la contribution des 5 % de jours où les valeurs relevées sont un peu plus élevées est de toute façon marginale par rapport au risque quotidien ».

Les résultats de l'étude ERPURS montrent combien la notion de seuil n'est pas opératoire pour définir un risque, puisque le seuil de sensibilité de chaque individu est extrêmement variable. La variabilité interindividuelle et intra-individuelle ne permet donc pas d'identifier, au niveau populationnel, de façon claire, des seuils dans la relation dose-effet. L'étude ERPURS a pourtant été suscitée pour une part par les inquiétudes des élus parisiens sur l'influence des fortes pollutions mesurées en janvier 1989, mais les épidémiologistes, dès 1998, à travers plusieurs documents (Extrapol, Invs, 1998) expriment leur doute quant à la quantification d'un éventuel effet sanitaire des pics de pollution. Cette attitude dubitative, déjà prononcée par l'OMS en 1990, est, en 2012, celle adoptée par le HCSP¹ (Haut Conseil de la Santé Publique) qui, pourtant, propose des messages sanitaires à diffuser lors de ces mêmes pics de pollution (avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) du 18 avril 2000, et avis du HCSP en 2013). Mais peut-être la méthode de l'épidémiologie temporelle utilisée pour avancer ces réticences n'est-elle pas le bon outil pour mettre en évidence des effets à bas bruit handicapant la vie quotidienne (Host, 2015) ?

La nature des messages : ces procédures ont aussi pour mission essentielle de recommander aux personnes sensibles d'éviter toute activité physique intense à l'extérieur, et de limiter les activités sportives dans les établissements scolaires. Les messages sanitaires délivrés sont-ils suffisants pour susciter des stratégies d'évitement ? Atteignent-ils les personnes les plus vulnérables ? Ces questions, même après une expérience de plus de 17 ans, sont encore d'actualité ; des réponses ont été précisées en novembre 2013 par le HCSP, mais sont-elles plus compréhensibles et plus faciles à diffuser par les AASQA ? Est-il pertinent de graduer les recommandations en fonction des seuils et des différents polluants observés ? La reconnaissance

de l'appartenance aux personnes sensibles ou vulnérables est-elle aisée ? Le long préambule précédant les messages conseillés dans l'avis du HCSP montre combien la communication sur ces questions est délicate pour éviter de sombrer dans le catastrophisme et de promouvoir un excès de précautions (B. Nader, S. Host, 2015).

Les AASQA, avec leur site Internet très développé, sont en première ligne, par délégation du préfet, pour diffuser les informations sur les épisodes. Non seulement ce sont elles qui doivent alerter le préfet, mais elles doivent aussi assurer la diffusion des messages. Par souci de cohérence, les AASQA ont dû revoir l'indice Atmo de manière à faire coïncider l'indice avec la graduation des procédures.

Même si le bénéfice sanitaire des messages est difficile à évaluer, la médiatisation qui accompagne l'alerte présente une fonction pédagogique évidente et intéressante pour rappeler régulièrement les méfaits de la pollution de l'air. Le plus souvent, la préfecture profite de l'occasion qui est offerte par les mesures d'urgence pour donner des conseils ayant une portée générale et pour indiquer des comportements plus vertueux : encouragement à l'éco-conduite, mise en garde contre le chauffage au bois...

La médiatisation et la pédagogie sont devenues des fonctions essentielles de ce dispositif

C'est pourquoi la circulaire d'août 1998, recommande aux préfets : « Vous attacherez aussi une importance particulière au dispositif d'information. Il est l'élément déterminant de l'efficacité des mesures proposées, notamment en termes de réduction du volume de la circulation routière. En outre, c'est sur la durée que pourra être obtenue une évolution significative des comportements et la dimension pédagogique est en conséquence un élément important des actions qui doivent être menées ». En juin 1999, dans le cadre du programme de recherche du CNRS Gestion des risques collectifs et situations de crise, des chercheurs se sont penchés sur la question des alertes à travers l'interrogation suivante : « L'alerte dans le domaine de la qualité de l'air correspond-elle à un risque sanitaire ou médiatique ? » (figure 4). Effectivement, la question de la valeur pédagogique de ces dispositifs a été soulignée à un moment où les connaissances

scientifiques sur les polluants et leurs impacts relevaient encore du domaine de la recherche et n'avaient guère percolé en direction du grand public. Philippe Ritter, directeur des services de l'écologie urbaine à la ville de Lyon, déclarait à propos des alertes : « L'utilisation de l'opinion publique comme instrument de lobbying permet de faire changer des comportements, des législations, des modes de fonctionnement du pays dans des domaines fondamentaux comme celui de l'aménagement du territoire... Les alertes servent à sensibiliser les Lyonnais à l'acuité du problème de la pollution atmosphérique et à les préparer à accepter les aménagements nécessaires ». Il est vrai que la pollution urbaine, contre laquelle il convient de lutter, doit mobiliser des connaissances complexes, tant dans la métrologie des polluants que dans la mise en évidence de leurs impacts ; elle doit aussi mobiliser des actions d'une grande ampleur. Cependant, on peut s'interroger sur l'opportunité qu'offrent les alertes pour développer des connaissances qui peuvent conduire à formuler des actions. Il semblerait que la publication des résultats de recherches montrant les effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé ait rencontré un plus large écho.

Effectivement, comme on l'a vu à travers l'analyse des articles du Progrès de Lyon², le préfet, au moment des alertes, fait passer un communiqué à la presse ; il en profite pour faire passer des messages quant à l'origine des polluants et encourage les « bonnes pratiques » ; mais la diffusion de l'information au sujet de la qualité de l'air utilise de nombreux autres canaux qui, au fil des ans, ont permis à la population de mieux intégrer la connaissance du risque sanitaire. La communication entreprise doit-elle être scientifiquement objective et alors peu mobilisatrice ou bien doit-elle insister sur un registre catastrophiste et susciter un découragement devant l'alerte alors considérée comme un aléa devant lequel la passivité est de mise ? Le risque évoqué peut-il être cristallisé autour d'un épisode limité, alors que la question de la pollution atmosphérique met en cause des registres profonds de la société ? Par exemple, la maîtrise des particules suppose d'agir sur trois registres qui ont des ancrages culturels anciens et forts : la voiture, le feu à l'âtre et l'agriculture.

Cependant, au fil des ans, il semblerait que la médiatisation des alertes ait suscité un besoin d'actions. L'opinion, au lieu de se contenter d'une information sur la pollution, déjà acquise par

d'autres canaux, est plus exigeante et réclame des actions. Les mesures d'urgence, gratuité des transports en commun, circulation alternée, deviennent alors des réponses à cette pression de l'opinion. Celle-ci s'exerce d'autant plus fortement que les méfaits des particules se sont progressivement imposés dans les esprits.

Les alertes particules

Elles ne sont pas imposées par la loi sur l'air, et pourtant, celles-ci, en suspension dans l'air ambiant, sont mesurées depuis très longtemps sur le territoire français par la méthode des fumées noires qui montraient un parallélisme fort avec le SO₂ mesuré par l'intermédiaire de l'acidité forte. À la veille de la loi sur l'air, les effets sanitaires des particules sont encore peu documentés, ce qui explique que les alertes imposées par des niveaux de particules élevés n'aient été officielles qu'à partir de 2007, même si des normes existaient pour les particules inférieures à 10 microns. Par ailleurs, il était difficile de décréter une alerte alors que l'origine des particules incriminées ne pouvait pas être attribuée à une source précise. Les études de modélisation inverse ont permis de connaître la signature et donc l'origine des polluants mesurés et donc d'intervenir de manière pertinente sur la source responsable.

En Alsace, depuis 1997, une procédure d'alerte existe pour les « poussières »

Les seuils adoptés étaient ceux préconisés par le Conseil supérieur d'hygiène publique, à savoir 125 microgrammes pour le seuil d'alerte et 80 microgrammes pour le seuil d'information (moyenne glissante sur 24 heures). Lorsqu'un capteur de fond a dépassé la norme et qu'un autre est en passe de la dépasser, la procédure est lancée et, comme le soulignait A. Target, ex-directeur de l'ASPA : « Les procédures d'information sont un bon moyen de travailler sur des problèmes de fond ».

À partir de 2007, les progrès des connaissances développées sur les effets sanitaires des particules ne pouvaient laisser ce polluant en dehors du dispositif d'alerte. D'ailleurs, les alertes liées aux particules sont les plus fréquentes et, de par leurs caractéristiques, elles redonnent du sens aux alertes et réhabilitent leurs bénéfiques. Quand il s'agit d'épisodes liés à de fortes concentrations de particules primaires (*black*

carbon), des actions sont possibles pour limiter les émissions comme le font les mesures prises par les préfetures pour limiter la vitesse sur les artères principales, déconseiller le feu à l'âtre ou contraindre la circulation ; la circulation alternée, mise en place à Paris le 14 mars 2014, étudiée par Airparif, s'est traduite par une baisse du trafic et donc une diminution non seulement des émissions mais aussi des niveaux de polluants (Kaufman, 2015).

La caractérisation des particules crédibilise l'alerte

Par rapport aux mesures européennes standardisées, les analyseurs français sous-estimaient la fraction semi-volatile des particules concernant, en particulier, le nitrate d'ammonium dont la quantité est très variable en fonction des conditions climatiques et de l'origine des masses d'air (Airparif, 2008). Depuis 2007, le dispositif adopté, la technique de mesure TEOM-FDMS permet de prendre en compte ces particules semi-volatiles d'une taille micronique à submicronique, avec une rupture domageable dans les séries chronologiques enregistrées (figure 3). Les particules secondaires, et en particulier le nitrate d'ammonium, sont donc intégrées au niveau de particules prises en compte pour le déclenchement de l'alerte ; mais les effets sanitaires de ces particules sont moins préoccupants que ceux provoqués par le *black carbon*. En termes d'impact sur la santé et de gestion des risques, il est donc essentiel de bien distinguer les différentes origines des particules pour agir sur les sources responsables. Cependant, l'identification des sources met en évidence des responsabilités, parfois collectivement difficiles à assumer lorsque, par exemple, le poids du chauffage au bois est mis en évidence.

Ce n'est que plus récemment qu'un dispositif permettant de collecter et d'analyser les échantillons prélevés par les AASQA, lors des pics, est mis en œuvre pour préciser la nature des particules et permettre ainsi de mettre en place des mesures de réduction pertinentes. Certaines AASQA se sont dotées d'un aethalomètre permettant de mesurer en continu le carbone suie, et donc de différencier les poussières ayant pour origine la combustion de biomasse (dont la combustion du bois) de celles émises par la combustion de combustibles pétroliers issus en partie du trafic routier. D'autres AASQA, comme Air Rhône-Alpes, ont pu acquérir un ACSM (*Aerosol Chemical Speciation Monitor*), spectromètre de

masse destiné à la mesure en routine de la composition chimique des particules fines (sulfate, nitrate, ammonium, potassium, matière organique, chlore). Ces techniques, particulièrement adaptées pour évaluer les particules submicroniques qui sont d'origine anthropique, permettent de ne pas utiliser de filtres et de caractériser, en temps réel, les principales espèces chimiques constituant l'aérosol anthropique, primaire et/ou secondaire (carbone suie, matière organique, sulfate, nitrate, ammonium...). Ces dispositifs permettent d'identifier, pour chaque épisode, la contribution du chauffage au bois et de la circulation automobile (particules diesel), comme l'a fait Airparif en mars 2014 (Kaufman, 2015).

Les progrès de la métrologie et une connaissance plus approfondie des méfaits des particules observés sur la santé ont conduit les pouvoirs publics à sévérer les seuils pour encourager une maîtrise des émissions. Des travaux réalisés ont conduit, depuis le 1^{er} janvier 2007, à des modifications de la mesure et des modalités d'ajustement des données de particules PM₁₀, ce qui, conjugué à des conditions météorologiques défavorables en ce début d'année 2007, s'est traduit par une augmentation sensible, dans certaines régions, des concentrations journalières par rapport à celles constatées auparavant. De plus, les seuils d'alerte pour les particules ont été abaissés selon un décret d'octobre 2010.

La figure 3 montre le caractère aléatoire de la variation annuelle du nombre d'alertes qui restent très dépendantes des situations météorologiques et de l'évolution des normes. Avec sa période caniculaire, l'année 2003 détient les records pour les pointes de pollution à l'ozone. Depuis la mise en place du dispositif d'alerte pour les particules, mais surtout depuis l'abaissement des seuils d'alerte en 2011, ce sont les alertes liées aux particules qui focalisent l'attention. Alors que les alertes pouvaient apparaître comme un dispositif administratif, certes médiatisé mais peu approprié par la population qui pourtant montre toujours une forte préoccupation vis-à-vis du risque sanitaire lié à la pollution de l'air (cf. ci-dessous), il semblerait que cette perception soit en train d'évoluer si l'on examine les réactions observées au cours de l'épisode de mars 2014.

N'observe-t-on pas un regain d'intérêt manifeste pour la qualité de l'air à travers les alertes ?

La forte mobilisation de l'opinion publique lors de la dernière alerte de mars 2014 contribue à accréditer cette thèse, mais l'explosion médiatique observée en France à cette date, n'était-elle pas biaisée par le contexte des élections municipales proches ? Cependant, il est possible de discerner des évolutions majeures du contexte dans lequel se déroulent les alertes.

- Peut-être n'est-ce pas par hasard que la pollution s'est imposée au sein des promesses électorales³ à travers l'épisode de mars dernier ? À l'exception de quelques élus ayant une sensibilité écologique, la pollution atmosphérique n'avait jamais tenu une place importante dans l'agenda des élus locaux. Bien souvent, les améliorations considérables effectuées, en particulier, dans le système des transports, avaient pour objectif de répondre à l'attente des populations vis-à-vis de la mobilité, sans que le lien avec la qualité de l'air ne soit mis en évidence (cf. ci-dessus). Peut-être les temps sont-ils en train de changer et l'urbanisme ne peut-il plus se penser sans ses incidences sur la qualité de l'air ? Alors que les alertes dans le domaine de la qualité de l'air étaient l'objet d'un dialogue étroit entre les préfetures et les AASQA, dialogue souvent relayé par les médias, les élus locaux étaient, en général, peu sensibles à ces épisodes qu'ils n'utilisaient pas comme des tribunes pour faire la promotion de leurs actions. Peut-être cette attitude est-elle en train d'évoluer grâce à une convergence des sensibilités vis-à-vis de la pollution de l'air entre les agents des services déconcentrés de l'État, les ingénieurs des AASQA et les élus locaux. Sans doute une meilleure approche territoriale de la mesure de la qualité de l'air par les AASQA n'est-elle pas étrangère à ce phénomène ? Les élus trouvent ainsi à leur disposition et à leur échelle des outils leur permettant de mieux intégrer les effets de la qualité de l'air dans leurs projets. Le développement de la modélisation et de la cartographie a permis une vision beaucoup plus territorialisée de la qualité de l'air. La vision territoriale introduite par la LAURE en 1996 était venue trop tôt, à un moment où les outils cartographiques pour mettre en œuvre cette vision relevaient encore de la recherche, et donc ils étaient réservés à certaines AASQA travaillant étroitement avec les

laboratoires de recherche. La gestion temporelle de la pollution en fonction des normes et des dépassements de seuils a laissé la place à une gestion plus spatialisée, plus proche des émissions locales et de l'exposition des populations. La vision temporelle et médiatique apportée par les alertes trouve à l'heure actuelle un meilleur ancrage territorial et peut ainsi s'enraciner dans des orientations plus pérennes.

- Un autre changement tient à une meilleure connaissance du phénomène, de manière à pouvoir donner des réponses mieux ciblées.

Les alertes « particules » de plus en plus fréquentes, ont tendance à prendre le devant de la scène ; elles sont plus dépendantes des émissions locales que les alertes liées à l'ozone et interrogent ainsi une gestion de proximité qui peut s'appuyer sur des effets sanitaires de mieux en mieux (re)connus.

De grandes études européennes à la suite d'ERPURS comme APHEA, APHEIS et plus récemment APHEKOM⁴ ont permis de mieux documenter, à une échelle fine, les méfaits de la pollution urbaine en indiquant la relation entre le surcroît de mortalité prématurée et les niveaux de pollution. Les liens entre la pollution et les maladies sont eux aussi de mieux en mieux documentés ; des études ont ainsi mis en évidence le lien entre la pollution automobile et l'incidence de l'asthme chez l'enfant (Künzli, 2009). En mettant en avant l'existence d'un risque spatialisé le long des infrastructures routières, les résultats énoncés sont appropriables par des habitants qui se sentent directement concernés. Des études montrent combien le spectre de ces méfaits de la pollution ne cesse de s'élargir, des chercheurs trouvent des liens entre la pollution, l'autisme, la maladie d'Alzheimer et des troubles du comportement chez l'enfant (Medina⁵, 2014). Une relation est établie entre le faible poids des bébés à la naissance et l'atmosphère polluée respirée par la mère. Le 17 octobre 2013, le CIRC, l'agence spécialisée sur le cancer de l'OMS, a annoncé qu'il classait la pollution de l'air extérieur comme cancérigène pour l'homme, après l'avoir fait pour le Diesel quelques mois auparavant. Le CIRC estime que « la pollution atmosphérique est l'une des premières causes environnementales de décès par cancer ». Cette déclaration, très médiatisée, est considérée par Chateaufort (2012) comme un *tipping point*, un événement qui, contrairement aux nombreuses alertes déclarées depuis plus de 15 ans, a fait « bouger

les lignes » en accélérant la prise de conscience du risque lié aux particules dans l'air.

Cette accumulation des connaissances internationalement reconnues sur les effets de la pollution urbaine a changé radicalement le contexte dans lequel les alertes peuvent être décrétées. À un relatif scepticisme de certains médecins au lendemain de la loi sur l'air de 1996 (Roussel, 2015) succède une crainte de plus en plus partagée vis-à-vis de la pollution urbaine, même si de nombreuses inconnues persistent. Si l'influence du *black carbon* est de mieux en mieux connue, la découverte des effets sanitaires du carbone organique reste encore à développer, sans oublier les recherches encore balbutiantes sur les PM ultrafines issues des combustions et les nanoparticules. Néanmoins, il paraît évident que le socle de connaissance est suffisamment solide pour que des actions en faveur de la réduction des pollutions urbaines soient entreprises. Néanmoins, contrairement à une vision trop réductrice de la prévention de la pollution urbaine, il convient d'être conscient de la complexité du problème, de l'insuffisance des actions locales, du nombre des acteurs à mobiliser, de l'importance des dommages collatéraux à maîtriser, en termes de justice environnementale, par exemple.

Ces avancées, ainsi que les progrès réalisés pour caractériser la nature chimique des particules mesurées, permettent aux arrêtés préfectoraux d'être plus précis et donc plus efficaces. Par exemple, le nouvel arrêté préfectoral rhônalpin du 1^{er} décembre 2014 sépare nettement les épisodes d'ozone des épisodes concernés par les PM et les NOx. Il distingue trois types d'épisode qui peuvent faire l'objet de mesures d'urgence différenciées :

« - un épisode de type 'combustion' (polluants concernés PM et NOx) : épisode de pollution qui se caractérise par une concentration en PM₁₀ majoritairement d'origine carbonée (issues de combustions de chauffage ou de moteurs de véhicules). Ce type d'épisode est souvent associé à un taux d'oxydes d'azote également élevé, notamment en proximité des réseaux de transport.

- un épisode de type 'mixte' (polluants concernés PM et NOx) : épisode de pollution qui, en plus d'être lié aux particules d'origine carbonée (combustions), se caractérise par une part importante de particules formées à partir d'ammoniac et d'oxydes d'azote (agriculture).

- un épisode de type 'estival' (polluant concerné O_3) : épisode de pollution photo-oxydante d'origine secondaire, formé notamment à partir de composés organiques volatils (COV) et d'oxydes d'azote ».

Le premier type correspond essentiellement à des émissions locales de particules primaires, tandis que le second type est largement caractérisé par la présence de particules secondaires telles que le nitrate d'ammonium, dont on connaît moins bien les effets sanitaires.

Ainsi, la réduction de la combustion du bois peut être efficace lors d'un épisode de type 1, tandis que la limitation des épandages agricoles peut permettre d'abaisser les niveaux de particules lors d'un épisode de type 2.

Il est également possible de calculer la part des particules importées, comme l'ASPA l'avait fait pour l'Alsace en mars 2014 (Roussel, 2014⁶ ; Kleinpeter⁷, 2015) de manière à ne pas imposer des contraintes locales dont le bénéfice ne sera pas visible à court terme.

Le fait de pouvoir associer les pointes de pollution, très médiatisées, à des sources qui touchent de près la population, comme le feu de bois ou les voitures Diesel, a aussi contribué à alerter la population, plus sans doute que le processus des alertes en lui-même.

En effet, la sensibilisation sociale à la pollution évolue, de manière générale. La pollution particulaire est plus facile à appréhender que la pollution par l'ozone : elle correspond à des journées froides, souvent brumeuses, avec un plafond nuageux bas et un lien plus évident entre les émissions et la pollution ambiante. La perception de cette pollution, associée à la fumée et aux nuisances hivernales ancestrales, a rendu crédibles les résultats des études sur la nocivité des particules qui sont de plus en plus appropriés et admis par les habitants des grandes villes. Ceux-ci sont, dans le monde entier, de plus en plus alertés sur les méfaits des particules fines et ultra-fines urbaines et sur le rôle qu'elles peuvent jouer sur la genèse de pathologies cardio-pulmonaires et de cancers pouvant affecter différents organes. L'analogie avec les grandes villes les plus polluées du monde participe de l'adhésion de plus en plus grande de la population française à la réalité de la pollution et de ses méfaits. Il est vrai que le lien entre l'occurrence de pathologies légères, peut-être liées aux épisodes de pollution,

est fait facilement avec les photos publiées par les médias qui ne sont pas sans rappeler, toute proportion gardée, l'ampleur des difficultés rencontrées par les Chinois dans leurs grandes villes (cf. photos de Paris dans ce numéro). La visualisation du trouble atmosphérique associée, souvent à tort, à des symptômes plus ou moins grippeux, représente sans doute un point d'inflexion nodal dans la prise de conscience du risque lié à la pollution de l'air. La vie de tous les jours, au cours de l'hiver, en ville, est compliquée et rendue désagréable par l'occurrence de symptômes, souvent sans gravité, mais handicapant tels que toux, bronchites, crises d'asthme, bronchiolites qui sont certes multifactoriels et liés tout autant aux pollens (Monnier, 2015) qu'à la pollution ou à des virus. L'attribution de ces symptômes – qui peuvent survenir à tout moment de l'hiver – à un pic de pollution est contestable mais, par précaution, pour éviter leur occurrence et les perturbations de la vie quotidienne qu'ils engendrent, il convient de prendre des mesures préventives efficaces en limitant fortement les émissions chroniques de polluants.

Le sondage de l'ADEME⁸, effectué en Ile-de-France en avril 2014, montre que 44 % des enquêtés ont des souffrances qu'ils attribuent à la pollution de l'air. Un autre sondage, effectué par Airparif en octobre 2014, indique que 35 % des Franciliens sont eux-mêmes incommodés directement par la pollution de l'air ou bien qu'ils voient un de leur proche en être gêné (figure 6).

D'autres enquêtes montrent que ce sont ces personnes faisant le lien entre la pollution et un certain nombre de pathologies qui sont les plus motivées pour participer à des actions entreprises pour réduire les pollutions (Rozec, 2005).

Or, ce lien entre la qualité de l'air et la gêne ou des pathologies légères, est peu mis en évidence par les grandes études sanitaires qui ont fait avancer la connaissance dans ce domaine, car elles reposent davantage sur des critères de mortalité ou des jours d'hospitalisation en s'appuyant sur des approches épidémiologiques collectives et les mesures effectuées (cf. ci-dessus). Peut-être les alertes donnent-elles l'occasion de renouer avec la prise en compte de la gêne perçue à travers une surveillance plus « syndromique » ? (Host⁹, 2015).

Effectivement, la surveillance mise en place par l'InVS montre que la recrudescence du nombre de personnes hospitalisées au cours de

QUESTION : A titre personnel, vous ou un de vos proches (parents/enfants) souffre-t-il de troubles liés à la pollution de l'air ?

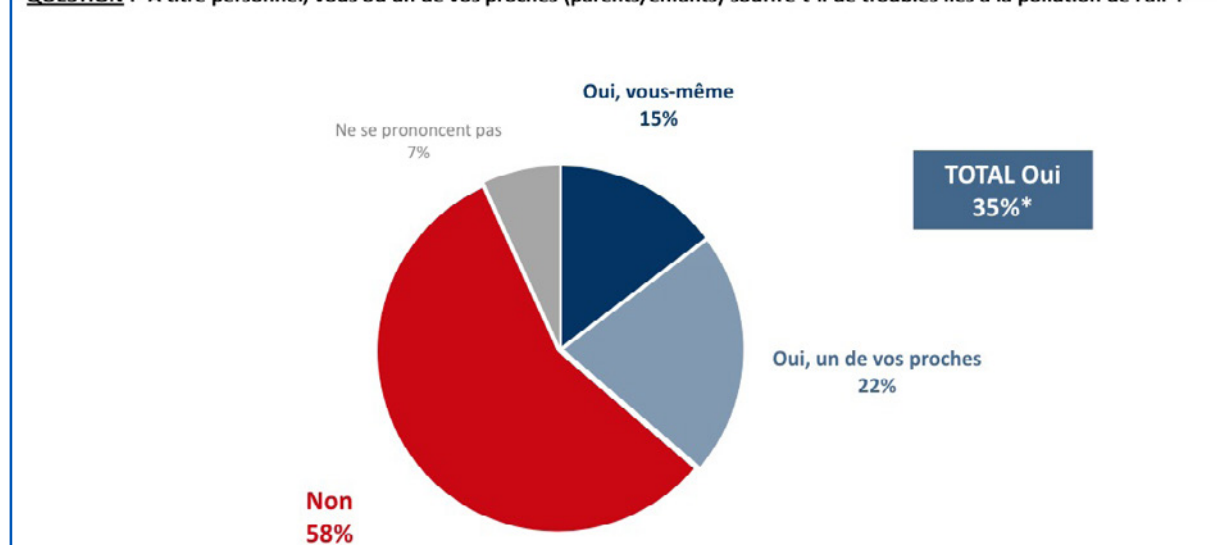


Figure 6.

Résultats du sondage commandité par AIRPARIF en octobre 2014.

Results of the survey realized by AIRPARIF in October, 2014 : « Are you or one of yours suffering of disease connected to air pollution ? »

ces épisodes est faible (figure 7), mais est-ce qu'une surveillance sanitaire significative peut se mettre en place en dehors des indications données par les hospitalisations (appels des médecins, SOS Médecins, consommation de médicaments) ?

Les épidémiologistes continuent à considérer que le signal sanitaire des alertes est négligeable : 7 % des hospitalisations pour cause cardio-vasculaire, mais utilise-t-on les bons outils ? Il est vrai que la prise en compte d'autres critères sanitaires repose la question de la définition des alertes, puisque la responsabilité de la pollution atmosphérique dans les maladies de l'hiver est « chronique ». D'où l'importance de l'effort continu à mettre en place pour maîtriser les particules pour le plus grand bénéfice non seulement des personnes sensibles et vulnérables mais de l'ensemble de la population. Cependant, les personnes fragiles peuvent faire l'objet de précautions particulières en espérant qu'à terme la diminution des niveaux sera telle que le risque sera maîtrisé ou abaissé.

Quel que soit le fondement scientifique de cette relation entre la pollution atmosphérique et ces symptômes hivernaux, la prise en considération de l'importance de la pollution de l'air dans les modes de vie et dans les grandes options politiques passe sans doute par des modes d'appréhension qui dépassent la seule information

procédurale sur les alertes. Or ce sont bien ces considérations sanitaires qui passent à la fois par des sensations corporelles et par l'intelligence qui permettront de s'interroger collectivement sur le bien-fondé de certaines orientations économiques prises au détriment de la santé et de la qualité de vie des habitants. Les alertes avec leur caractère récurrent contribuent-elles à cette prise de conscience collective et fondamentale ? Les nouvelles dispositions prises en 2014 sont le reflet d'une demande plus forte d'actions de la part des populations. Le temps de la connaissance, pourtant inachevé, est insuffisant. Or, lorsque les pointes de pollution projettent les polluants sous les feux de la rampe, la forte médiatisation se traduit par une légitime exigence d'actions. Les mesures d'urgence réclamées doivent s'intégrer dans une démarche continue et cohérente. Relais, cohérence, continuité.... tels sont les défis que les alertes ont à relever pour s'intégrer dans une véritable politique de la qualité de l'air.

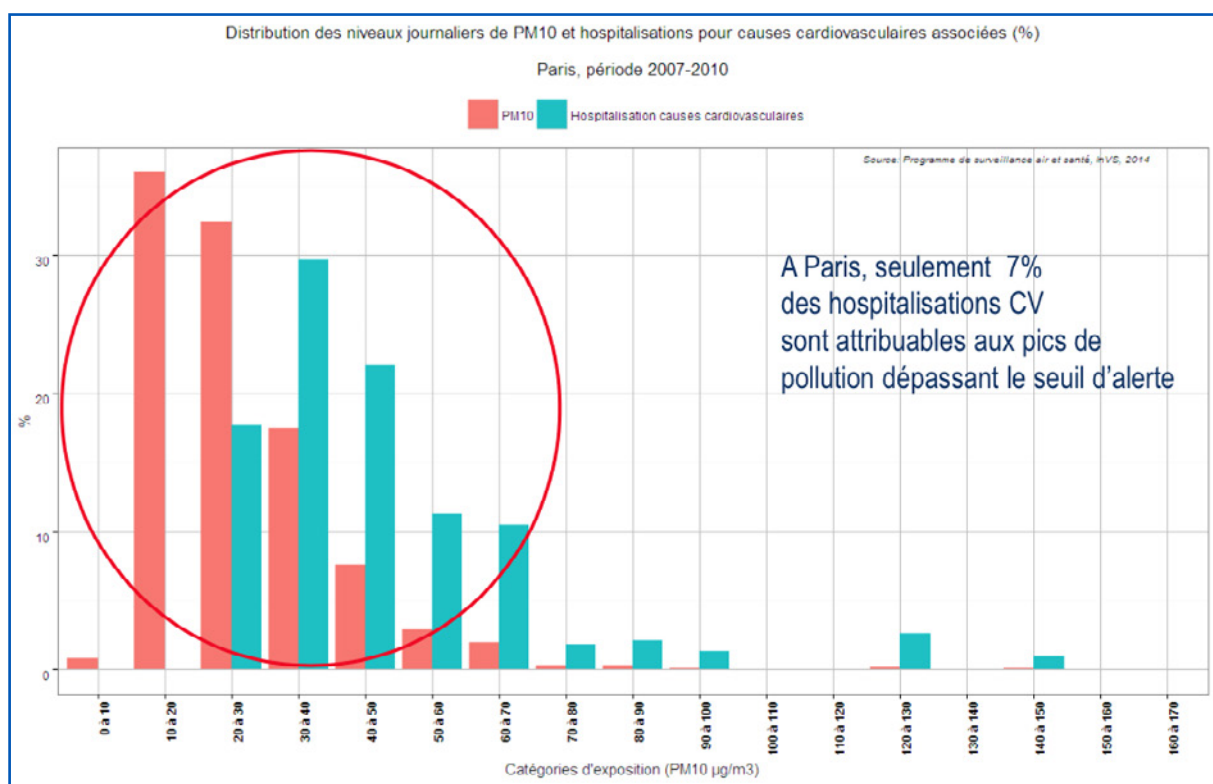


Figure 7.

L'InVS recense peu d'hospitalisations au cours des épisodes de pollution élevée.

Invs counts not much hospitalization during the episodes of high pollution.

Conclusion

Avec un recul de 17 ans sur la mise en place des procédures issues de la loi sur l'air, quelles leçons peut-on tirer ? Comme l'avaient annoncé les ministres signataires de la circulaire de 1998, cette procédure, expérimentale au début, n'a cessé de se préciser au fur et à mesure des développements du mesurage des polluants. Les retours d'expérience après des épisodes sévères ont donné lieu à des décrets précisant les dispositions à prendre comme après les pointes hivernales de 1997 ou de 2007 ou l'épisode caniculaire de 2003 ou encore l'épisode récent de mars 2014. En dépit des efforts de médiatisation accomplis, l'alerte, peu valorisée par le renouveau de l'épidémiologie, est restée principalement confinée dans une sphère technique limitée à un dialogue entre les préfetures et les réseaux de mesures. F. Chateaufort s'interroge sur la faible efficacité des alertes : « Alors que de multiples acteurs ont lancé l'alerte depuis des décennies, la pollution aux particules a eu du mal à se frayer un chemin dans l'espace de mobilisation politique. C'est d'autant plus intrigant que les questions de pollution atmosphérique sont parmi les plus anciennes de l'histoire environnemen-

tales. Et ce qui renforce l'incompréhension face à ce retard du point de vue de la régulation des sources de pollution et d'exposition, c'est que la plupart des alertes ont été portées par des organismes et des instances officielles. C'est bien là le signe d'une divergence profonde des séries d'actions et des dispositifs mis en place, alors même que l'expérience sensible de la pollution de l'air dans les zones urbaines devrait constituer l'une des expériences les plus partagées. Il y aurait donc eu pendant de nombreuses années une sorte de déconnexion entre le traitement public de l'information et les expériences locales ». Les municipalités qui, seules, étaient en capacité d'investir dans des aménagements de fond permettant d'améliorer les transports collectifs et la circulation routière, se sont peu investies dans ces mesures d'urgence puisqu'elles travaillaient à une échelle temporelle plus longue. Après 17 ans, on peut s'interroger sur la cohérence et la synergie qui ont pu exister entre les mesures d'urgence et les actions de fond. Celles-ci relèvent-elles du même registre ? Les alertes liées à l'ozone ont été spécialement déconcertantes, contre-intuitives, elles ont eu du mal à s'imposer parmi la population qui se sent plus concernée par les alertes liées aux particules. Celles-ci cor-

respondent à une expérience sensible et elles mettent en cause des comportements culturellement très ancrés, que ce soit à travers la voiture ou le chauffage au bois ou même encore l'agriculture dont la représentation est restée très forte en France. La médiatisation qui accompagne les alertes joue sur des réflexes de peur mais ceux-ci sont-ils suffisants pour replacer la santé au cœur de l'action publique ? La difficulté rencontrée pour repenser le développement économique dans une logique de santé et de qualité de vie n'est-elle pas la conséquence logique de la césure observée entre le mesurage, la norme, la technicisation de l'environnement, et une approche plus expérimentale, plus pragmatique, plus affective et qualitative qui mobilise profondément les modes de vie et les grands principes fondamentaux de la vie collective ? Les alertes relèvent de la persistance, en France, d'une culture « hygiéniste » fondée sur le respect des normes qui sont censées garantir le bien commun et l'intérêt général sans impliquer les intéressés eux-mêmes. Cette culture, héritée du XIX^e siècle, très normative, est confrontée aujourd'hui à un contexte qui a beaucoup évolué : la norme, elle-même, est remise en cause par les avancées de la connaissance, les seuils sont interrogés, les indicateurs utilisés sont réducteurs. En effet, la pollution s'est beaucoup complexifiée, et les stratégies de prévention sont multiformes et agissent sur plusieurs échelles spatio-temporelles imbriquées. L'alerte, fondée sur une causalité linéaire entre émissions et immissions n'est pas en adéquation avec cette

complexité, alors que la sensibilisation aux questions de qualité de l'air a beaucoup progressé et qu'à une vision négative de la pollution atmosphérique succède une construction plus individuelle du bien-être. Or, toute l'histoire de l'alerte qui se voulait être un outil de sensibilisation, montre plutôt un déficit d'appropriation du bénéfice de ces procédures par les habitants. Même le sondage de l'ADEME d'avril 2014 montre un relatif scepticisme des Franciliens quant à l'efficacité de la circulation alternée, alors qu'ils sont en accord avec la mise en place de dispositifs contraignants et cohérents. La vision normative pensant que la transmission aux populations d'indications adéquates permettra de régler le problème en entraînant une réponse pouvant faire face aux difficultés, est en train d'évoluer sous l'influence des citoyens qui développent une plus grande sensibilité sur ces questions, et sous l'influence des élus locaux qui s'emparent de ces préoccupations pour construire la ville de demain saine et sobre. En effet, le prisme de l'alerte utilisé pour répondre aux épisodes de pollution élevée est insuffisant pour rendre compte de la complexité des réponses élaborées pour modifier le paysage de l'air urbain qui a complètement changé en 17 ans : effacement de l'industrie, développement des véhicules électriques ou hybrides, densification des réseaux de transport en commun ou de chaleur... autant de modifications profondes qui se sont élaborées sur le temps long de l'appropriation d'un problème par les acteurs de la ville.

Je remercie Bernard Festy et Lionel Charles pour leur contribution et leurs précieux conseils.

1. HCSP, (2012), *Pollution par les particules dans l'air ambiant, recommandations pour la santé*.
2. Roussel I. (2015). Les épisodes de pollution lyonnais à travers le regard du *Progrès de Lyon*, 1997-2013, *Pollution atmosphérique*, numéro spécial, p. 185.
3. En 2002, à Paris, B. de Lanoë avait également fait des promesses sur la qualité de l'air.
- 4 *Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe*.
5. http://meteoetclimat.fr/wp-content/uploads/JS2014_Sylvia-Medina.pdf
6. <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4365>
7. Kleinpeter J., Paul P. (2015). *Pollution atmosphérique*, numéro spécial.
8. Présenté en détail par I. Roussel dans ce même numéro.²

Références

- Air Pur. (1999). L'alerte dans le domaine de la qualité de l'air correspond-elle à un risque sanitaire, physique ou médiatique ?, APPA, n° 56.
- Airparif. (2008). Synthèse des connaissances sur les particules. [En ligne] : www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/biblio_particules_081022.pdf
- Atkinson RW *et al.* (2013). Long term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases, *Epidemiology*, n° 24(1), p. 44-53.
- Boutaric F. (2003). Environnement et santé publique : Production d'un enjeu politique, *Écologie et politique*, n° 27, printemps, publié dans une version légèrement remaniée dans *Pollution Atmosphérique*, n° 177, janvier-mars 2003.
- Boutaric F. (2014). *Pollution atmosphérique et action publique*, Éditions rue d'Ulm, 82 p.
- Charles L. (2003). Pollution atmosphérique en région Ile-de-France : une problématique en transition, *Pollution atmosphérique*, n° 177, p. 57-70.
- Charles L. (2009). Pollutions atmosphériques et santé environnementale. Quels enjeux ? Quels acteurs ? Quelles préventions ? [En ligne] : www.primequal.fr/files/doc/add67fdda51efa9f.pdf
- Charvolin F. (2003). *L'invention de l'environnement en France, Chroniques anthropologiques d'une institutionnalisation*, La découverte, 187 p.
- Chateauraynaud F, Debaz J. (2012). Des alertes à couper le souffle, point sociologique sur les particules fines et la pollution atmosphérique, 15 octobre. [En ligne] : <http://socioargu.hypotheses.org/4129>
- Dab W. (1999). Pics et bruit de fond, *Air Pur*, n° 56.
- Dab W, Roussel I. (2001). *L'air et la ville*, Hachette, 219 p.
- Extrapol. (1998). Les effets sanitaires des pics de pollution hivernaux, n° 12 janvier supplément de la revue *Pollution atmosphérique*, n° 156.
- Festy B. (2001). À propos de l'évaluation des expositions humaines d'origine atmosphérique : la nécessité d'une vision globale et multipartenariale, *Pollution atmosphérique*, n° 169, p. 9-12.
- Festy B, Le Moulec Y. (2012). Le carbone suie (ou BC) des particules atmosphériques peut-il constituer un indicateur sanitaire additionnel aux particules fines ?, *Pollution atmosphérique*, numéro spécial particules. [En ligne] : www.appa.asso.fr/_docs/1/fckeditor/file/Revue/PollutionAtmospherique/Hors-serie-particules-novembre-2012/p--%20Festy.pdf
- Frère S. (2005). Concertation et décision dans les dispositifs de planification de la Loi sur l'Air (1996). Études dans le Nord-Pas-de-Calais, Thèse de doctorat de science politique, Université de Lille 2, 372 p.
- Frère S. (2006). Concertation et décision dans les dispositifs de planification de la Loi sur l'Air (1996) Études dans le Nord-Pas-de-Calais, *Pollution Atmosphérique*, n° 188, p. 483-486.
- Frioux S. (2013). *Les batailles de l'hygiène*, PUF, 388 p.
- HCSP. (2013). Avis relatif aux messages sanitaires à diffuser lors d'épisodes de pollution de l'air ambiant par les particules, l'ozone, le dioxyde d'azote et/ou le dioxyde de soufre, novembre. [En ligne] : http://www.airparif.asso.fr/_pdf/avis-
- Host S. (2015). *Pollution Atmosphérique*, numéro spécial.
- IRSN. (2014). Baromètre, La perception des risques et de la sécurité par les Français. [En ligne] : www.irsn.fr/FR/IRSN/Publications/barometre/Documents/IRSN_Barometre_2014.pdf
- Kaufman A. (2015). *Pollution Atmosphérique*, numéro spécial.
- Knoepfel P, Larrue C, Varone F. (2001). *Analyse et pilotage des politiques publiques*, Genève, Helbing Lichtenhahn.
- Künkli N, Bridevaux PO. (2009). Traffic-related air pollution correlates with adult-onset asthma among never-smokers, *Thorax*, n° 64, p. 664-670.
- INVS (1998). Pics de pollution atmosphérique et santé publique, la place de l'épidémiologie, mars, 16 p.
- Jacquemin B, Sunyer J, Forsberg B, et al. (2009). Home outdoor NO2 and new onset of self-reported asthma in adults. *Epidemiology*, n° 20, p. 119-126.
- Lameloise P. (1994). Prise en compte des normes dans l'élaboration d'une stratégie de surveillance de la qualité de l'air, *Pollution atmosphérique*, n° 144, p. 83-85.

- Leroux T. (2011). *Le laboratoire des pollutions industrielles*. Paris, 1770-1830, Paris, Albin Michel, collection l'Évolution de l'Humanité.
- Michelot N. (2015). Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant, *Pollution Atmosphérique*, numéro spécial.
- Nader B. (2015). *Pollution Atmosphérique*, numéro spécial.
- OMS. (1990). Acute effects on health of smog episodes, *WHO Regional Publications*, n° 43, 74 p.
- Rodriguez D. (2012). Nouvelle réglementation pour les seuils de particules fines PM10, *Pollution atmosphérique*, n° 213-214, p. 11-14.
- Roqueplo P. (1988). *Pluies acides, menace pour l'Europe*, Paris, Économica.
- Roussel I. (1997). La loi sur l'Air et son application dans la région Nord-Pas-de-Calais, *Air pur*, n° 53, p. 21-35.
- Roussel I, Frère S. (2001). Retour d'expérience sur les PRQA, *Pollution Atmosphérique*, n° 171, p. 363-382.
- Roussel I. (2014). Épisode de pollution par les particules au mois de mars 2014. *Pollution atmosphérique*, n° 221. [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4365>
- Rozec V, Dubois N, Maramotti I, Skoda-Schmoll C (sous la direction de Roussel I. & Moch, A). (2005). Représentations et attitudes à l'égard de la qualité de l'air chez les volontaires « sentinelles ». Convention ANSES, février, 273 p.
- Scarwell H. (2015). Élaboration et signification des normes : une tendance à la simplification d'une réalité plus complexe ? *Pollution atmosphérique*, n° spécial sur les pointes.
- Vazeilles I. (2003). La pollution atmosphérique : d'une controverse scientifique à une décision politique. Thèse soutenue à Paris en novembre.
- Vlassopoulou C. (1999). La lutte contre la pollution atmosphérique en France et en Grèce. Définitions des problèmes publics et changement de politique. Thèse pour le Doctorat de Sciences politiques, université Paris II.
- Zmirou D. (2014). Pollution atmosphérique, sources urbaines et santé : un lien documenté de manière de plus en plus précise, *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 97-106.

Élaboration et signification des normes : une tendance à la simplification d'une réalité plus complexe ?

Helga-Jane SCARWELL

Résumé

Le droit de l'environnement, qu'il soit international, européen ou national, se caractérise par la profusion normative et, dans ce cadre, la norme est très sollicitée comme outil de régulation dans un contexte de globalisation. Si, à cet égard, la norme est devenue en France un « instrument de l'action publique » (Lascoumes, 2004), la question de son mode opératoire ne relève pas exclusivement de simples choix techniques car « l'action publique est un espace sociopolitique construit autant par des techniques et des instruments que par des finalités, des contenus et des projets d'acteur ».

Mots-clés :

Normes, pollution de l'air, politique publique.

Abstract

The environment law, international, European or national is characterized by the normative profusion and, in this context, the standard is very requested as tool of regulation in a context of globalization. If the standard became in France one « instrument of the public action » (Lascoumes, 2004), the question of its modus operandi does not rest exclusively on simple technical choices because « the public action is a socio-political space builds as much by techniques and instruments as by purposes, contents and actor's projects ».

Keywords :

Standards, air pollution, public policy.

Introduction

Le droit de l'environnement, qu'il soit international, européen ou national, se caractérise par la profusion normative et, dans ce cadre, la norme est très sollicitée comme outil de régulation dans un contexte de globalisation. C'est l'ampleur du phénomène qui frappe en premier lieu. Parce que l'environnement « n'est pas une abstraction, mais bien l'espace où vivent les êtres humains et dont dépendent la qualité de leur vie et leur santé, y compris pour les générations à venir », la norme est devenue une des solutions des plus prisées pour répondre aux défis liés à la gestion environnementale.

La normalisation déborde les domaines techniques et professionnels pour s'inviter dans tous les domaines de la société. Certainement, la construction de l'Union européenne et le mouvement normatif international ont accentué ce phénomène. D'ailleurs, la communauté internatio-

nale s'est orientée en matière de pollution de l'air vers la mise en place d'un système de normes, plutôt que vers un système de responsabilité bien aléatoire, obligeant ainsi les États à les faire respecter sur leur territoire.

Parmi celles-ci, certaines sont plus effectives que d'autres en raison du degré d'intégration du système juridique, à l'instar de l'Union européenne. Cependant, cela n'empêche pas que les normes maximales de pollution fixées au niveau européen soient dépassées, en particulier à Paris en 2014.

Si, à cet égard, la norme est devenue en France un « instrument de l'action publique » (Lascoumes, 2004), la question de son mode opératoire ne relève pas exclusivement de simples choix techniques, car « l'action publique est un espace sociopolitique construit autant par des techniques et des instruments que par des finalités, des contenus et des projets d'acteur »

(*ibid*, p. 12).

Ainsi, en matière de qualité de l'air, la loi sur l'air a fixé des normes de qualité définissant des valeurs limites à ne pas dépasser, des objectifs de qualité à atteindre, des seuils de recommandation et d'information, des seuils d'alerte et enfin des niveaux critiques. Afin de respecter les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article L. 221-1 du code de l'environnement ou, le cas échéant, des normes spécifiques mentionnées au 2° du I de l'article L.222-1, des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) ont pour objectif d'assurer, dans un délai fixé, le respect des normes de qualité de l'air. Or la France est sous le coup de contentieux européens en raison de ses dépassements des valeurs limites autorisées concernant, par exemple, les PM₁₀.

Si l'Union européenne, comme la France, reconnaissent les effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé, et la qualité de l'air comme un enjeu sanitaire majeur qui touche aussi bien les pays développés que ceux en développement, les valeurs de référence à atteindre, publiées par l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), sont plus strictes que la réglementation française. Bien que ces lignes directrices relatives à la qualité de l'air n'aient pas de portée contraignante, elles peuvent toutefois être considérées comme des valeurs de référence à atteindre. Néanmoins, elles sont plus strictes que la réglementation. La loi sur l'air de 1996 a de nouveau entériné la pollution de l'air comme un enjeu public.

On peut légitimement se demander si les normes sont des outils axiologiquement neutres, tout comme les dispositifs d'information sur la qualité de l'air (Boutaric, 2004).

Nous voudrions, dans ce texte, porter notre intérêt sur la trajectoire mouvementée des normes et leur construction progressive sous forme de référentiels. À cette occasion, nous nous interrogerons sur les stratégies des acteurs et leurs interdépendances dans le processus d'élaboration des normes. Se contentent-elles de refléter les préoccupations majoritaires de ceux qui y adhèrent ou résultent-elles de jeux d'influence ? Sont-elles issues de longues négociations et quelles sont les scènes de négociation ? Traduisent-elles un fondement scientifique et technique, ou ce fondement ne relèverait-il pas que d'une simple présomption ?

La loi sur l'air énonce en son article 3 que « des objectifs de qualité de l'air, des seuils d'alerte et des valeurs limites sont fixés, après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, en conformité avec ceux définis par l'Union européenne ou, à défaut, par l'organisation mondiale de la santé. Ces objectifs, seuils d'alerte et valeurs limites sont régulièrement réévalués pour prendre en compte les résultats des études médicales et épidémiologiques ».

Ceci met en évidence deux points :

- la gestion du risque lié à l'air repose largement sur des normes ;
- ces normes sont définies au niveau communautaire ou, à défaut, par l'OMS pour être répercutées au niveau national.

Autrement dit, la norme constituerait en France un seuil en matière de surveillance de la qualité de l'air, identifiée souvent comme bonne en deçà de la norme et mauvaise au-dessus. Mais de quoi s'agit-il ?

- S'agit-il de textes bardés de chiffres, qui en font des textes pour spécialistes « d'une technicité peu lisible » (Boutaric, 2014, p. 49). Comme le souligne Corinne Lepage : « les milliers de pages publiées au J.O. chaque année excluent totalement que le citoyen puisse connaître, *a fortiori* comprendre, des textes qui s'empilent en strates successives... L'État mammoth finit par contourner les règles qu'il a lui même créées, ce qui alimente l'arbitraire, l'opacité et favorise de manière croissante les groupes qui ont le plus d'influence sur l'appareil d'État » (Lepage, 1998).

- Ou bien la norme serait-elle basée sur des critères scientifiques mais reconnus et lisibles par tous ?

Pour mieux comprendre leur sens, on ne saurait négliger les différents lieux d'énonciation des normes dans le jeu complexe des interactions entre les différents acteurs de l'élaboration des normes, tant elles interrogent sur les objectifs qui constituent le fondement même de leurs raisonnements, au premier rang desquels figure la santé environnementale... Parce que le droit ne naît pas de rien, il convient de dresser la cartographie des lieux d'énonciation.

Bien des polémiques gagneraient en clarté si l'on savait précisément d'où parlent les différents acteurs. Car évidemment les normes ont une histoire, c'est pourquoi il convient de soulever plusieurs questions :

Tout d'abord, qu'est-ce qu'une norme ? Ensuite, quelles sont les différentes normes ? Enfin, quelle est la validité des énoncés contenus dans les normes ou, autrement dit, comment s'élabore la norme ?

En effet, la norme n'est-elle pas le reflet d'un compromis négocié ? Ce qui signifierait en quelque sorte qu'elle ne serait pas le reflet d'un débat purement scientifique, mais le fruit d'un processus complexe ou d'un « bricolage » politico-juridico-économique. Cependant, la norme n'a-t-elle pas le mérite d'exister ? Si elle n'existait pas, par quoi faudrait-il la remplacer ? L'émergence de la question de la qualité de l'air intérieur s'est automatiquement traduite par la recherche de normes, au demeurant bien difficiles à établir dans le cocktail des pollutions domestiques. Dans cette perspective, ne doit-on pas alors considérer la norme comme un assemblage d'exigences et de contraintes ou la concevoir comme un support privilégié d'une production de sens et de la diffusion de valeurs ?

1. Qu'est-ce qu'une norme ?

Dans sa théorie générale des normes et dans la théorie pure du droit, Hans Kelsen développe sa conception des normes : une norme désignerait un commandement, un ordre, une prescription ou « l'idée que quelque chose doit être ou se produire, en particulier qu'un homme doit se conduire d'une certaine façon. Telle est la signification que possèdent certains actes humains qui, selon l'intention de leurs auteurs, visent à provoquer une conduite d'autrui. Et l'on peut dire que des actes portent en intention sur la conduite d'autrui quand ils ont pour signification, soit d'ordonner (ou commander) cette conduite, soit également la permettre, et en particulier de l'habiliter, c'est-à-dire de conférer à l'autre un certain pouvoir, en particulier le pouvoir de poser lui-même des normes » (Kelsen, 1999, p. 13).

Le droit est norme ou système de normes. On utilise souvent indistinctement les termes de normes et de règles dans le vocabulaire courant. Pourtant, selon le dictionnaire de culture juridique, la signification de la norme est plus large

que les règles juridiques qui ne seraient qu'une variété de normes par prescription.

Or le caractère normatif attaché à la règle ou à la norme juridique repose sur la compétence juridique de l'auteur de la norme. La norme constitue une prescription en tant qu'outil juridique – elle revêt différentes formes dont chacune met en évidence la légitimité du statut de celui qui prétend faire œuvre d'autorité juridique. Autrement dit, l'écriture de la norme, sa rhétorique, son « appareil », la structure de son langage, les garanties procédurales dont elle s'entoure tendent à montrer une seule chose, à savoir que celui qui inscrit son discours dans ces formes est un locuteur juridique, qu'il détient comme tel un pouvoir légitime et qu'il peut chercher au nom du droit à faire acte d'autorité.

Ce qui confère cette force ou cette place juridique à un énoncé ne tient absolument pas au sens de ses termes, mais bien au fait qu'il émane d'un locuteur habilité à l'exercice d'un pouvoir juridique. Néanmoins, pour certains, la norme s'apparenterait à la catégorie de la *Soft law* (comme droit mou ou droit vert), ce qui pose la question de sa normativité que l'on associe souvent à une « juridicité atténuée ». C'est notamment cette spécificité qui justifierait son usage croissant dans les pratiques internationales, la distinguerait de la forme des traités et disposerait d'une portée davantage politique que juridique. Mais il n'est pas toujours facile de distinguer ces actes des autres catégories d'instruments juridiques internationaux.

Pour éviter toute équivoque à propos de la norme, il est souhaitable de distinguer le sens et la force de la norme, lesquels ne se confondent pas. Nous reviendrons sur ce point ultérieurement. Quoi qu'il en soit, il convient de bien relever dans la norme ce qui peut s'apprécier en termes de vérité ou de non vérité. En clair, le vrai et le licite ne se mélangent, ni ne se confondent.

Par ailleurs, pour saisir la norme, son destinataire se doit de représenter à la fois l'objectif à atteindre et une stratégie des moyens utiles pour y parvenir, ce qui n'est pas toujours lisible, en raison des contradictions inhérentes à certaines normes.

En l'occurrence, la norme se comprend comme un texte avalisé comme tel par l'État. Or ce dernier est une abstraction juridique qui n'a pas de volonté autonome et encore moins unique

pour dire ce qu'il pourrait vouloir et désirer. L'État forme donc un système complexe dont la parole est assurée par une multitude d'organes et de démembrements différents.

Dans cet esprit, la norme serait, selon la définition de l'ISO (*International Organization for Standardization*) : « un document, établi par consensus et approuvé par un organisme reconnu, qui fournit pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques, pour des activités ou leur résultats, garantissant un niveau d'ordre optimal dans un contexte donné ». Toutefois, comme l'ont souligné Lelong et Maillard (2000), le terme anglais « standard » regroupe trois notions distinctes que sont la norme technique, l'étalon et le benchmark (niveau de référence), ce qui laisse à penser qu'elles ne seraient pas obligatoires. Cependant, certaines sont rendues obligatoires par un texte réglementaire (Borraz, 2004). Dans tous les cas, la norme doit être distinguée des documents normatifs à caractère informatif (guide d'application, fascicule de documentation) ou faisant état d'accords spécifiques à un groupe ou à un métier (accord, référentiel de bonnes pratiques).

2. Typologies des normes

Que faut-il entendre par normes, et en quoi les normes se distinguent-elles ?

En effet, certains énoncés juridiques sont pourvus d'une composante impérative catégorique réalisant une direction autoritaire des conduites. D'autres portent une norme conditionnelle et visent davantage à une direction plus souple des comportements. D'autres enfin affichent une dimension descriptive et ont une valeur plus incitative.

Tout dépend de ce que l'on veut faire, et parmi les normes rencontrées dans les différentes législations relatives à la protection de l'air et aux économies d'énergies, on distingue habituellement :

- les normes de qualité ;
- les normes d'émissions ;
- les normes de procédés ;
- les normes de produit.

Les normes de qualité ou d'objectif de qualité déterminent le niveau maximum de pollution autorisé dans un secteur de l'environnement. Ainsi, la norme peut indiquer la quantité d'oxyde de soufre dans l'air. Ces normes varient selon l'utilisation

particulière du secteur de l'environnement. Il n'en reste pas moins qu'un dispositif fondé sur une norme technique n'encourage pas l'industriel auquel il s'applique à faire mieux. Celui-ci peut le considérer comme un objectif et non comme une moyenne.

Les normes d'émissions spécifient la quantité ou la concentration de polluants qui peuvent être émis à partir d'une source spécifique. Elles peuvent varier selon le milieu dans lequel les polluants sont introduits et la capacité du milieu à les absorber. Ces normes pourraient être renforcées en cas de brouillard persistant et donc de conditions climatiques particulières. Elles créent des obligations pour se conformer à la norme. Ce système n'encourage cependant pas le recours au meilleur moyen praticable pour la protection de la santé et de l'environnement.

Les normes de procédés concernent les installations utilisant des méthodes déterminées de production et à qui seront imposés certains moyens sans leur permettre de choisir d'autres méthodes pour réduire les émissions. Dans cette perspective, il peut s'agir de recourir à un système de filtrage. La pratique démontre l'inefficacité d'un tel système basé sur la bonne volonté du pollueur potentiel qui s'engage à déclarer ce que bon lui semble ou, à tout le moins, à ne pas déclarer l'intégralité des substances utilisées.

Enfin, les normes de produit peuvent déterminer la composition physique ou chimique de substances comme le carburant afin de savoir quel est le niveau de pollution que peut causer l'émission de gaz par les automobiles. Ces normes de produit sont susceptibles de revêtir différentes formes : il peut s'agir de réglementer le contenu d'un combustible ou d'indiquer les substances dont la présence est interdite, voire imposer le recours à l'utilisation de la meilleure technologie disponible dans la lutte contre la pollution.

Cette typologie, si elle en reste là, peut sembler passablement abstraite, et il faudrait sans doute évoquer, même brièvement, l'évolution du droit communautaire en matière de lutte contre la pollution atmosphérique et plus globalement en matière environnementale.

L'utilisation de la normalisation par l'Union correspond à une stratégie européenne de réalisation plus rapide du marché intérieur. La normalisation est au cœur de l'ordre juridique communautaire car la réglementation classique basée sur la théo-

rie du *command and control* n'a plus le vent en poupe. On observe par ailleurs qu'on se tourne désormais vers des réglementations de type économique basées sur des instruments volontaires ou contractuels. Les Nations Unies, elles-mêmes, lors du sommet de Rio, ont déclaré dans le principe 16 : « Les autorités nationales devraient s'efforcer de promouvoir l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques, en vertu du principe selon lequel c'est le pollueur qui doit, en principe, assumer le coût de la pollution, dans le souci de l'intérêt public et sans fausser le jeu du commerce international et de l'investissement ». Dès 2001, la commission considère que « Les normes européennes sont devenues un facteur essentiel du bon fonctionnement du Marché unique et de l'Espace économique européen. Elles jouent également un rôle important à l'appui de nombreux autres objectifs politiques de la Communauté, notamment la compétitivité des entreprises, l'innovation, la protection de la santé et la sécurité, les intérêts des consommateurs et la protection de l'environnement. Le besoin de normes communes est mis en évidence par la mondialisation croissante du commerce et la convergence des technologies ». En 2008, elle communique dorénavant sur sa nouvelle approche : « Vers une contribution accrue de la normalisation à l'innovation en Europe » (COM, 2008, 133 final, 11 mars 2008, p. 7). Les normes sont de réels instruments de ses politiques publiques, et l'objectif est de mettre en place un cadre adéquat, au niveau de la normalisation européenne, afin d'élaborer des normes plus rapidement, d'assurer une meilleure représentativité des parties prenantes et de les harmoniser, notamment dans le domaine des services. Autrement dit, l'Union européenne veut améliorer sa production européenne de normes.

C'est donc progressivement que l'Union européenne a créé une véritable politique de prévention de la pollution atmosphérique, qui s'est concentrée autour de deux sources d'émissions majeures : les industries ou sources fixes, responsables à 80 % des émissions de dioxyde de soufre ; les véhicules ou sources mobiles, génératrices à 75 % du dioxyde d'azote, à 80 % du monoxyde de carbone et à 85 % des particules de plomb. Ces sources de pollution ont été traitées de façon différente eu égard aux enjeux économiques propres aux États pour préserver l'unité du marché automobile et surtout afin d'éviter que certains États ne recourent à des mesures unilatérales, contrevenant ainsi aux règles de libre concurrence.

Si, dès 1984, l'Union européenne définissait comme objectif une politique de prévention des émissions dans les installations industrielles, elle introduisait une différenciation selon la nocivité et la quantité des émissions atmosphériques générées.

Plus tard, fut introduite l'idée de pollution « multi-milieux » qui faisait remonter plus en amont la prise en compte de la prévention. Par ailleurs, l'Union européenne renforça la sévérité sur la détermination des valeurs limites et des prescriptions techniques, notamment sur le fondement du nouvel article 130 S du traité CEE. Il convient de souligner la rapidité avec laquelle l'Union européenne a su répondre à l'urgence du problème posé par les émissions atmosphériques d'origine industrielle.

Concernant les sources mobiles, l'Union européenne décida de développer une politique de prévention non plus par la seule adaptation des éléments d'émissions, mais également par l'aménagement ou la conception du moteur. Les directives adoptées privilégiaient les technologies bénéfiques pour l'environnement, tout en ne grevant pas celles-ci de coûts excessifs. Cette conciliation des préoccupations économiques et écologiques a permis progressivement de renforcer et de préciser les prescriptions techniques. D'une stratégie préventive basée sur les normes d'émissions, on passa à une stratégie curative basée sur la qualité de l'air. Il s'agissait désormais d'imposer aux États membres le respect de concentrations maximales. L'Union européenne s'attacha à fixer des seuils de pollution de l'air « acceptables » à travers des valeurs limites pour le dioxyde de soufre, les particules de plomb et l'oxyde d'azote. Cette politique européenne n'a pas obtenu les mêmes résultats que celle visant les sources fixes. Pour être efficace, cette politique doit se déplacer de l'industriel au consommateur – ce qui implique la mise en œuvre d'une politique d'incitation fiscale pour l'achat d'un véhicule neuf ou le retrait d'un équipement ancien, voire le développement d'une politique alternative à la voiture. Il convient d'ajouter que ces dispositions communautaires n'ont pas empêché les États membres d'adopter des mesures plus contraignantes au niveau national. Évidemment, cette observation est plus pertinente pour les émissions provenant des installations industrielles que pour celles provenant des voitures ou autres produits.

Pour clore cette partie relative à la typologie

des normes, nous pouvons souligner que la fixation de normes n'a d'intérêt que si ce dispositif est suivi d'effets. Un système qui se contenterait de constater que les obligations imposées ne sont pas respectées est un système, par définition, d'efficacité limitée. Le véritable enjeu est de pouvoir instituer une procédure en manquement contre l'individu en faute ou une action en manquement contre l'État qui ne retranscrirait pas les directives communautaires. Cependant, une telle procédure doit être flexible et performante plutôt que d'être purement accusatoire. L'ensemble de ces remarques explique la multiplicité de mesures transitoires et l'abus de dérogations qui génèrent des effets inverses à ceux recherchés, tout en portant atteinte au principe d'égalité de tous devant la loi.

3. Signification de la norme

Plus généralement, c'est la signification de la norme qui est posée. Quel est son degré de validité ? À quel type de pollution s'adresse-t-elle ? À quoi correspond la norme élaborée – doit-elle prévenir, réduire et/ou combattre la pollution à des fins sanitaires ou encore protéger un milieu spécifique, faciliter la coopération entre acteurs sociaux, faciliter les transferts de technologies ou de ressources financières, utiliser la meilleure technologie disponible, négocier des protocoles supplémentaires ou enfin rédiger des rapports nationaux ? En effet, que penser d'un dispositif basé sur des normes dont le degré de précision serait variable et surtout flexible ?

Même si la norme est souvent le reflet de contraintes sanitaires, celles-ci restent bien difficiles à évaluer, de telle sorte que la valeur scientifique d'une norme est très relative. Elle constitue plutôt un espace de négociation dans une perspective juridique et politique. De même qu'elle n'est pas le reflet d'un débat purement scientifique, elle ne se définit pas simplement par l'action normative de l'État. Des exemples nombreux montrent que des normes ont pu être modifiées sans que des éléments spécifiques nouveaux ne soient intervenus, alors que d'autres normes restent intangibles en dépit de la production de faits scientifiques nouveaux. S'intéresser à la signification de la norme, c'est en quelque sorte s'interroger sur son mode d'élaboration, même si *a priori* le sens d'une norme et son mode d'élaboration sont deux aspects différents. Mais la façon dont s'élabore la norme nous oblige à nous demander quel sens il convient de lui donner.

Si nous reprenons la définition de Lelong et Mallard (2000, p. 11), la norme est « un document déterminant des spécifications techniques de biens, de services ou de processus qui ont vocation à être accessibles au public, résultent d'un choix collectif entre les parties intéressées à sa création, et servent de base pour la solution de problèmes répétitifs ». Qui sont ces parties intéressées ? S'agirait-il d'un processus d'élaboration démocratique et transparent ? Les données sur lesquelles reposent les normes sont-elles scientifiques et techniques ?

Dans l'élaboration de la norme, nous pouvons distinguer ce qui a trait à la construction du savoir et ce qui a trait aux acteurs et, enfin, ce qui relève des procédures et règles comme, par exemple, les directives communautaires.

On a tendance à croire que les normes prescrivent, alors que la science décrit. Mais rien n'est aussi simple. L'État, placé sous la menace d'être complètement coupé de la vie réelle, se trouve en quelque sorte forcé d'agrèger à lui toute une foule de normes dont il n'a lui-même ni prévu ni provoqué l'élaboration.

De cette façon, une multitude de règles et de règlements plus ou moins explicites se pressent à sa porte. Comment peut-il les ignorer et jusque quand ? Il ne suffit plus de dire que chaque norme a pour auteur l'État, car rien n'est moins évident et les choses ne vont pas ainsi. La norme est constituée à partir de la réunion de connaissances éprouvées et de la satisfaction de revendications sociales. Elle ne peut plus être élaborée par un manipulateur cynique modelant à l'infini les connaissances en fonction des intérêts dont il a la charge. La norme suppose un accord sur des valeurs fondamentales à partir d'un risque que l'on trouve socialement inacceptable. Ces normes définissent donc un style de vie sociale, c'est pourquoi il importe de mettre en évidence leur élaboration pour mieux comprendre leur signification.

La norme, un assemblage d'exigences et de contraintes tant au niveau national que communautaire.

Bien que la norme soit avant tout une norme sociale, elle correspond à la délimitation par des acteurs ou « experts » du champ d'application de l'énoncé contenu dans la norme. Ces derniers

vont identifier les acteurs concernés par la norme, c'est-à-dire à la fois les populations à risque, mais aussi ceux qui vont devoir se plier aux règles édictées et, enfin, ceux qui vont répercuter la norme sur la fabrication du produit. Comme l'a analysé Latour (1991) dans son ouvrage sur la déconstruction de l'opposition entre nature et culture, entre la nature des choses et le contexte social au nom des réseaux et des hybrides, les normes seraient issues d'une hybridation assurant « une forme de médiation entre les lois scientifiques et les règles juridiques » (Frydman et Van Waeyenberge, 2014, p. 11). Ces outils ont la forme d'une norme réglementaire que l'autorité impose et dont la source repose sur des observations scientifiques (exemple du niveau de concentration à partir duquel la dioxine est toxique par l'organisme humain).

À cette occasion, il s'agira de déterminer à partir de quel instant une substance répertoriée produit une incidence sur la santé – le risque sera alors traduit en prescriptions techniques. Désormais, l'intensité et la fréquence des épisodes de pollution qui ont évolué ces dernières années, notamment dans les pays industrialisés et densément peuplés, impliquent que l'on s'interroge sur l'efficacité des objectifs et des seuils des normes, car depuis 2013, nous savons que la pollution de l'air a été classée comme cancérigène avéré (classe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) : « les experts ont conclu qu'il y a suffisamment de preuves que l'exposition à la pollution de l'air extérieur provoque le cancer des poumons et favorise le cancer de la vessie ». Les particules fines – l'un des principaux composants de l'air extérieur – ont été évaluées séparément et sont aussi classées cancérigènes pour les humains, tout comme le diesel, en juin 2012. « Bien que la composition de la pollution de l'air et les niveaux d'exposition puissent varier puissamment d'un endroit à l'autre, les conclusions du groupe de travail concernent toutes les régions du globe », indique le CIRC (2013). Une étude de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) de 2013 a mis en évidence que 90 % des urbains sont exposés régulièrement à des seuils de particules fines (PM_{2,5}) supérieurs aux recommandations de l'OMS (10 microgrammes par mètre cube d'air), et que 98 % d'entre eux ont été exposés en 2011 à des concentrations d'ozone mesurées à des niveaux supérieurs aux seuils de recommandation de l'OMS. Enfin, les travaux menés par le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), publiés en octobre (Rapport,

2012, 2013), montrent que le coût économique de la mortalité (décès prématurés ou années de vie perdues) et de la morbidité (nouveaux cas de bronchite chronique, journées d'activité restreinte...) est élevé pour la collectivité, entre 20 et 30 milliards d'euros. Ils font ressortir l'importance des politiques de lutte contre la pollution. Ils ont aussi permis d'estimer les bénéfices de la mise en place des normes « Euro » qui limitent les émissions polluantes des véhicules routiers, deux fois supérieurs aux coûts du dispositif (notamment coût des techniques de dépollution).

En mars 2014, de forts épisodes de pollution aux particules fines dans l'Hexagone soulignent une fois encore la légèreté avec laquelle la pollution est traitée en France, alors qu'au même moment l'OMS a annoncé que la pollution atmosphérique avait entraîné, en 2012, le décès de sept millions de personnes sur la planète. Tout le monde tire la sonnette d'alarme ; cependant, il semblerait que « le choc des consciences n'ait pas encore eu lieu ». Qui serait responsable de cette situation : l'incompétence des politiques et/ou la force du lobby pro-diesel ? Les termes du débat ne sont certainement pas aussi caricaturaux. Néanmoins, la définition des seuils à ne pas dépasser ou des seuils critiques, tout comme l'identification des polluants mesurés ne sont pas neutres. Cela nous renvoie aux processus d'élaboration des normes, lesquels ne sont pas exempts de critiques. Certains parlent à ce sujet de « démocratie technologique » (Hawkins, 2000) ou encore de « diplomatie des techniques » (Cochoy, 2000). Selon la nouvelle approche européenne évoquée ci-dessus, le Conseil européen a insisté sur le fait que « les normes doivent avoir un niveau élevé d'acceptabilité en raison de la pleine implication des parties intéressées concernées par le processus de normalisation et qu'elles doivent être cohérentes entre elles ». En outre, il a souligné que les normes doivent se fonder sur des recherches scientifiques sérieuses » (Rapport de la commission du 26 septembre 2001). Si la norme résulte de plusieurs critères, les aspects techniques restent visibles à dessein. La recherche de consensus dans l'élaboration des normes est parfois favorisée selon Majone (1994, p. 91) quand on se trouve dans une situation de « copinage technocratique », c'est-à-dire quand on partage des intérêts et des catégories cognitives. De cette façon, on cherche à gommer la négociation ou la délégation à des organismes privés du soin d'édicter des règles au profit des prescriptions techniques énoncées par la norme et dont le non-respect s'accompagne éventuellement

de sanctions. Ainsi, elle devient donc une norme sociotechnique qui ne s'applique à un univers ni purement social, ni purement technique, mais qui s'inscrit au carrefour de trois pôles : le pôle scientifico-technique, le pôle socio-politico-économique et le pôle juridique. La norme résulterait de la régulation entre ces trois catégories, bien que cette dimension soit niée par chaque partie. Naturellement, le poids grandissant des revendications environnementales en termes de santé n'est pas étranger à cet état des choses. En même temps, il faut tenir compte de l'ensemble des destinataires de la norme. Ce qui dans tous les cas n'estompe pas l'impression que la norme élaborée puisse être en dessous des espérances de protection de la santé et de l'environnement.

À trop prêter à la norme, on encourt des déceptions. Or cette ambivalence n'est pas spécifique à un public demandeur. On la retrouve dans le discours des destinataires. Même s'il existe une demande de droit, chaque acteur lit la norme à partir de ses intérêts et y retrouve la légitimation de son point de vue. Mais des réserves sont exprimées parallèlement, surtout lorsque ces mêmes acteurs sont confrontés aux contraintes normatives. Parce que la norme crée une configuration spécifique, elle devient très vite une contrainte pour ceux qui doivent désormais composer avec elle. Ils pensent pouvoir invoquer le droit, tout en ne se sentant pas totalement liés par la portée de la norme ou en réclamant des dérogations. La norme doit être conçue comme un assemblage d'exigences et de contraintes. Elle trouve sa source dans les trois pôles précités. Cet assemblage doit être suffisamment solide pour assurer sa stabilité et peut se résumer par un alignement entre ce que l'on sait ou croit savoir et ce que l'on décide ou croit décider.

La frontière entre la recherche et le monde sociopolitique n'est pas toujours clairement tracée. En effet, la formulation des problèmes à étudier n'est pas entre les mains des seuls scientifiques. Les problématiques peuvent être négociées et les stratégies de recherche peuvent faire l'objet de débats entre spécialistes et non-spécialistes. De surcroît, le pôle réglementaire ne doit pas être sous-estimé. Il peut aller jusqu'à orienter les choix épistémologiques des chercheurs. Quelles que soient les arrière-pensées et les divergences, le droit est convoqué pour réaliser sa fonction traditionnelle d'apaisement et d'évitement des affrontements sociaux. La prise en compte par le droit de « populations à risque » prédétermine le type d'investigations

qu'il convient d'entreprendre, ne serait-ce que pour établir les effets toxiques de telle substance, vis-à-vis de ces groupes cibles. Il est donc demandé au droit de fixer des limites à chaque usage et de protéger les intérêts de chacun. Ce rapport est largement entretenu par le fait que l'environnement apparaît comme une question connexe à d'autres problèmes qui déterminent son application. Dans ces conditions, le droit devient un outil de « codage ou de transcoding » (Lascoumes, 1994) qui permet à des agents aux préoccupations et aux intérêts divergents, de définir au préalable ce qui fera l'objet de discussions et éventuellement d'un traitement public. Le point d'achoppement de ce type de politique repose souvent sur la détermination de l'auteur et du lieu de la mise au point des ajustements. La demande de droit n'est donc pas dissociée d'une certaine forme de désenchantement vis-à-vis de la norme. Elle est d'autant plus forte chez certains qu'ils sont peu familiarisés avec ce qui ressemble à un « bricolage » juridique. Comme Max Weber, on peut souligner que la force de la norme réside non pas uniquement dans son application, mais surtout dans le fait que les individus se déterminent à partir d'elle. Elle est donc susceptible d'une large appropriation. De ce fait, on pourrait analyser la norme comme le support privilégié d'une production de sens et de la diffusion de valeurs, alors même que certains acteurs continuent de percevoir le droit comme une ressource sur laquelle il faut peser et qu'ils tentent d'orienter en leur faveur. On est loin de l'idéologie de l'intérêt général mais aussi de la transcendance qui entoure certains discours. La norme n'est ni édictée brutalement par le politique ni imposée par le scientifique ou le juriste. Elle est le fruit d'une négociation qui permet de fixer d'abord ce qui est scientifiquement et techniquement plausible, puis de faire émerger ce qui est socialement « viable » et enfin, de tester ce qui est juridiquement admissible. Cette conjugaison rend obsolète le schéma classique proposé par Max Weber du savant qui fournit des connaissances certaines, et de l'homme politique qui décide en fonction des valeurs qu'il représente. L'indétermination qui résulte de ces trois pôles mesure l'existence et l'étendue des marges de négociations. La norme se donne pour mission de créer de la compatibilité et de trouver une commune mesure, non point parfaite mais acceptable, entre les humains et leur milieu environnant. Norme consentie, collectivement élaborée, qui concilie pour un temps les différences. Dans ces conditions, il faut bien que des acteurs particulièrement motivés conduisent des actions planifiées

et volontaires, qui démasquent les « fausses » alertes pour désigner la « vraie » menace. La norme n'étant que l'expression d'un certain rapport à l'environnement, il est souhaitable de la relativiser. Aussi, les raisons, mêmes sanitaires, qui préexistent à l'élaboration des normes ne justifient pas qu'on leur prête des vertus d'exactitude que leurs auteurs sont loin de leur reconnaître (de Koning, 1989). Au niveau européen, on retrouve un certain nombre de points soulevés ci-dessus.

En effet, l'intégration progressive de l'environnement dans le champ des compétences européennes ne doit pas faire oublier que les objectifs écologiques de l'Union européenne n'ont jamais été coupés d'objectifs « économiques ».

La directive, outil d'harmonisation des normes, n'est pas sans soulever quelques questions quant aux arbitrages effectués lors de son élaboration. Il n'est pas toujours possible d'imposer des normes uniformes par polluants, car les solutions adoptées sont spécifiques à chaque branche d'industrie pour des raisons techniques et économiques. Dès lors, leur contenu relève plus d'un compromis que d'une volonté radicale de dépollution et l'on peut se demander si ce compromis est conciliable avec la prise en compte d'un risque acci-

dentel.

Conclusion

S'il est possible de tirer une conclusion de la manière dont les problèmes liés à l'élaboration des normes et à leur signification, ont été posés, c'est bien celle-ci : le droit a intégré le principe de précaution qui, désormais implique l'émergence d'un nouveau compromis social, ne devant plus laisser croire que la science puisse faire l'objet d'une évaluation objective. Désormais, la définition du risque est l'affaire de tous et plus seulement celle des experts. Cependant, la force de l'idée, pas plus que sa réputation dans des textes nationaux et/ou internationaux, n'est gage d'efficacité du principe en droit positif. Dans cet esprit, il est précisé que ce principe, comme d'autres, inspire les actions touchant à l'environnement dans le cadre des lois qui en définissent la portée. Ce qui laisse supposer une variété de conceptions de la précaution qui correspond à la diversité des contextes sociaux et institutionnels dans lesquels elle est invoquée. D'autant que si un grand nombre de textes y font référence, certains n'en précisent même pas le contenu. Force du discours, faiblesse de la pratique.

1. Avis consultatif du 8 juillet 1996, Licéité de la menace ou de l'emploi d'armes nucléaires, CIJ Recueil 1996, p. 226, par. 29
2. Ils font l'objet des articles L222-4 à 7, et R222-13 à 36 du code de l'environnement.
3. L'étude d'Erpurs de 1994 a permis de souligner les impacts sanitaires de la pollution à court terme et à long terme à partir des relations expositions-risques ; au niveau européen, voir les travaux dans le cadre du programme de l'Apheis (<http://www.apheis.org/>) et Aphekom (<http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/what-s-new>). Dans le cadre de ces programmes, on peut citer les articles suivants : Hanel, O. ; Henschel, S. ; Goodman, P et al. (2014). Economic valuation of the mortality benefits of a regulation on SO₂ in 20 European cities. *European Journal of Public Health*. [En ligne] : doi:10.1093/eurpub/cku018 ; Le Tertre, A. ; Henschel, S. ; Atkinson, R.W. et al. (2014). Impact of legislative changes to reduce the sulphur content in fuels in Europe on daily mortality in 20 European cities: an analysis of data from the Aphekom project. *Air Quality, Atmosphere & Health*, n° 7, March 01, pp. 83-91.
4. Les lignes directrices OMS 2005 sont conçues pour donner des orientations mondiales et réduire les conséquences de cette pollution sur la santé. Elles s'appliquent au monde entier et se fondent sur l'évaluation des données scientifiques actuelles par des experts. Les concentrations limites recommandées ont été révisées pour un certain nombre de polluants : particules en suspension, ozone (O₃), dioxyde d'azote (NO₂) et dioxyde de soufre (SO₂), et concernent toutes les régions de l'OMS.
5. La loi LAURE du 30 décembre 1996 (Loi sur l'Air et de l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie), vise à rationaliser l'utilisation de l'énergie et à définir une politique publique intégrant l'air en matière de développement urbain : « La mise en œuvre du droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé consiste à prévenir, à surveiller, à réduire ou à supprimer les pollutions atmosphériques, à préserver la qualité de l'air et, à ces fins, à économiser et à utiliser rationnellement l'énergie. »
6. Il est à noter que l'OMS parle de recommandation plutôt que de normes.
7. Le droit mou se réfère plutôt au caractère infra-juridique d'une règle de conduite, et le droit vert inclut plus une connotation temporelle et se réfère à la possibilité que le *soft law* puisse impulser le

développement du *hard law* (le *soft law* comme arrière-plan de la création d'une règle du droit dur).

8. Attention à la confusion entre standard et norme. Le standard résulte d'un consensus plus restreint que pour la norme, il est élaboré entre des industriels au sein de consortiums et non par des organismes nationaux. La différence est cependant faible, et les Anglo-Saxons utilisent le terme de standard pour désigner une norme à l'instar de ma définition de l'ISO.

9. On citera à titre d'exemple la directive « qualité de l'air », la directive « dioxyde de soufre (SO₂) et particules en suspension » du 15 juillet 1980, la directive plomb du 3 décembre 1982, la directive « dioxyde d'azote » (NO₂) du 7 mars 1985, la directive « ozone » du 21 septembre 1992.

10. On citera à titre d'exemple des directives fixant des normes d'émission, les directives « installations fixes », la directive « grandes installation de combustion » du 24 novembre 1988, les directives « incinération des ordures ménagères » des 8 et 20 juin 1989, la directive « incinération des déchets dangereux » du 16 décembre 1994, la directive « COV, stockage de l'essence/distribution des terminaux aux stations services » du 20 décembre 1994, ou encore les directives « véhicules » comme la directive consolidée 91/441/CEE du 23 mars 1994 concernant les valeurs limites des véhicules particuliers, la directive 93/59/CEE du 28 juin 1993 relative aux valeurs limites des véhicules utilitaires légers.

11. <http://www.un.org/french/events/rio92/rio-fp.htm>

12. http://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf

13. /* COM/2001/0527 final */

Références

- Acteurs non étatiques. Les faiseurs de normes environnementales. (2009). in JACQUET, P. et al., Regards sur la Terre, Presses de Sciences Po, « Annuels », pp. 272-273.
- BECHILLON, D. (1997). *Qu'est-ce qu'une règle de Droit ?* Odile Jacob.
- BORRATZ, O. (2005). Les normes : instruments dépolitisés de l'action publique, dans Pierre LASCOUMES et Patrick LE GALLES, Gouverner par les instruments, Presses de Sciences Po, pp. 123-161.
- BOUTARIC, F. (2014). *Pollution atmosphérique et action publique*, éditions d'Ulm.
- CHATZISTAVROU, I. (2004). « L'usage du soft law dans le système juridique international et ses implications sémantiques et pratiques sur la notion de règle de droit », Le Portique [En ligne], 15 | 2005, mis en ligne le 15 décembre 2007, consulté le 18 novembre 2014. URL : <http://leportique.revues.org/591>
- COCHOY, F. (2000). De l'« AFNOR » à « NF », ou la progressive marchandisation de la normalisation industrielle. Réseaux, vol. 18, n° 102, pp. 63-89.
- DEPOORTER, S. ; NICKLAUS, D. ; RAFENBERG, C. (2012). Santé et qualité de l'air extérieur. Rapport de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement, Commissariat Général au Développement durable, coll. Références, juin, tome 1.
- DEPOORTER, S. (2013). Santé et qualité de l'air : bilan coûts-avantages des normes européennes de polluants pour les véhicules routiers. Rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation, Tome 2, Commissariat Général au Développement durable, collection Références, mars 2013.
- DUPUY, J.R. (1973). « La technique de l'accord mixte utilisée par les Communautés européennes », Annuaire de l'Institut de droit international, p. 259.
- FRYDMAN, B. ; VAN WAEYENBERGE, A. (2014). *Gouverner par les standards et les indicateurs*. De Hume aux rankings. Bruylant
- GODARD, O. (dir.). (1997). *Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*. Paris : INRA/Maison des Sciences de l'Homme.
- HAWKINS, R. (2000). Vers une évolution ou vers une disparition de la « démocratie technique » ? L'avenir de la normalisation dans le domaine des technologies de l'information et de la communication. *Réseaux*, 2000, volume 18, n° 102. pp. 119-137.
- HOOD, C. (1983). *The Tools of Government. Public policy and politics*. Macmillan.
- KELSEN, H. (1996). *Théorie générale des normes*. Presses Universitaires de France.

- KELSEN, H. (1999). *Théorie pure du droit*. L.G.D.J., coll. « La pensée juridique ».
- KISS, A. , SHELTON, D. (2000). *Traité de droit européen de l'environnement*. Frison Roche
- KONING (DE), H.W. (1989). La fixation de normes en matière d'environnement : recommandations à l'intention du décisionnaire. [En ligne] :
- <http://apps.who.int/iris/handle/10665/40777#sthash.lsf6a8F4.dpuf>
- LASCOUMES, P. ; SERVERIN, E. (1988). Le droit comme activité sociale : pour une approche wébérienne des activités juridiques, *Droit et Société*.
- LASCOUMES, P. (1994). *L'éco-pouvoir. Environnements et politiques*. Paris : La Découverte.
- LASCOUMES, P. (1995). Actualité de Max Weber pour la sociologie du droit, LGSJ.
- LASCOUMES, P. ; LE GALES, P. (2004). *Gouverner par les instruments*, Presses de Sciences Po, Collection académique.
- LATOUR, B. (1991). *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*. Paris : La Découverte, « L'armillaire ».
- LELONG, B. ; MAILLARD, A. (dir.). (2000). La fabrication des normes, *Réseaux*, vol. 18, n° 102.
- LEPAGE, C. (1998). *On ne peut rien faire, Madame le ministre*. Albin Michel.
- MASSINI, C. (2006). La signification et la désignation des normes : la contribution de Georges Kalinowski à la sémantique normative, *Philosophia Scientiæ*. [En ligne] : <http://philosophiascientiae.revues.org/489> ; DOI : 10.4000/philosophiascientiae.48910-1 | 2006, mis en ligne le 01 avril 2009, consulté le 10 novembre 2014.
- RABAULT, H. (1997). *L'interprétation des normes : l'objectivité de la méthode herméneutique*. L'Harmattan, collection « Logiques juridiques ».
- Rapport de la Commission au Conseil et au Parlement européen sur les actions menées conformément aux résolutions sur la normalisation européenne adoptées par le Conseil et le Parlement européen en 1999.
- REVERDY, T. (2005). Les normes environnementales en entreprise : la trajectoire mouvementée d'une mode managériale. *Sociologies pratiques*, vol. 1, n° 10, pp. 97-119. DOI : 10.3917/sopr.010.0097
- STENGERS, I. (1997). *Sciences et pouvoirs. La démocratie face à la technoscience*. Paris : La Découverte.
- TOZZI, P. et al. (2011). Gouverner par les normes environnementales : jeux d'acteurs et de puissance dans la certification forestière. *Espaces et sociétés*, vol. 3, n° 146, pp. 123-139. [En ligne] : www.cairn.info/revue-espaces-et-societes-2011-3-page-123.htm. DOI : 10.3917/esp.146.0123
- WEBER, M. (1959). *Le savant et le politique*, trad. par J. Freund. Paris : Plon.

Webographie

- <http://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2001-01-0156-011>
- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:52001DC0527>
- <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>
- <http://www.journaldelenvironnement.net/article/l-air-europeen-nocif-pour-90-des-urbains,37828>
- <http://www.journaldelenvironnement.net/article/la-pollution-de-l-air-exterieur-est-classee-cancerigene-avere,37966>

La météorologie et les pics de pollution.

Étude de cas de décembre 2013 et mars 2014

Meteorology and peaks of pollutions. Study of the cases of December, 2013 and March, 2014

Jean-Paul TONNELIER,¹ Sylvie GUIDOTTI,¹ Bruno LOSSEC,² Frank BARAER,³

Julien DESPLAT²

Résumé

L'analyse météorologique des pics de pollution aux particules de décembre 2013 et mars 2014 met en exergue le lien entre ces pics et des situations météorologiques particulières : principalement des situations anticycloniques très stables, qui perdurent sur plusieurs jours et empêchent ou limitent ainsi toute dispersion des particules. À cela peut s'ajouter un apport extérieur en particules, comme cela a été le cas en mars 2014.

Pour que l'épisode se termine, il faut que l'air puisse être nettoyé des particules ainsi accumulées, ce qui se fait par lessivage, soit avec l'arrivée d'une perturbation ou la combinaison des deux. Ainsi, en décembre 2013, la mise en place d'une situation perturbée avec un flux d'ouest permet de nettoyer la masse d'air : d'abord par un effet lié au vent qui initie une baisse des concentrations en particules, puis une chute importante de ces concentrations avec l'arrivée d'un front précipitant qui permet le lessivage de la masse d'air. En mars 2014, la baisse des concentrations en particule est liée à un changement d'influence et la mise en place d'un flux de nord-ouest, non précipitant mais bien établi, qui purge la masse d'air en continu sur plusieurs jours. Ces deux événements sont des exemples typiques des épisodes hivernaux de pollutions aux particules.

Mots-clés :

Météorologie, pollution atmosphérique, inversion thermique et rétro-trajectoire

Abstract

The pollution peaks of December 2013 and March 2014 highlight the relationship between particles pollution and meteorology. For both peaks, the meteorological situation was basically the same: an anticyclonic situation characterized by a high stability, which lasts for several days and thus limits or prevent any dispersion of the particles. In the March case an important import of particles did contribute to this peak. Added to the local pollution, it caused the overtaking of the threshold. Both episodes ended with the arrival of a new meteorological situation that cleaned the particles accumulated during the peak. The arrival of a disturbance in December 2013 rinsed the particles with some rain and in March 2014 a cold front brought new air from the ocean. Both situations are typical winter episodes of pollution to particles.

Keywords:

Meteorology, air pollution, thermal inversion and retro trajectory

Pic de pollution aux particules et météorologie

Situations météorologiques favorables à un pic de pollution

Pour provoquer des pics de pollution, il faut ajouter aux émissions polluantes et aux réactions chimiques des conditions météorologiques et géographiques particulières. Certaines situations météorologiques sont en effet propices à l'augmentation des concentrations de polluants par persistance d'une situation, qui peut ensuite conduire au dépassement de seuils et donc au pic de pollution. Bien que ces situations dépendent du type de polluant considéré, de la période de l'année et d'éléments de contexte (par exemple des émissions inhabituelles : fort trafic routier, épandage agricole, advection de poussières sahariennes, etc.), il est d'usage de considérer qu'il existe deux grands types d'épisodes de pollution : les pollutions hivernales et les pollutions estivales.

L'hiver, il s'agit de conditions généralement anticycloniques, avec des vents faibles et des inversions de température à basse altitude et persistant plusieurs jours. Ces conditions sont favorables aux pollutions par le NO_2 , le SO_2 et les PM_{10} et particulièrement fréquentes et dangereuses dans les villes « encaissées » et mal ventilées comme Grenoble, par exemple. Il s'agit alors de pollutions « locales » dues à l'accumulation sur un territoire de polluants, accumulation rendue possible ou causée par la situation météorologique. Ces épisodes sont limités géographiquement, à l'inverse d'épisodes liés à une contamination extérieure qui ont alors de manière générale une emprise géographique plus importante.

On peut aussi avoir des épisodes extrêmement locaux de pollution « directionnelle » (effet de panache) par le SO_2 , comme cela a été le cas lors de la récente éruption du volcan Bardarbunga en Islande, ou lorsque des particules sont directement émises par les installations industrielles.

L'été, c'est principalement l'association du soleil (rayonnement), de la température (action sur la cinétique chimique et sur les émissions) et des vents faibles (mauvaise dispersion) qui conduit aux pics d'ozone. Pour ces épisodes, l'effet d'encaissement et de mauvaise ventila-

tion accroît également les risques. Pour l'ozone enfin, un facteur important à prendre en compte est le transport à grande distance de la pollution photochimique. Les pollutions à l'ozone se caractérisent généralement par leur ampleur géographique, ce type de pollution ne se limitant pas à une ville. À l'échelle régionale, par exemple, il a été observé que les maximums de pollution ne se produisent pas dans les villes (où le NO détruit l'ozone) mais à quelques dizaines de kilomètres de celles-ci. À l'échelle continentale, le phénomène est le même.

Pour ce qui concerne les disparités géographiques d'apparition des pics de pollution, les villes d'une large moitié nord de la France sont susceptibles de dépasser le seuil d'information pour les pollutions aux particules PM_{10} , avec une pollution provenant d'un apport extérieur, alors que des villes comme Bordeaux et Toulouse, plus éloignées des zones industrielles importantes (Benelux, Nord Allemagne, Plaine du Pô), connaissent, de manière générale, plutôt des phénomènes locaux. En tout état de cause, l'occurrence de niveaux élevés d'ozone dépend de conditions météorologiques mais aussi de la présence de précurseurs NO_x et COV dans des proportions qui dépendent des contextes locaux. En outre, l'ozone est un phénomène diurne puisqu'il est lié à la photochimie mais aussi parce qu'il est détruit par les autres polluants qui s'accumulent sous l'inversion de rayonnement nocturne, sans oublier que l'ozone peut se déposer sous forme solide.

Fin des pics de pollution

Les épisodes de pollution atmosphérique cessent la plupart du temps avec un changement de situation météorologique: changement de direction du vent pour les épisodes directionnels, vents plus forts et stabilité de l'atmosphère moins marquée amenant une meilleure ventilation pour les épisodes anticycloniques, ou couverture nuageuse plus importante pour les situations à ozone, ou encore précipitations qui entraînent le lessivage des particules. Le point commun de ces situations est la mise en place d'un système météorologique permettant de « nettoyer » la masse d'air des polluants accumulés durant l'épisode de pollution, pour retrouver une masse d'air moins polluée.

Cas des pics de pollution de décembre 2013 et mars 2014

Bien qu'étant tous deux des pics « hivernaux », les pics de décembre 2013 (du 9 au 13) et de mars 2014 (du 11 au 14) diffèrent de par leurs caractéristiques, leurs origines, leur durée ou encore leur ampleur géographique. Une analyse détaillée des conditions météorologiques liées à ces pics est proposée ci-dessous afin de faire ressortir les points marquants pour ces deux épisodes récents, en se concentrant sur les facteurs météorologiques principaux dans ces épisodes de pollution, à savoir :

- la dispersion horizontale par l'analyse des conditions météorologiques globales ;
- la diffusion verticale par l'étude des radiosondages ;
- l'origine et le trajet des masses d'air via l'utilisation de rétro-trajectoires.

Épisode du 9 au 13 décembre 2013 : alerte aux PM₁₀

Cet épisode d'alerte aux PM₁₀ a touché une grande partie de la métropole (Ile de France, région Paca, Rhône-Alpes, Nord-Pas-de-Calais...), et en particulier les grandes métropoles. L'épisode a cependant été plus court et moins marqué dans le Sud de la France, et en particulier sur Toulouse, du fait de l'apparition du vent d'autan qui a contribué à disperser les particules polluantes.

Description du contexte synoptique pour la période du 8 au 14 décembre : en début de période, à partir du 8 décembre, des conditions anticycloniques se mettent en place sur le Nord de la France. De ce fait, les particules émises au niveau des principales métropoles ou axes routiers restent autour de ces derniers et s'accumulent. La persistance sur plusieurs jours d'une situation anticyclonique stable génère un pic de pollution (accumulation des polluants émis et création de particules secondaires), pic qui perdure tant qu'un nouveau phénomène météoro-

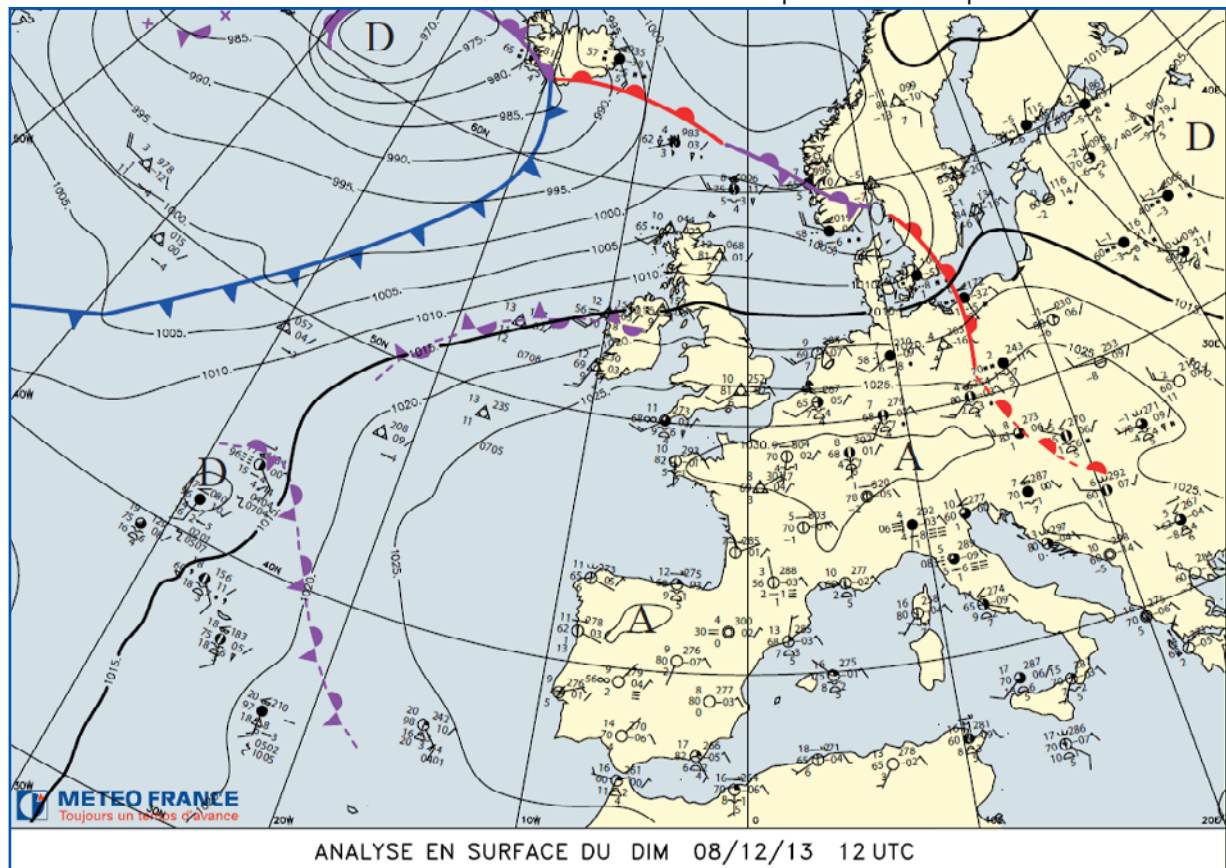


Figure 1.

Situation météorologique du 8 décembre 2013 : isobares et systèmes frontaux.
[Weather condition, 8th December 2013: isobars and frontal systems.](#)

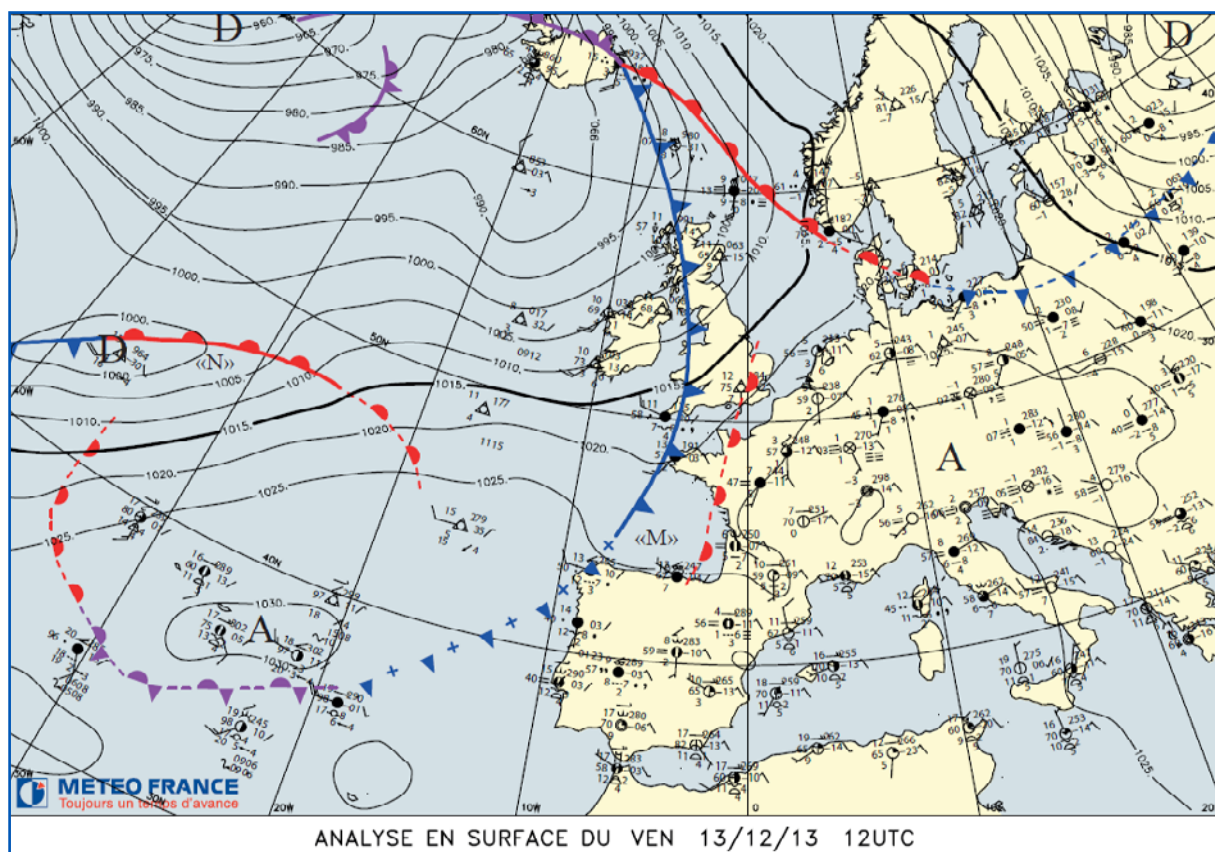


Figure 2.

Situation météorologique du 13 décembre 2013 : isobares et systèmes frontaux.

Weather condition, 13th December 2013.

logique ne vient pas nettoyer cette atmosphère chargée en particules.

C'est ce qui se produit pour cet épisode, avec un déblocage qui intervient dans la nuit du 13 au 14 décembre, grâce au passage d'un front froid, et la mise en place d'un flux d'ouest océanique sur la France, en marge du lit perturbé, positionné au nord du 50° parallèle.

Les cartes ci-dessous, issues des sorties du modèle de prévision numérique de Météo-France Arpège pour une résolution de 0.5°, illustrent ces situations en début et fin de période (figure 1 : situation anticyclonique du 8 décembre, et figure 2 : arrivée d'un front froid le 13 décembre). Elles décrivent les champs de pression au sol et la position des différentes perturbations (fronts chauds et froids).

Évolution de la masse d'air sur la région parisienne entre le 8 et le 14 décembre. Cet épisode peut être analysé de manière plus précise, à l'aide de données observées de type radiosondage⁴, permettant de mieux appréhender le comporte-

ment vertical de l'atmosphère en un lieu donné. Les radiosondages de Trappes du 8 décembre de la figure 3 illustrent un pied convectif de 1 500 m environ avec, au-dessus, une masse d'air plus sèche et subsidente. Ce type de profil est significatif d'une inversion de subsidence, particulièrement marquée à 1 500 m d'altitude en raison de l'installation d'une situation anticyclonique.

La mise en place de conditions anticycloniques débute par l'arrivée en altitude d'une masse d'air sèche et « chaude » associée à une dorsale (terme de topographie). Dans ce contexte, les vitesses verticales à grande échelle sont « descendantes » ; on parle alors de subsidence. Dans ce type de cas, le profil vertical montre généralement 2 couches : une couche dans les niveaux supérieurs, sèche et chaude, au-dessus d'une couche plus froide et souvent plus humide, en particulier en hiver. À la limite de ces deux couches, il y a donc une inversion appelée un peu schématiquement « inversion de subsidence ». Au fur et à mesure que les conditions anticycloniques se renforcent, la couche du haut s'étend vers le bas, et l'inversion de subsidence

descend. Dans certains cas, elle descend très bas jusqu'à quelques centaines de mètres. Là, elle peut alors se confondre avec la couche d'inversion radiative qui se forme la nuit. Ces conditions météorologiques sont fréquentes l'hiver, ce sont les cas où il fait plus chaud en montagne qu'en plaine.

Ainsi, le 10, la masse d'air s'est complètement « affaissée » et l'inversion de subsidence s'est confondue avec l'inversion radiative de très basses couches : les particules sont alors bloquées dans ces très basses couches, incapables de passer dans les couches supérieures atmosphériques.

Cette situation perdure plusieurs jours, comme le montrent les figures 4 et 5 des radiosondages des 10 et 12 décembre, dans des conditions de vents très faibles. La pollution reste prisonnière sous cette très forte inversion de très basses couches (vers 300 m d'altitude) et, en raison de cette zone d'inversion et de faibles vents, aucune

dilution sur la verticale ou sur l'horizontal n'est possible. En effet, à cette saison, le réchauffement diurne est pratiquement absent.

Cet effet cyclique de réchauffement diurne est dû au fait que le sol, comme tout corps, émet des rayonnements infrarouges. En cas de nuit claire, une faible partie de ces rayonnements est absorbée par l'atmosphère, et l'atmosphère restitue trop peu de rayonnement infrarouge pour compenser la perte. Le bilan radiatif à la surface de sol est donc très déficitaire : la température baisse. Cette baisse est freinée par les remontées du sol (flux de conduction), voire par d'éventuels changements d'état de l'eau (flux de chaleur latente). La nature de la surface du sol joue aussi un rôle ; ainsi, si le sol est recouvert d'une matière avec un bon pouvoir isolant – sable ou neige par exemple – la baisse de température n'est pas limitée par un flux de conduction trop faible. Les nuits sont donc très froides dans le désert et glaciales lorsqu'il y a de la neige. Cette baisse de la température du sol provoque la baisse de la température de la couche de l'atmosphère à son contact.

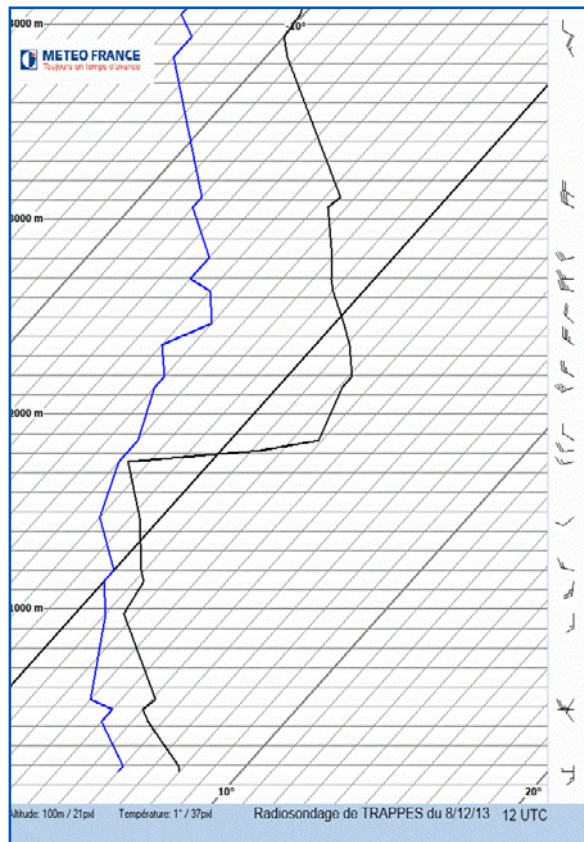


Figure 3.

Radiosondages de Trappes du 8 décembre 2013 (12UTC).

Trappes radiosounding of 8th December 2013 (12UTC at right).

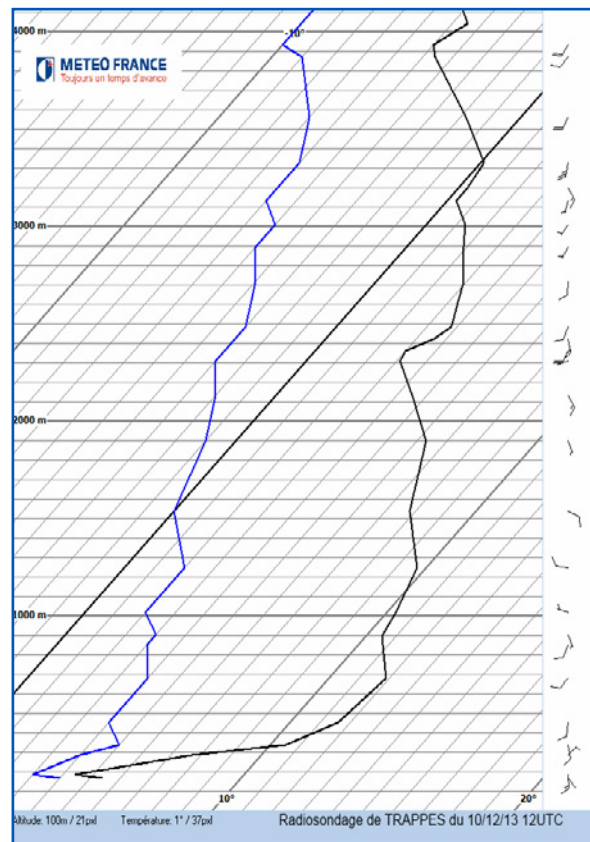


Figure 4.

Radiosondages de Trappes du 10 décembre (12UTC).

Trappes radiosounding of 10th December 2013 (12UTC).

Il se forme alors une inversion dite « radiative ». La baisse de température peut ensuite se répercuter sur 200 ou 300 m d'épaisseur. En cas de présence de nuages, ceux-ci absorbent le rayonnement infrarouge du sol et émettent un rayonnement vers le sol qui l'absorbe à son tour. Dans ce cas, le bilan radiatif est quasiment équilibré (cela dépend de la hauteur des nuages et de leur opacité), et il n'y a en conséquence qu'une faible baisse des températures nocturnes.

En journée, avec la présence du soleil, le rayonnement qui arrive au sol surcompense largement celui perdu en infrarouges. Le bilan radiatif est excédentaire : la température augmente. La couche d'atmosphère à proximité du sol chauffe. Cet apport d'énergie peut se propager encore plus haut dans l'atmosphère grâce à la convection qui sera plus ou moins importante en fonction du type de la masse d'air. La situation est particulière pour le cas des sols enneigés, le rayonnement solaire étant réfléchi en grande partie du fait de l'albedo de la neige.

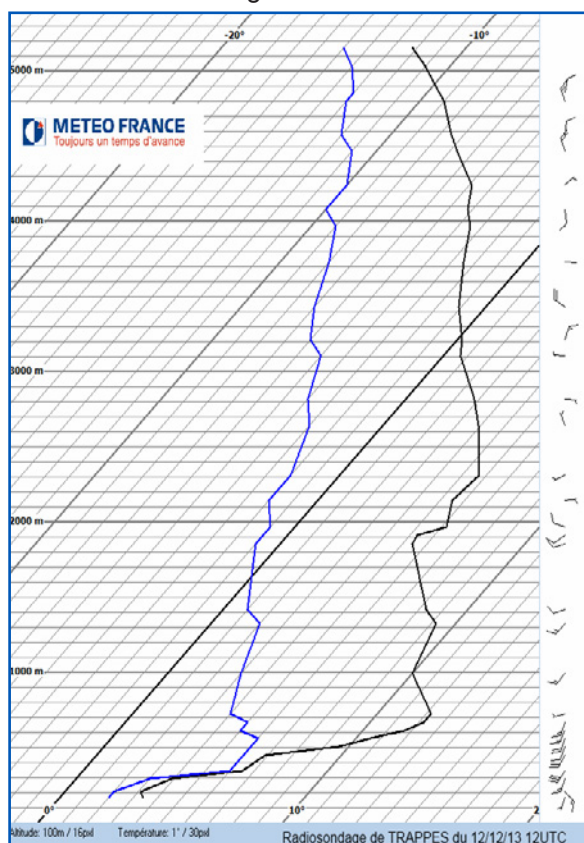


Figure 5 :
Radiosondages de Trappes du 12 décembre
(12UTC).
Trappes radiosounding of 12th December 2013
(12UTC).

Le 14 à 00UTC, le front froid passe sur la région parisienne, le radiosondage très saturé de Trappes est caractéristique du passage d'un corps pluvieux. Ce front froid permet, via un processus de lessivage, de nettoyer l'atmosphère des particules accumulées les jours précédents et met fin à la situation d'inversion de subsidence qui empêchait un bon brassage vertical de l'air.

Le radiosondage du 14 à 12UTC (Figure 6) illustre un retour à des caractéristiques météorologiques non propices à un pic de pollution : on retrouve une masse d'air avec un pied légèrement convectif et un vent d'ouest bien établi en surface. La masse d'air polluée a été ainsi lessivée et purgée.

Rétro-trajectoires⁵

Le vent étant faible, la pollution des 9 et 10 décembre est une pollution locale, sans apports extérieurs avec un ensemble de rétro-trajectoires restant proches de la zone finale (Paris dans ce cas présent) et ceci durant une période de 24 h.

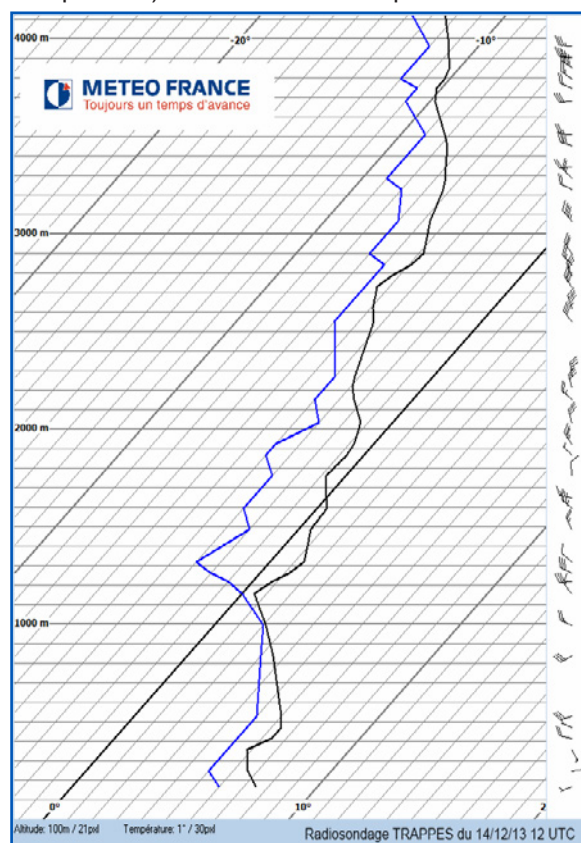


Figure 6.
Radiosondages de Trappes du 14 décembre
(12UTC).
Trappes radiosounding of 14th December 2013
(12UTC).

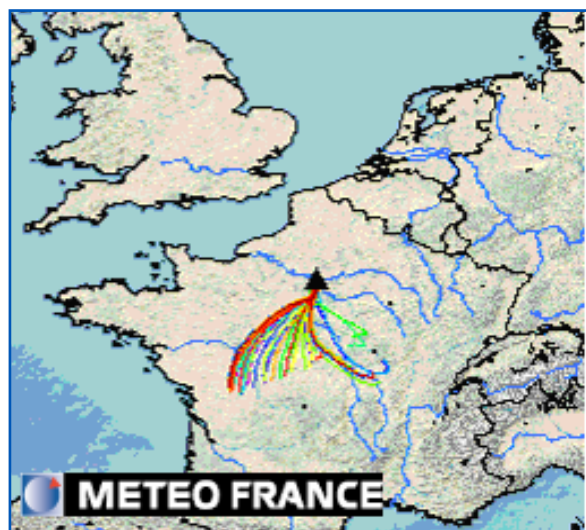


Figure 7.

Rétro-trajectoire du 10 décembre sur les 24 dernières heures.

Retro trajectory of 10th December 2013 on the previous 24 hours.

Les figures 7 à 9 suivantes illustrent bien le caractère avant tout local (ou restant sur un domaine France) de cet épisode de pollution.

Fin de l'épisode

Le vent de sud-ouest des jours suivants ne suffit pas à nettoyer complètement l'atmosphère des aérosols, il faudra attendre le 14 avec le passage d'un front pluvieux pour que l'air soit lessivé et débarrassé des particules en suspension.

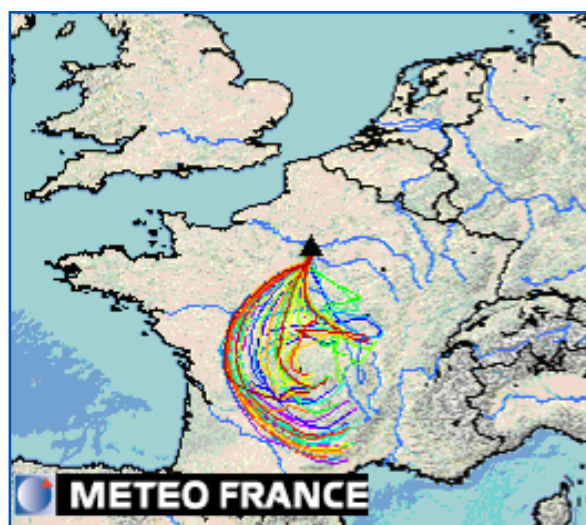


Figure 8.

Rétro-trajectoire du 10 décembre sur 48 h.

Retro trajectory of 10th December 2013 on the previous 48 hours.

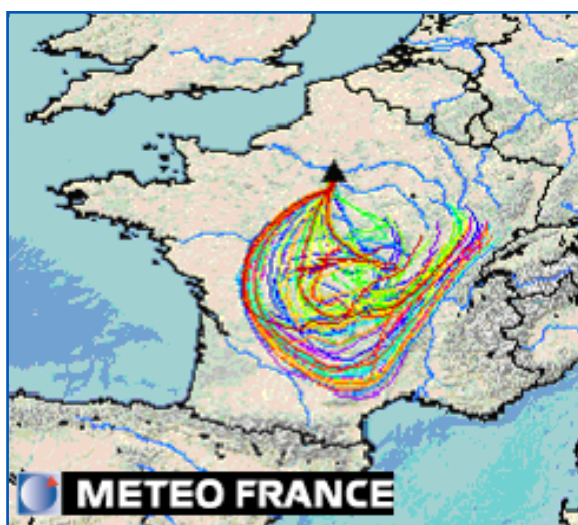


Figure 9.

Rétro-trajectoire du 10 décembre sur 72 h.

Retro trajectory of 10th December 2013 on the previous 72 hours.

Épisode du 11 au 14 mars 2014 : alerte aux PM₁₀

Le second épisode analysé ici est celui du 11 au 14 mars 2014, à savoir un épisode de pollution aux particules PM₁₀ avec des niveaux de concentrations de particules très élevés, en particulier sur les métropoles et le couloir rhodanien.

Description du contexte synoptique pour la période du 11 au 17 mars

De la même manière que pour l'épisode de décembre, une cellule anticyclonique se positionne progressivement sur le Nord de l'Europe les 11 et 12 mars. Comme le montre la figure 10, un flux de nord-est se met alors en place sur le Nord de la France.

Une partie de la pollution constatée sur le Nord de la France est due à l'import de polluants *via* ce flux de nord-est.

Les 13 et 14, la cellule anticyclonique se décale sur les îles britanniques puis le proche atlantique le 14. On peut noter la particularité, pour les 13 et 14, d'une absence de gradient sur le pays et donc des vents très faibles. Les conditions sont donc réunies pour un défaut de brassage/lessivage de l'air, une accumulation des polluants au niveau des zones d'émissions (ou leur transformation en aérosols secondaires)

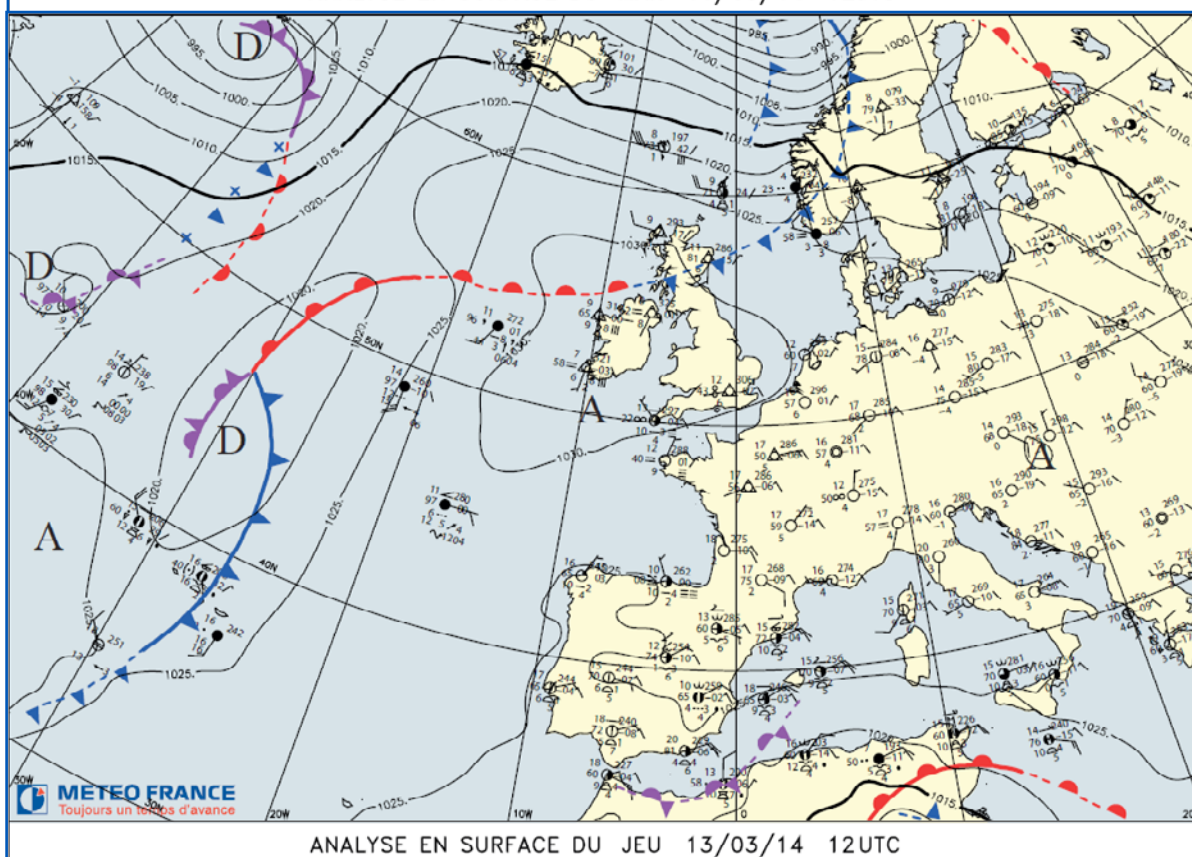
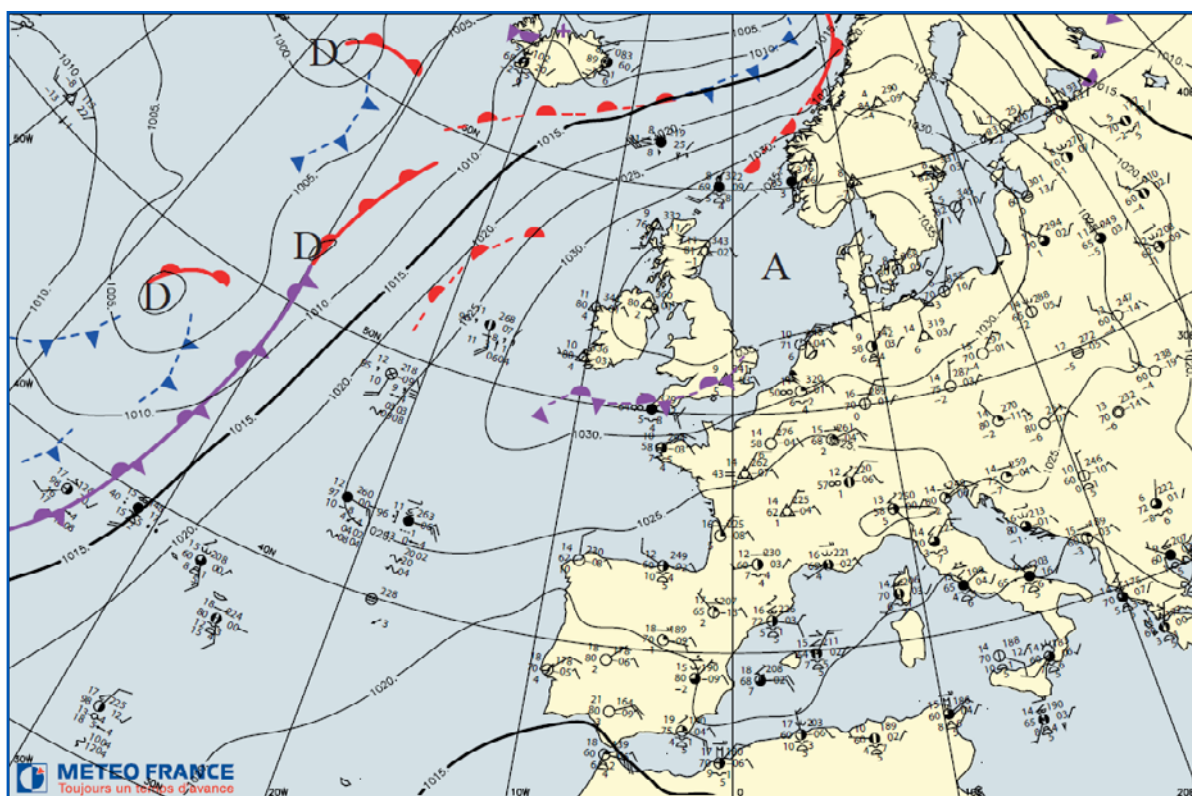


Figure 10.

Situation météorologique des 11 et 13 mars 2014.

Weather condition, 11th and 13th March 2014.

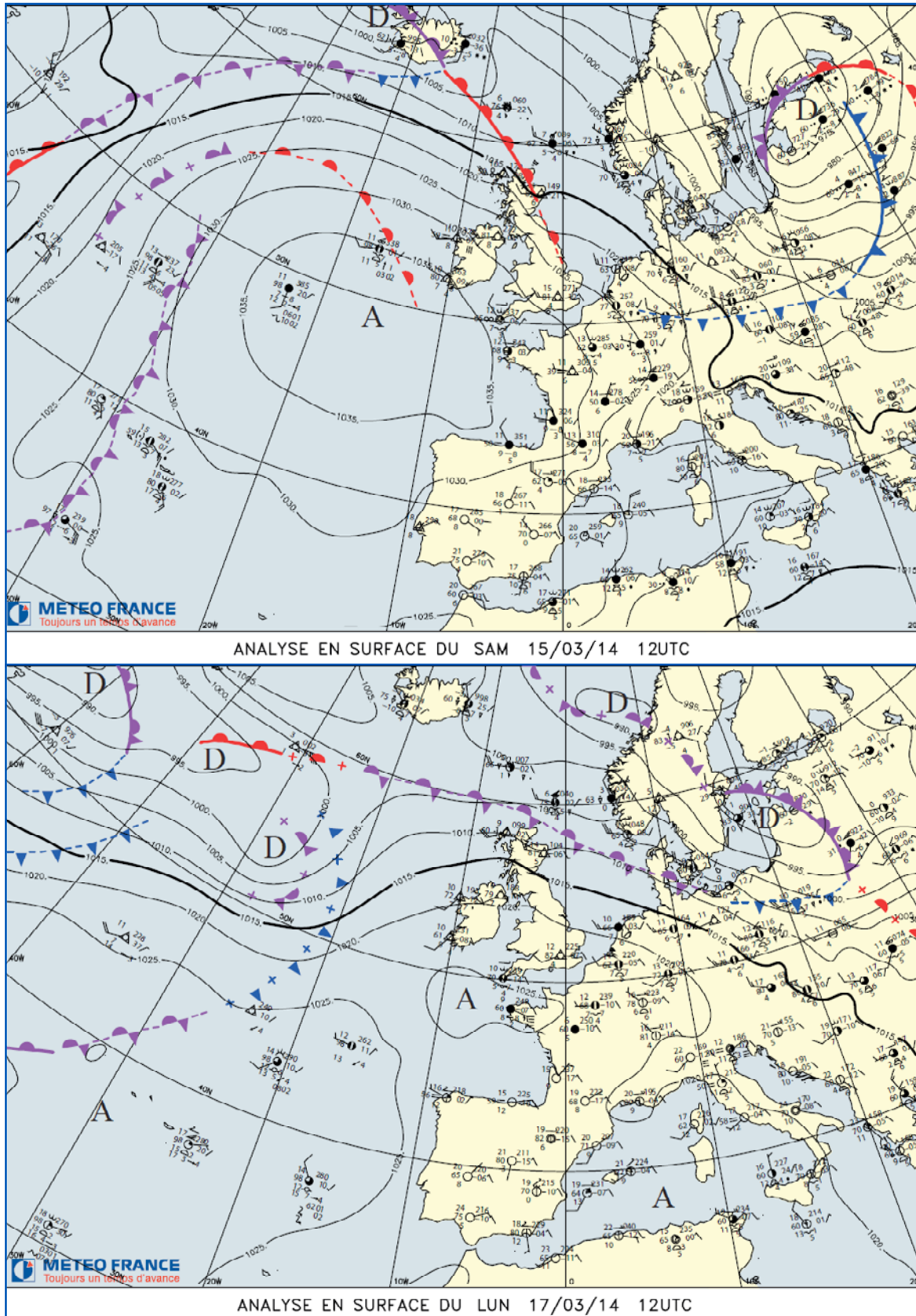


Figure 11.

Situation météorologique des 15 au 17 mars 2014.
 Weather condition, 15th and 17th March 2014.

et une conservation des polluants apportés par le flux des jours précédents.

À partir du 15 mars (cf. figure 11), la France est soumise à un flux de nord-ouest faible mais durable puisqu'il se poursuit les 16 et 17. Ce flux suffit à nettoyer l'air en surface et à faire passer les concentrations de PM_{10} en dessous des seuils d'alerte.

Comme dans le cas précédent, les radiosondages, illustrés dans les figures 12 à 14, indiquent pour le 10, une masse d'air subsidente. En cours de journée, le réchauffement des basses couches et le brassage de l'air lié à l'ensoleillement sont faibles. Le 11, le poids de la couche d'inversion à 500 mètres d'altitude environ ne permet pas suffisamment de diluer les particules.

Le 12, la masse d'air s'est à nouveau « affaissée », avec une inversion de subsidence très basse, qui empêche à nouveau une dilution de la pollution.

Le 13, par contre, en journée, le radiosondage de Trappes de la figure 15 met en évidence une masse d'air propice à de la convection en

thermique pur ; aux heures les plus chaudes de l'après-midi, le mélange peut se faire sur 600 à 700 m d'épaisseur, ce qui contribue à une baisse des concentrations en particules en surface.

Le 14, la masse d'air est à nouveau peu propice aux mélanges sur la verticale. Le 15, finalement, la mise en place d'un flux de nord-ouest et une inversion nocturne importante (vers 1 000 m) permettent de purger la masse d'air des particules accumulées durant l'épisode. Le 17, on retrouve une hauteur de mélange à 800 m sous une inversion marquée, mais le vent de nord-ouest bien établi permet l'advection d'une masse d'air propre et repousse la pollution locale vers le sud-est.

Rétro-trajectoires pour le 14 et le 17 mars 2014

Le 14 mars, les rétro-trajectoires confirment que la région parisienne a été soumise à un flux d'est continental.

Les particules d'air qui ont touché Paris le 14 ont eu, pendant les 24 heures qui ont précédé, un parcours assez court puisque toutes étaient en

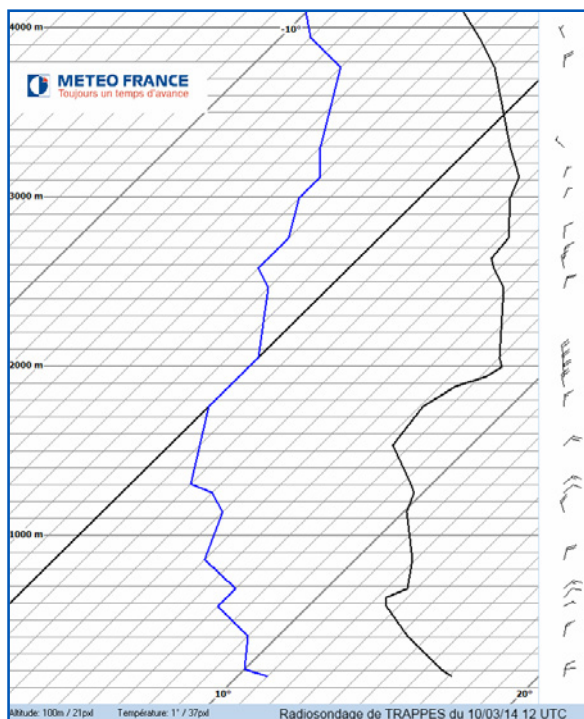


Figure 12.

Radiosondages de Trappes du 10 mars 2014 (12UTC).

Trappes radiosounding of 10th March 2014 (12UTC).

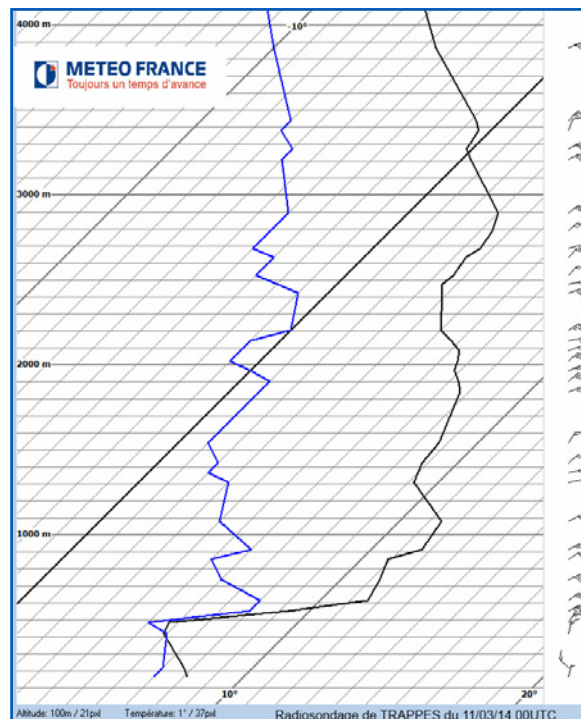


Figure 13.

Radiosondages de Trappes du 11 mars 2014 (00UTC).

Trappes radiosounding of 11th March 2014 (00UTC).

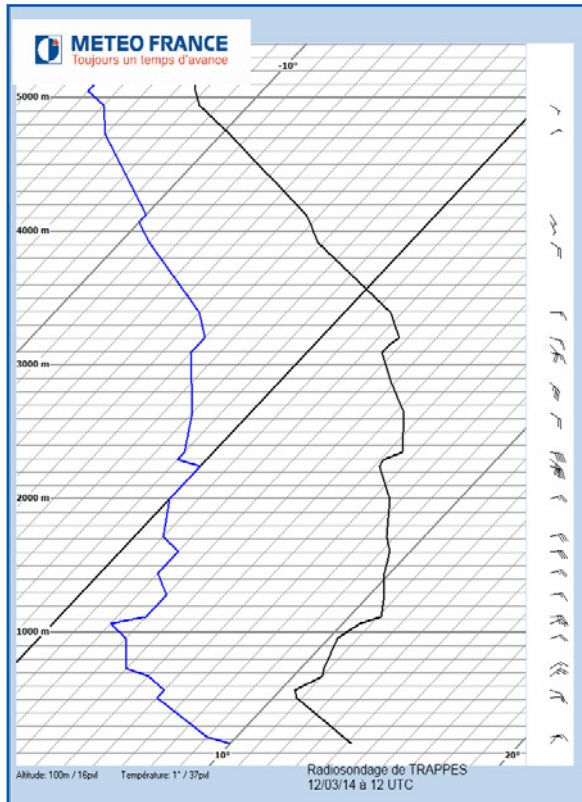


Figure 14.

Radiosondages de Trappes du 12 mars 2014 (12UTC).

Trappes radiosounding of 12th March 2014 (12UTC).

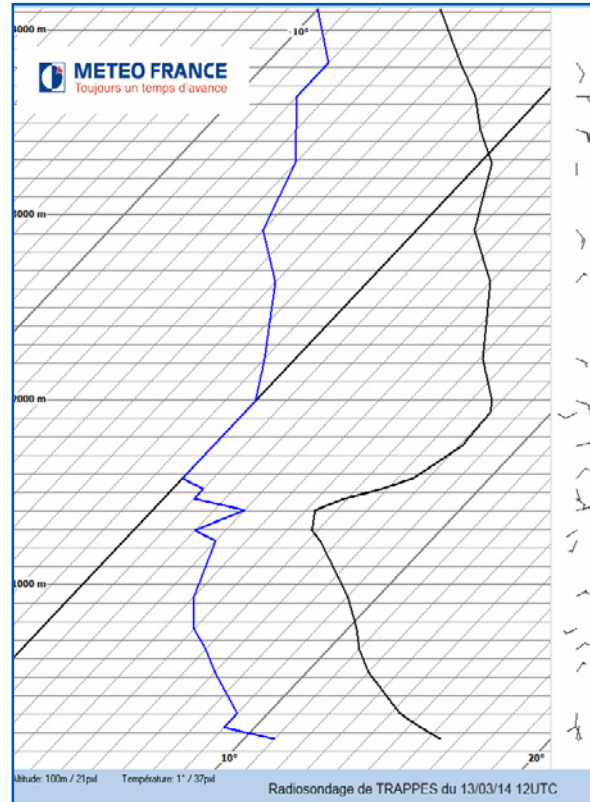


Figure 15.

Radiosondages de Trappes du 13 mars 2014 (12UTC).

Trappes radiosounding of 13th March 2014 (12UTC).

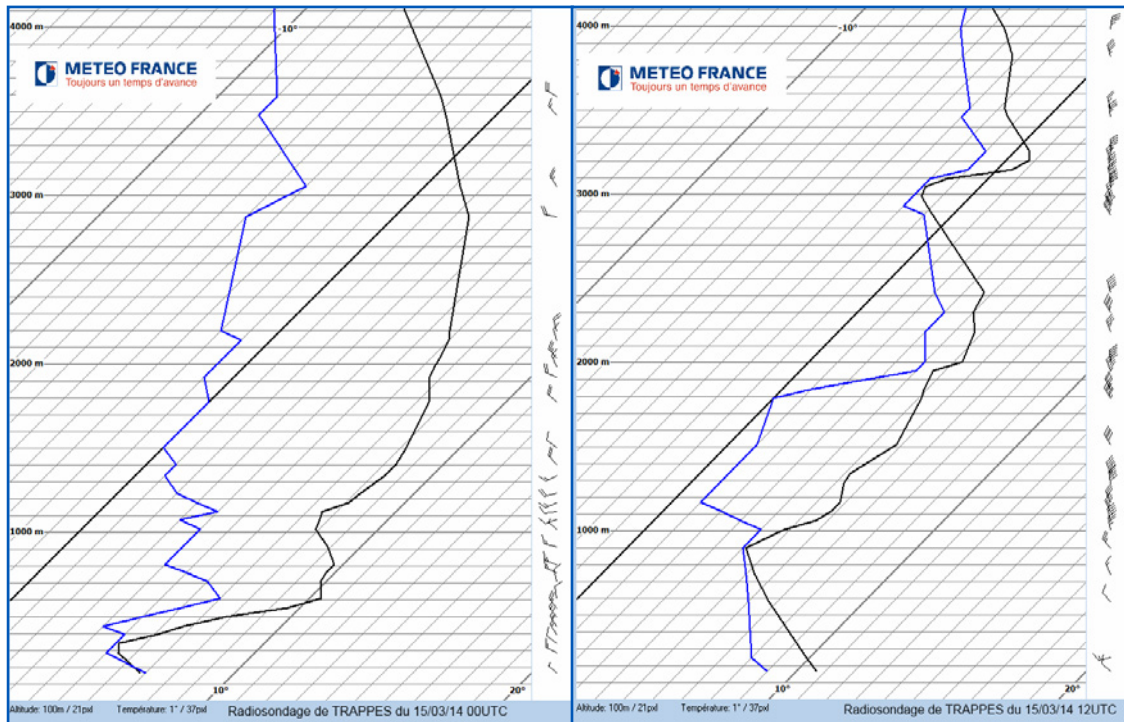


Figure 16.

Radiosondages de Trappes du 15 mars (00UTC à gauche et 12UTC à droite).
Trappes radiosounding of 15th March 2014 (00UTC at left and 12UTC at right).

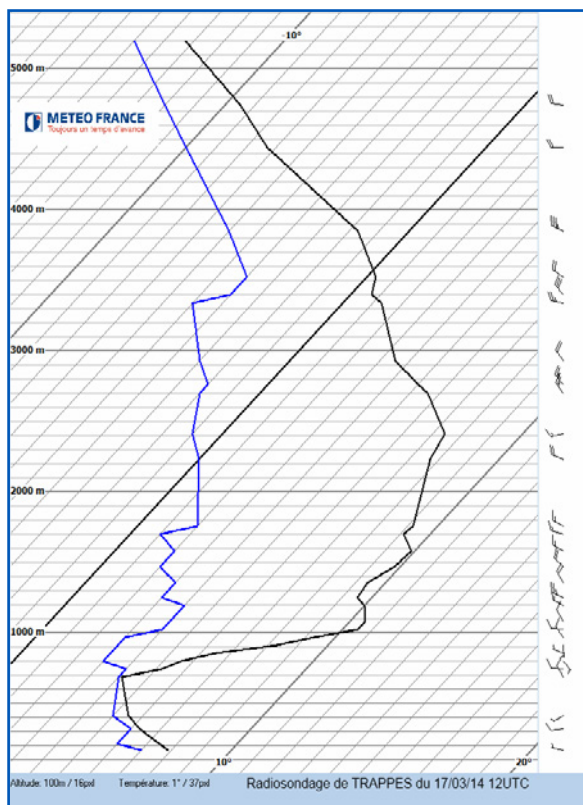


Figure 17.

Radiosondages de Trappes du 17 mars (12UTC).

Trappes radiosounding of 17th March 2014 (12UTC).

France le 13 à 12 h. Plus tôt dans le temps, les calculs à 48 et 72 heures montrent l'origine purement continentale de la masse d'air qui touche Paris le 14, comme illustré dans les figures 18 à 20.

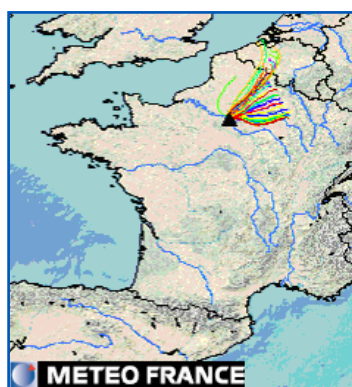


Figure 18.

Retro-trajectoires du 14/03 sur 24 h.

Retro trajectory of 14th March 2014 on the previous 24 hours.

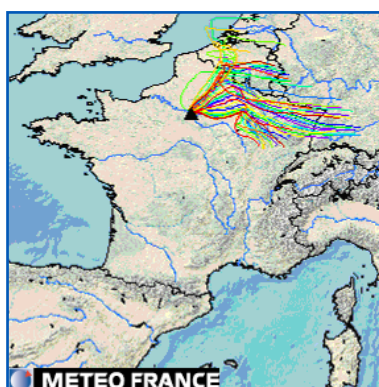


Figure 19.

Retro-trajectoires du 14/03 sur 48 h.

Retro trajectory of 14th March 2014 on the previous 48 hours.

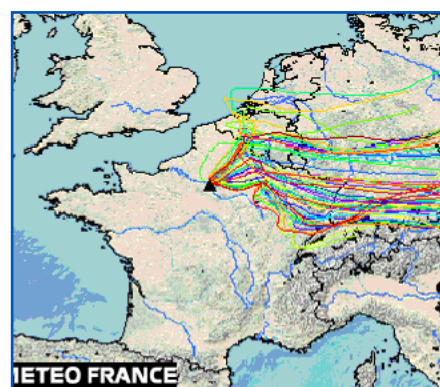


Figure 20.

Retro-trajectoires du 14/03 sur 72 h.

Retro trajectory of 14th March 2014 on the previous 72 hours.

Le 17 mars, la France est soumise à un flux d'ouest-nord-ouest. Les particules d'air ont contourné la cellule anticyclonique positionnée sur la Bretagne et le proche Atlantique par le nord, avant d'arriver en France (voir les figures 21 et 22). Cet air est un « air propre » non chargé en aérosol.

Pour résumer, le 14, le flux permet l'advection d'une masse d'air polluée par un long et assez lent parcours continental dans un contexte anticyclonique (inversion basse), alors que le 17, la masse d'air advectée est au contraire propre car d'origine océanique.

Bilan et Fin de l'épisode

Il ressort de l'analyse météorologique de cet épisode que les conditions météorologiques ne correspondaient pas au « pire cas » de blocage possible, bien que les basses couches aient été très stables et le vent au sol faible. L'ampleur de cet épisode s'explique surtout par l'importance des sources locales ou exogènes (émissions par le trafic routier, apport agricole, transport de polluants d'origine continentale...). La fin de cet épisode est due en grande partie à la mise en place d'un vent de nord-ouest qui a permis la dispersion des polluants accumulés sur la France et l'arrivée de masses d'air moins polluées.



Figure 21.

Retro-trajectoires du 17/03 sur 24 h.

Retro trajectory of 17th March 2014 on the previous 24 hours.

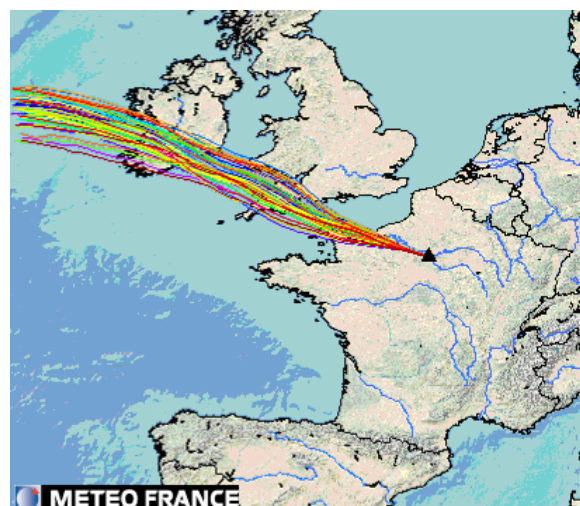


Figure 22.

Retro-trajectoires du 17/03 sur 48 h.

Retro trajectory of 17th March 2014 on the previous 48 hours.

Conclusion

Les éléments présentés ici portent sur deux cas de pollution :

- d'une part, un cas de pollution locale, générée en grande partie par des sources locales (particules primaires ou secondaires) et dont l'ampleur s'explique par une situation météorologique très stable de type anticyclonique ;

- d'autre part, un cas de pollution plus généralisée, avec une situation météorologique moins pénalisante mais avec un apport extérieur important qui va générer le dépassement du seuil d'alerte pour les concentrations en PM_{10} .

L'étude de ces deux situations met en évidence l'importance du facteur météorologique dans la mise en place d'un épisode de pic de pollution et surtout dans la fin de cet épisode. La modification de la situation météorologique (lessivage par la pluie ou dispersion par le vent) favorise le nettoyage de l'air chargé en particules, marquant ainsi souvent la fin des épisodes.

La variété des situations météorologiques qui génèrent les épisodes de pollution doit être prise en compte dans la gestion de ces « pics » de pollution dont l'origine et la nature des polluants sont différents.

1. Direction de la Production, Météo-France.
2. Direction d'Ile-de-France/Centre, Météo-France.
3. Direction Ouest, Météo-France.
4. Un radiosondage est le résultat d'une mesure verticale de l'atmosphère dans la troposphère représentée ici sur un émagramme depuis le sol jusqu'à 4 000 m environ. Les paramètres mesurés sont pression, température, humidité et vent. L'axe des ordonnées de gauche correspond au niveau pression (hpa) avec indication de l'altitude correspondante en m. Les données de vent sont présentées sur la droite.

La courbe noire représente la température de l'air et la courbe bleue celle du thermomètre mouillé, leur écart indique l'humidité de la masse d'air (faible en cas d'écart important).

Une courbe noire inclinée vers la gauche correspond à une masse d'air instable ; inversement, inclinée vers la droite, elle indique une masse d'air stable. La présence d'une inversion de température est matérialisée par une hausse de la température avec l'altitude.

5. Le calcul de rétro-trajectoires consiste à déterminer d'où proviennent les particules retrouvées en un point donné un jour donné. Les calculs se basent sur un modèle météorologique de prévision numérique (ici le modèle Météo-France Arpège 0.5°) et s'attachent à suivre les déplacements d'un grand nombre de particules soumises aux champs de vent issus du modèle de prévision. Ces rétro-trajectoires permettent donc, de manière qualitative, d'estimer l'origine et le trajet des particules à 24, 48 ou 72 heures d'échéance.

Références

- Site Prevoir : <http://www2.prevoir.org/>
- Bilan de la qualité de l'air en France 2012 et principales tendances observées au cours de la période 2000-2012. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Atmospheric dispersion models: An overview

Nicolas MICHELOT,¹ Pierre CARREGA,² Laurence ROUÏL³

Résumé

Cet article présente l'éventail des possibilités techniques en matière de modélisation de la dispersion atmosphérique. Il en ressort qu'il n'est pas si facile de faire un choix parmi les modèles, malgré les grandes lignes directrices. Pour cause, sauf les rares cas d'école rodés et qui fonctionnent en routine, le traitement d'une problématique de modélisation sera perturbé par des biais parfois inévitables. C'est, par exemple, le cas d'une situation qui demande dès le départ de poser une hypothèse simplifiée, faute de données sur un type d'émissions, d'un champ de vent simulé perfectible, d'une rugosité homogène alors que les surfaces sont différentes, etc. Par conséquent, l'utilisation d'un type de modèle plutôt qu'un autre, qui plus est au sein de la même famille, n'aura que peu d'influence sur les simulations finales. Enfin, la modélisation montre qu'elle doit demeurer complémentaire à une information issue de la mesure *in situ* quand cela est possible, car finalement elle seule permet de rendre compte en matière de qualité de l'air réelle.

Mots-clés :

modélisation, pollution atmosphérique, qualité de l'air

Abstract

This article presents the possibilities in modeling of atmospheric dispersion. It shows that it is not so easy to make a choice among the models despite the guidelines. Indeed, except for rare cases of lapped school and work routine, treatment of a modeling problem will be disturbed by sometimes unavoidable elements. This is for example the case of a situation that requires from the beginning to ask a simplified hypothesis for lack of data on a type of emissions, a perfectible simulated wind field, a homogeneous roughness while surfaces are different, etc. Therefore, the use of one type of model over another will have little influence on the final simulations. Finally, the modeling shows that it must remain complementary to information from the ground measure whenever possible, because ultimately alone can account for the air quality.

Keywords :

modelisation, atmospheric pollution, air quality

Introduction

L'un des buts de la modélisation de la dispersion atmosphérique est d'obtenir une estimation cartographiée des concentrations de substances gazeuses ou particulaires dans l'atmosphère, suffisamment précise et représentative des conditions réelles, dans le temps et dans l'espace. Afin d'estimer ces concentrations, des données d'entrée doivent être fournies aux modèles, telles que les variables météorologiques et les émissions, ou encore les conditions aux limites du domaine d'étude. Certaines catégories de modèles de chimie-transport ne produisent pas leurs propres données météorologiques, il faut donc les leur

fournir (de même que les émissions), sur le domaine de modélisation durant la période que l'on souhaite simuler, à partir des modèles numériques météorologiques. On parle généralement de modèles off-line, la météorologie est une donnée d'entrée qui n'est pas influencée par le calcul des concentrations.

Bien que la mesure demeure indispensable, notamment pour valider, comparer et caler les simulations – et surtout puisqu'étant une observation instantanée, elle demeure l'illustration de la « réalité » – elle reste cependant insuffisante pour parvenir à la meilleure description possible de la pollution de l'air dans un domaine élargi ou

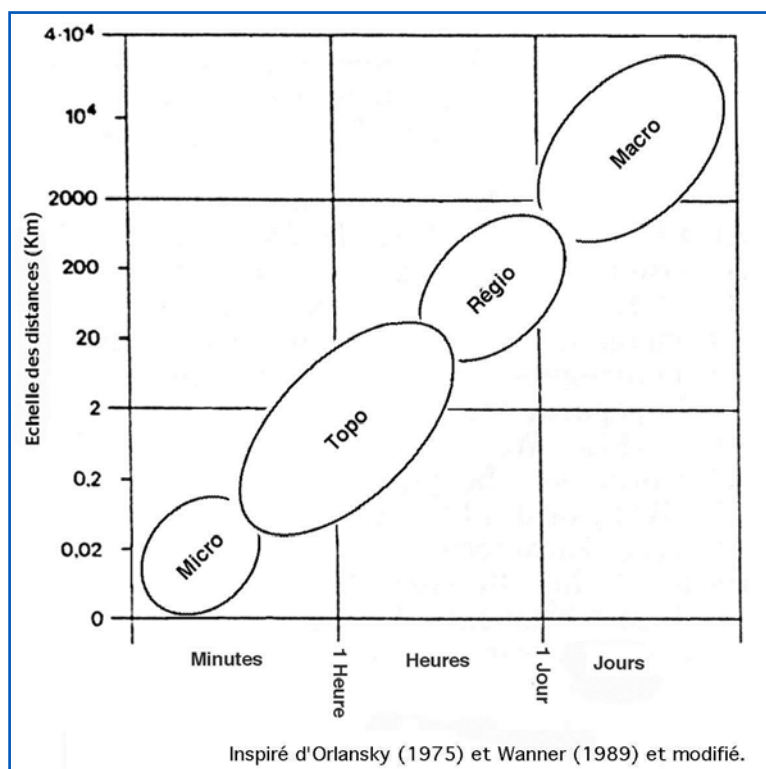


Figure 1.

Croisement des échelles climato-météorologiques spatio-temporelles (d'après Carrega). Importance de l'échelle topoclimatique. [Junction of spatio-temporal and climate-weather scales. Importance of the topoclimatic scale \(from Carrega\).](#)

pour estimer l'exposition d'une population à large échelle. En effet, d'une part, il n'est pas possible de faire des mesures partout et tout le temps, et d'autre part, la mesure ne vaut que pour l'endroit où elle est faite. C'est pourquoi la modélisation présente un intérêt particulier, les équations de chimie et de dispersion atmosphérique de substances polluantes étant résolues en tous points du domaine avec une résolution spatiale laissée au choix de l'utilisateur.

La modélisation permet par exemple :

- d'établir des scénarios à différentes échelles ;
- d'évaluer l'exposition des populations ;
- de définir une stratégie pour des plans de réductions des émissions, et leur évaluation ;
- de suivre une masse d'air polluée par un rejet accidentel ;
- ou bien encore prévoir les pics de pollution dans le cadre de la surveillance réglementaire.

De plus, la modélisation de la qualité de l'air occupe une place importante dans les processus de décisions en matière de pollution atmosphérique et de mise en œuvre de politiques publiques.

Les aspects positifs des modèles sont nombreux et indiscutables. Pour autant, leur usage à des fins très opérationnelles telles que la décision politique ou l'information du public appelle plusieurs questions : quel degré de confiance accorder aux familles de modèles utilisés ? Quel modèle choisir en fonction de la problématique et de l'échelle de travail ? Quelles sont leurs limites ?

Pour répondre à ces questions, cet article de vulgarisation vise à dresser un panorama non exhaustif de la modélisation de la qualité de l'air et de la dispersion atmosphérique de polluants. Les éléments présentés reprennent pour partie ceux développés entre autres dans la thèse de Michelot (2014), et s'appuient sur l'expérience de terrain et de développement des auteurs (Michelot *et al.*, 2013 ; Rouil, 2012 ; Carrega *et al.*, 2010 ; Rouil *et al.*, 2009). Il offre également un regard sans indulgence quant aux écueils que doit éviter l'utilisateur de ces outils.

Classification des modèles selon les échelles

La modélisation de l'environnement atmosphérique se fait à différentes échelles spatiales et temporelles (figure 1) en fonction de la substance polluante et de la thématique étudiée, l'ensemble étant lié.

Par exemple, un pic journalier de pollution urbaine aux particules nécessitera l'utilisation d'un modèle de qualité de l'air urbain, ou bien encore plus finement, l'étude d'une pollution au dioxyde d'azote en rue canyon demandera un modèle « de rue ». À l'inverse, les processus de l'ozone troposphérique seront cernés à l'aide d'un modèle d'échelle globale ou régionale. De la même manière, lorsque l'on travaille à cette échelle, il convient de raisonner sur un temps long, de l'ordre de la semaine à l'année ; tandis qu'à fine échelle, c'est le temps court qui est ciblé, c'est-à-dire de l'heure à quelques jours. D'après Moussiopoulos *et al.* (1996), le tableau 1 résume

Type de pollution	Échelles			
	Globale	Continentale à régionale	Régionale à locale	Locale
Changement climatique	•			
Ozone global	•	•		
Acidification		•		
Brume polluée		•	•	
Qualité de l'air urbain			•	
Polluants industriels			•	•
Accidents chimiques et nucléaires		•	•	•

Tableau 1.
Types de pollution en fonction des échelles spatiales.
Types of pollution depending on spatial scales.

les types de pollution en fonction des échelles spatiales.

Les outils de modélisation à différentes échelles sont nécessaires afin, par exemple, de mieux comprendre les processus physico-chimiques à l'origine de la pollution atmosphérique d'ordre globale, mais aussi pour prévoir les pics de pollution, comme le fait le système PREV'AIR⁴ depuis 2003 (Rouil *et al.*, 2009). Celui-ci permet la simulation de polluants gazeux et particulaires à l'échelle du continent européen (50 km de résolution) et de la France (jusqu'à une résolution de 5 km). Localement, ces données sont utilisées par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) comme conditions aux limites et intégrées aux modèles locaux de qualité de l'air urbain (figure 2).

Les différents types de modèles de dispersion atmosphérique

Pour modéliser un phénomène, il est possible de différencier deux types d'approches : la modélisation statistique (empirique) et la modélisation déterministe (physique). La première approche emploie un panel de données décrivant les

variables déterminantes du système (mesures des concentrations, estimation des émissions, observations météorologiques...) dans une équation de type régression linéaire (ou délinéarisée), sans faire intervenir les équations chimiques et physiques d'évolution du milieu.

La seconde approche, abordée ci-après, repose sur la formulation des mécanismes physiques, chimiques et sur la résolution numérique des équations, basées sur les lois physiques (lois de la thermodynamique, mécanique des fluides, etc.). Elles régissent les mécanismes commandant le phénomène en question. Le développement de ces modèles nécessite donc une compréhension la plus détaillée possible des processus impliqués. Dans le cas d'un polluant tel que les particules, qui plus est dans un environnement topographique marqué et aussi à proximité immédiate des sources, les processus physiques impliqués sont à la fois d'une grande complexité et non complètement connus.

Par exemple, la littérature fait largement état des limites des modèles actuels d'aérosols pour simuler la formation de composés organiques secondaires, sujet qui fait en conséquence l'objet de nombreuses recherches actuelles. Il n'en demeure pas moins qu'à l'heure actuelle, les modèles purement déterministes offrent des résultats pertinents pour les décideurs, à condi-

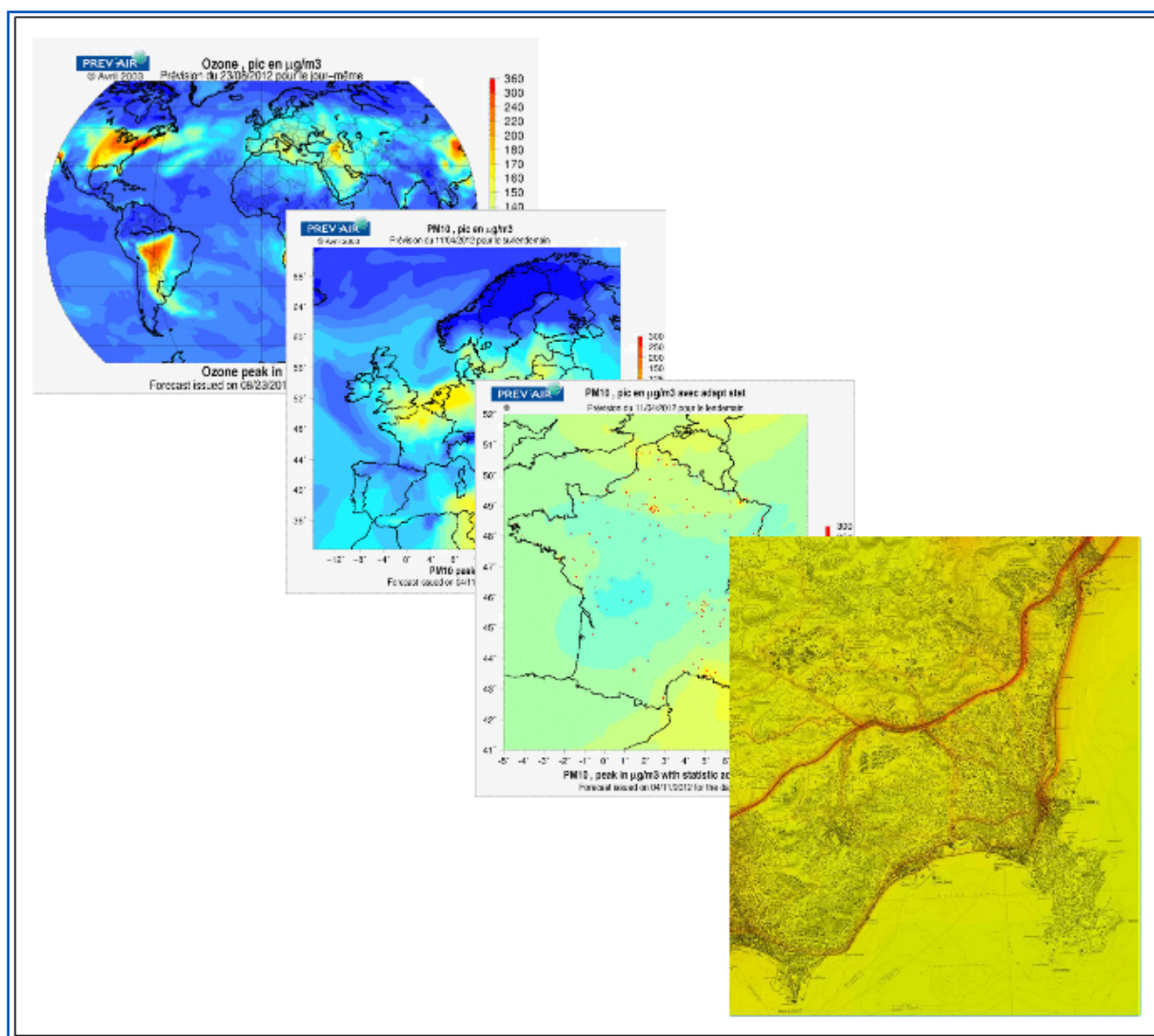


Figure 2.

Les différentes échelles de modélisation de la qualité de l'air. Du global au local (source : d'après Rouil, 2012).

Different air quality modeling scales. From global to local.

tion de bien cerner les limites et de procéder à des évaluations régulières de leurs performances. Les deux approches « déterministes » et « statistiques » se résument dans le tableau 2.

Les modèles déterministes se classent eux aussi en trois catégories selon leur approche de calcul : il s'agit des modèles eulériens, lagrangiens, et gaussiens. De manière simplifiée, ces modèles demandent différents jeux de données en entrée (sources de pollution, géographie, météorologie, etc.). Ils résolvent les équations gouvernant les phénomènes atmosphériques, restituent une cartographie des champs de polluants et établissent des prévisions. Ils produisent également des données séquentielles

des concentrations de polluants.

L'approche eulérienne et lagrangienne

L'approche eulérienne décrit la distribution d'une substance ou d'une molécule, dans un système fixe, en fonction des caractéristiques de celui-ci (le fluide « air » en l'occurrence)⁵. Le principe de l'approche lagrangienne consiste à suivre une substance émise à la source⁶. Autrement dit, cela revient à étudier le système en mouvement.

Les modèles eulériens discrétisent en 3D l'atmosphère par mailles (c'est-à-dire un référentiel fixe). Ils sont aussi appelés modèles de

Modèles déterministes	Modèles statistiques
<p><i>Principe :</i></p> <p>On suppose que l'on connaît les lois, et on suit l'évolution des variables dans le temps.</p>	<p><i>Principe :</i></p> <p>Recherche de relations statistiques entre variables prédictives (ou explicatives) d'inspiration physique, et la variable à prédire.</p>
<p><i>Avantages :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Par nature extrapolables. - Spatialisation de la prévision. - Universalité de la démarche. 	<p><i>Avantages :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Prévision rapide et généralement satisfaisante. - Mise en œuvre plus « simple », sans intégration des lois physiques et chimiques régissant le phénomène.
<p><i>Inconvénients :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Quantité, qualité et diversité des données à fournir au modèle (émissions, champs de vents, conditions aux limites, topographie...). - À l'heure actuelle, difficulté de descendre à des échelles très fines (locales) et dans des environnements topographiques marqués (fortes pentes). - Lois régissant les phénomènes différentes à ces échelles, aujourd'hui encore mal connues. 	<p><i>Inconvénients :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Nécessitent une base de données bien documentée. - Apportent peu d'informations explicatives (boîte noire). - plus difficilement extrapolables pour des analyses prospectives (utilisation dans le domaine déjà observé).

Tableau 2.

Les différents types de modèles.

[Several air quality models.](#)

grille. Préalablement, ces modèles calculent les paramètres atmosphériques (modèles de mécaniques des fluides, dits CFD pour *Computational Fluid Dynamics*, comme : FLUENT, MERCURE, etc.) et météorologiques (modèles : WRF, RAMS, MM5, etc.). Puis ils calculent « les concentrations de polluants inertes et réactifs en simulant les différents processus physico-chimiques intervenant dans l'atmosphère » (Schadkowski, 2002), et ce pour chaque cellule de la grille (modèles : CHIMERE, CALGRID, ROME, etc.).

Les modèles lagrangiens sont également appelés modèles de trajectoire (ou de panache) car ils résolvent un système d'équations dans un repère lié au déplacement d'une colonne d'air dans la trajectoire d'un panache. La colonne d'air se déplace en fonction des conditions météorologiques (généralement pré-calculées ou mesurées, à la différence des modèles eulériens) en prenant en compte des processus de transfor-

mation simples, comme des réactions chimiques linéaires et de dépôt.

Ces deux types de modèles présentent les avantages d'une résolution complète des équations, d'une modélisation précise de la turbulence et d'une prise en compte de phénomènes complexes (modélisation de proximité, relief accentué, météorologie particulière ou complexe, etc.). Si les mailles d'étude sont fines, alors ces modèles offrent une meilleure représentation de la physique, pour peu qu'elle soit compatible avec le choix des équations paramétrées dans le modèle. Ainsi, les principaux inconvénients résident essentiellement dans le fait que les échelles spatiales sont souvent limitées. Par exemple, les modèles lagrangiens ne représentent qu'une surface bornée puisqu'ils considèrent un couloir, ou bien, les modèles eulériens utilisent un CFD en atmosphère libre pour une maille. Les temps de calculs dépendent de la complexité du modèle

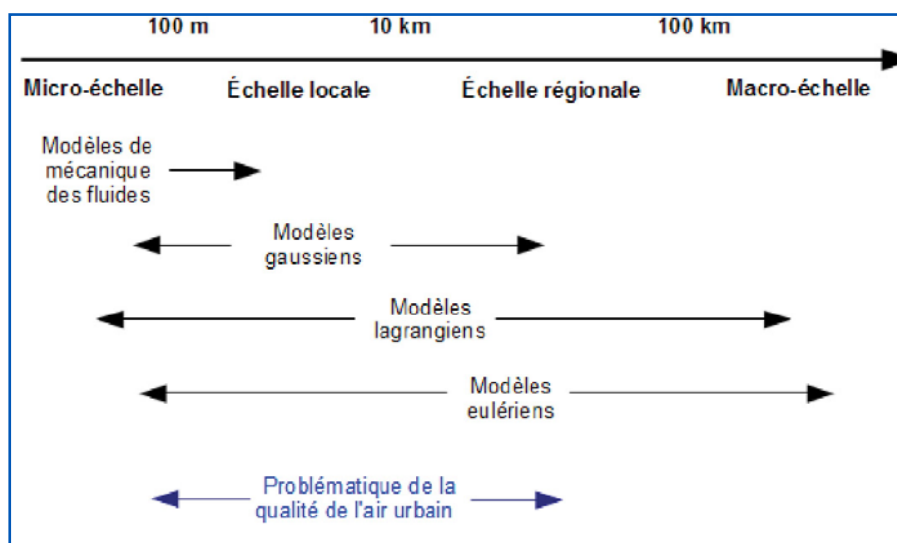


Figure 3.

Application de différents modèles en fonction de l'échelle spatiale (source : d'après Numtech).

[Application of different models depending on the spatial scale.](#)

utilisé, de la résolution spatio-temporelle choisie par l'utilisateur, et des moyens de calculs mis en œuvre. Généralement, les modèles 3D requièrent des super-calculateurs et du calcul parallèle sur plusieurs processeurs, ce qui ne les rendent pas aisément accessibles. Aussi, ces modèles associent généralement plusieurs modèles (modèle météorologique associé à un modèle de dispersion) qu'il faut maîtriser. En outre, ces modèles sont très sensibles aux diverses paramétrisations et données fournies en entrée.

Finalement, les modèles eulériens et lagrangiens demandent des connaissances d'utilisation et de conception très précises. C'est pourquoi ils sont réservés aux experts et plutôt utilisés pour l'étude de scénarios que pour les risques chroniques de pollution atmosphérique urbaine à l'échelle locale.

L'approche gaussienne

Les modèles gaussiens (ADMS, AERMOD, ARIA Impact, etc.) sont les plus utilisés pour modéliser la qualité de l'air près des zones proches des sources de pollution. Le principe standard de la dispersion atmosphérique gaussienne repose sur une description mathématique simplifiée des équations de dispersion d'une substance dans l'air. À la base, la substance se disperse par la seule action du fluide qui la porte, l'air. Puis le transport et la diffusion vont intervenir par l'action du vent et de la turbulence mécanique et thermique. En d'autres termes, ce type de

modèle considère qu'une émission ponctuelle (un panache) se disperse en largeur, d'autant plus que la direction du vent varie (fort écart type), et en hauteur, d'autant plus que l'air est instable. La finalité de ces équations consiste à déterminer les concentrations de ladite substance en fonction de paramètres déterminant comme les émissions, les conditions météorologiques, ou encore d'autres paramètres liés à la surface terrestre (rugosité et occupation du sol, par exemple).

Généralement, un processeur météorologique est intégré aux modèles gaussiens, ce qui en fait un seul logiciel, relativement plus facile à exploiter.

« Cette approche gaussienne, très peu coûteuse en temps de calcul, permet de multiplier le nombre de simulations réalisées et de disposer de moyennes et de statistiques établies sur des bases météorologiques annuelles ou pluri-annuelles. En contrepartie, les paramétrages des équations sont simples, ce qui conduit à des approximations parfois rudimentaires de cas particuliers, tels que l'effet du relief ou des bâtiments, qui peuvent avoir une influence non négligeable sur la dispersion, surtout à petite échelle. Cependant, des progrès considérables ont été faits pour adjoindre des modules supplémentaires aux modèles actuellement développés, afin de prendre en compte le plus possible ces situations particulières, même si cela est fait de façon paramétrique » (Daniau *et al.*, 2010).

L'approche gaussienne de panache est dite « basique » car elle lisse la réalité et considère qu'il y a une situation météorologique pour chaque heure (stationnarité). La majorité des modèles gaussiens gèrent aujourd'hui une approche plus complexe où la réflexion d'un panache est traitée au sommet de la couche limite atmosphérique, et en cas d'instabilité de la masse d'air, la distribution des concentrations n'est plus gaussienne sur l'axe z (altitude).

Les modèles gaussiens récents peuvent aussi intégrer des données météorologiques complexes (profils verticaux, sorties de modèles météorologiques ou CFD, mesures de terrain), prendre en compte des situations particulières comme les reliefs ou les rues canyons grâce à des modules spécifiques.

Comment choisir le bon modèle ?

Pour choisir le modèle qui sera adapté à sa problématique et à l'application voulue (recherche, risque industriel, qualité de l'air urbain, transport de pollution longue distance), il convient de combiner plusieurs critères de sélection. Les principaux sont les suivants :

- l'échelle spatiale (figure 3) ;

- l'échelle temporelle (figure 4) ;

- la complexité du site : a-t-on affaire à un paysage plus ou moins hétérogène ? Le relief est-il marqué (cuvette, vallée, gorges, fortes pentes) ? L'occupation des sols varie-t-elle (forêt, prairie, surface goudronnée) ? Y a-t-il présence de nombreux bâtiments alignés (rue canyon) ou d'un obstacle particulier (remblai d'une voie ferrée) ? ;

- les types de polluants : est-il question de gaz ou particules, de polluants primaires ou secondaires qui résultent de réactions chimiques plus ou moins complexes ? ;

- la nature des sources : sont-elles ponctuelles (four d'une cimenterie), routières ou diffuses (habitat) ? ou – généralement – multiples ?

Les limites de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Malgré les importantes avancées en matière de modélisation de la dispersion atmosphérique, certains schémas réactionnels et aspects physiques ne sont pas encore tous bien connus. Concernant les schémas réactionnels chimiques, il faut pouvoir les exploiter de manière mathéma-

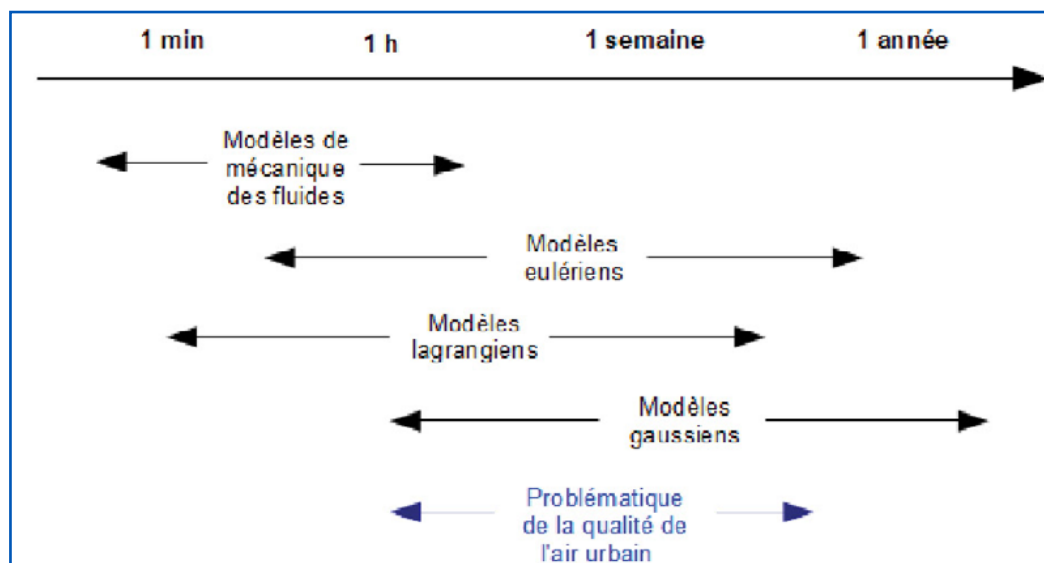


Figure 4.

Application de différents modèles en fonction de l'échelle temporelle (source : adapté d'après Numtech).

Application of different models depending on the temporal scale.

tique quand ils sont connus, ou donner les conditions initiales des sources (émissions biotiques difficiles à déterminer, par exemple). La remise en suspension des particules est un aspect physique de la modélisation de la dispersion atmosphérique compliqué à traiter. Il est aujourd'hui difficile de savoir comment cela fonctionne exactement : quelle quantité concernée, et jusqu'où vont-elles une fois soulevées ? D'autres sources, comme les brûlages de déchets verts, ne sont pas connues. Cela explique que des inventaires ne les intègrent pas. Par conséquent, la modélisation ne peut les estimer.

Les incertitudes des résultats modélisés peuvent être significatives. Elles dépendent à la fois :

- des données d'entrée (*cf.* ci-dessus pour les inventaires, mais aussi les données météorologiques, etc.) – plus que du modèle en lui-même à vrai dire – : selon l'échelle spatiale, les données observées en un point (vent, humidité, température, etc.) ne sont pas forcément représentatives des environs, et celles issues d'une modélisation peuvent l'être encore moins... Or plus l'état initial dans la chaîne des calculs est erroné, plus les erreurs vont devenir rédhibitoires du fait de la non-linéarité des processus ;

- des résolutions spatiales et temporelles : un modèle numérique de terrain adapté à l'échelle de travail est obligatoire, or plus il est fin, plus le temps de calcul s'accroît pour une même surface, et plus il est grossier (topographie trop « filtrée »), plus la simplification du relief engendrera des erreurs ;

- du recours parfois obligé à des hypothèses simplificatrices par manque de données, en particulier sur l'épaisseur de la couche-limite, et sur la plus ou moins grande stabilité verticale de l'air ;

- et aussi, voire surtout, du savoir-faire de l'utilisateur.

À propos de l'utilisateur, il ne doit pas sous-estimer la technicité du paramétrage. En clair, il devra faire des choix dans les modules que propose son modèle le cas échéant. Ces choix, qui interagissent, doivent être compris, ce qui est loin d'être une formalité, d'autant que l'environnement de certains logiciels « package/reste à cliquer » est à la fois « rassurant et dangereux », et en même temps ne prédispose pas l'utilisateur à faire cette démarche de réflexion. C'est un écueil

des logiciels « clés en main » que l'utilisateur se doit d'éviter. Au bout du compte, l'utilisateur ira vers la meilleure hypothèse en fonction de la problématique et de l'échelle du domaine. Il convient de rajouter que de bons codes mal utilisés fourniront de mauvais résultats. Inversement, des codes simples mais bien paramétrés donneront des résultats relativement satisfaisants.

Quant à l'échelle spatiale, elle doit être représentative de la phénoménologie étudiée, et il est parfois compliqué de simuler simultanément des phénomènes de grande échelle (transport des polluants à longue distance ou certaines réactions chimiques) et des phénomènes très locaux qui créent des gradients de concentrations importants (proximité des sources ou influence locale forte de la topographie ou du bâti). Il convient donc de choisir la résolution appropriée et de s'appuyer sur des données d'observations (pour le calage des modèles, par exemple) également représentatives de ce que l'on souhaite simuler. Ainsi, il serait absurde d'utiliser des données issues de stations « trafic » pour évaluer ou caler un modèle utilisé à l'échelle régionale. Mais cela signifie que dans certains cas la cartographie simulée des champs de pollution aux particules offre pour une part conséquente du territoire étudié une information globale et teintée d'incertitudes. Il n'empêche qu'elle a le mérite indéniable d'exister et d'être en constante amélioration.

Conclusion

Malgré l'apport riche et incontestable des modèles de qualité de l'air, quelques mises en garde s'imposent. La modélisation de la dispersion atmosphérique reste une approximation spatio-temporelle des champs de polluants. Autrement dit, les concentrations moyennes estimées ne valent que pour un mélange parfait dans chaque maille, ce qui n'est jamais le cas dans la réalité. En outre, il n'existe évidemment pas de modèle unique adapté à toutes les situations. Même si des catégories de modèles se démarquent pour certaines applications, il reste difficile de recommander un type de modèle plutôt qu'un autre. En effet, chacun trouvera le modèle qu'il lui convient en fonction de ses objectifs, des problématiques à traiter, des échelles de travail, du temps et des moyens financiers et techniques disponibles, et surtout de son expertise en la matière.

Du reste, un logiciel de dispersion est habituellement composé de plusieurs modèles ou

modules, plus ou moins performants, parfois optionnels, dont les performances peuvent dépendre de celles des autres modules (calculs météorologiques en amont, par exemple). Ainsi, les performances dépendent sensiblement de la qualité des données d'entrée et de la configuration réalisée par l'utilisateur.

Finalement, la somme de ces éléments montre que la modélisation doit être considérée comme un outil complémentaire à la mesure (qu'elle soit

pour les substances polluantes ou pour la météorologie) et non comme une alternative. Toutefois, force est de reconnaître son indispensable recours pour travailler sur des exercices tendancielles, établir des champs de concentrations en routine, faire des prévisions en termes de gestion des pics de pollution ; mais aussi tout simplement parce qu'il est impossible techniquement et financièrement de mesurer la qualité de l'air en tout point du territoire. D'ailleurs cela n'a pas de sens non plus.

1. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. Direction générale de l'énergie et du climat. Bureau de la qualité de l'air. Tour Séquoia, 92055 La Défense cedex – France. nicolas.michelot@developpement-durable.gouv.fr
2. Université de Nice Sophia-Antipolis, équipe Gestion et Valorisation de l'Environnement (GVE). UMR 7300 ESPACE CNRS. 98 Bd Herriot, 06204 Nice Cedex 3 – France. pierre.carrega@unice.fr
3. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS). Parc Technologique ALATA, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte – France. laurence.rouil@ineris.fr
4. <http://www2.prevoir.org/>
5. Par exemple : le déplacement d'un usager du métro dans la rame, en mouvement.
6. Par exemple : le déplacement d'une rame de métro par rapport à sa station de départ.

Références

- Carrega P, Martin N, Yohia Ch. (2010). Ozone et flux d'air dans l'arrière-pays niçois : mesures et modélisation à fine échelle spatiale durant un épisode estival (le 10 août 2006). *Pollution atmosphérique*, n° 207, p. 297-313.
- Carrega P, Yohia C. (2010). Influence des effets d'échelle de la prise en compte du relief sur les écoulements de l'air et les précipitations. Exemples dans les modèles météorologiques GFS, MM5 et RAMS. Actes des Journées de Climatologie de Besançon, mars 2009. [En ligne] : http://umrespace.unice.fr/public_html/umr/spip/IMG/pdf/2009_4_PC_cd.pdf
- Daniau C, Thébaud A, Malherbe L *et al.* (2010). Comparaison de deux modèles gaussiens de dispersion atmosphérique – ADMS et ARIA Impact. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 76 p. [En ligne] : www.invs.sante.fr
- Michelot N, (2014). L'influence des topo-climats sur la pollution de l'air aux particules dans le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes. Thèse de Doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis, 416 p.
- Michelot N, Pesin C, Carrega P. (2013). Modélisation de la dispersion atmosphérique des PM10 dans une vallée de l'arrière-pays cannois. *Pollution atmosphérique*, n° 220. [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=2528>.
- Moussiopoulos N, Berge E, Bøhler T *et al.* (1996). Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models. Report of the European Topic Centre on Air quality to the European Environment Agency, 94 p.
- Rouil L. (2012). Les modèles régionaux et les modèles urbains : nouveaux outils d'aide à la décision. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 119-121.
- Rouil L, Honoré C, Vautard R *et al.* (2009). PREV'AIR. An operational forecasting and mapping system for air quality in Europe. *Bulletin of American Meteorological Society*, vol. 90, n° 1, p. 73-83.
- Schadkowski C. (2002). Introduction à la modélisation de la qualité de l'air. *Air Pur*, n° 62, p. 5-8

Épisodes de pollution particulaire en France : quels enseignements tirer des récents épisodes ?

Particulate air pollution episodes in France: lessons learnt from recent episodes

Laurence ROUÏL, Bertrand BESSAGNET, Olivier FAVEZ, Eva LEOZ- GARZIANDIA,

Frédéric MELEUX

Institut de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS)

Résumé

Les niveaux de pollution particulaire en Europe et en France restent assez largement influencés par des situations d'épisodes durant lesquelles les concentrations peuvent atteindre des valeurs très élevées. Même s'il n'existe pas de seuils en dessous desquels la nocivité des impacts sanitaires de la pollution particulaire serait amoindrie, il est intéressant d'investiguer les causes des épisodes de pollution de façon à mieux en cerner les facteurs déterminants et concevoir les stratégies de gestion les plus appropriées. Ils sont liés aux émissions, à la météorologie, aux caractéristiques de site, aux imports longue distance. L'analyse et la simulation des épisodes récents de pollution particulaire ont permis d'affiner notre connaissance et de définir une typologie des épisodes en fonction de la période et des zones géographiques concernées. Cette analyse est présentée dans cet article qui s'appuie sur les travaux de surveillance et de prévision de la qualité de l'air menés en France depuis plusieurs années. Ils mettent en évidence la nécessité de promouvoir deux aspects stratégiques de la gestion des épisodes de pollution : l'anticipation de l'action, rendue possible avec les systèmes de prévision, et l'action conjointe sur les différentes sources aux différents niveaux géographiques.

Mots-clés :

particules, épisode de pollution, contribution transfrontalière, attribution de sources.

Abstract

Particulate air pollution in Europe and in France is largely influenced by episode situations, when concentrations reach potentially high values. Even if there is no health threshold below which no harmful impact occurs, it is interesting to investigate causes of particulate air pollution episodes, to highlight main drivers and support the development of most appropriate air pollution control strategies. Those drivers rely on emissions, meteorology, site characteristics, and long range transport. Analysis and simulation of the most recent episodes allowed better understanding of air pollution according to the period of the year and the location. Such results are presented in this paper which refers to air quality monitoring and forecasting scientific studies developed in France for many years. They show the importance of two aspects of current air control strategies, requested for improving action: anticipation, now available through operational air quality forecasting systems and consistency of joint strategies targeting various sources and geographical scales.

Keywords:

particulate matter, pollution episode, transboundary contribution, source apportionment.

Introduction

Toutes les enquêtes et sondages tendent à montrer que la pollution atmosphérique est l'un des enjeux environnementaux les plus sensibles pour le grand public. Elle résulte de facteurs multiples et est influencée par la présence à des niveaux indésirables de différentes substances chimiques dans l'atmosphère. Mais la qualité de l'air en France et en Europe est largement influencée par la présence de particules dans l'atmosphère dont il n'est plus besoin de démontrer les effets néfastes sur la santé humaine. C'est ainsi qu'en octobre 2013, le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) annonçait le classement de la pollution de l'air extérieur comme cancérigène pour l'homme (groupe 1), avec une mention spéciale pour les matières particulaires, également classées dans le groupe 1¹. Ainsi, les niveaux de particules dans l'air ambiant font l'objet de valeurs limites et d'objectifs de qualité en application de la Directive Européenne concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe (2008/50/CE). Pour les PM₁₀ (particules de diamètre inférieur à 10 µm), les concentrations moyennes annuelles ne doivent pas dépasser la valeur limite de 40 µg m⁻³. Les concentrations moyennes journalières ne doivent pas dépasser le seuil de 50 µg m⁻³ plus de 35 jours par an. Pour les particules fines dites PM_{2,5} (de diamètre inférieur à 2,5 µm), l'objectif est de réduire l'exposition des personnes qui s'exprime par un Indicateur Moyen d'Exposition (IEM) à l'échéance 2020, et une valeur limite de 25 µg m⁻³ en moyenne annuelle est imposée depuis le 1^{er} janvier 2015.

Les épisodes de pollution particulaire se caractérisent donc par les dépassements, pendant plus d'une journée, de la valeur limite journalière en PM₁₀. Cette valeur est un seuil d'information et de recommandation selon le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air. Ce même décret fixe un seuil d'alerte pour les PM₁₀ à 80 µg m⁻³. En France, en application de l'arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisode de pollution à l'air ambiant, le dépassement de ces seuils sur une zone géographique caractérisée par son aire ou la population exposée conduit à la mise en œuvre de plans d'actions locaux intégrant communication et mesures de gestion destinées à réduire les émissions de polluants. Notons que ces réglementations concernent les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5} en masse et ne ciblent pas leurs composants chimiques en

particulier. En effet, il serait plus délicat de les discriminer dans la surveillance et la réglementation même s'il est admis que leur impact sanitaire varie d'une substance à l'autre (effets sanitaires néfastes du carbone suie et impacts moindres pour les composés inorganiques tels que les sulfates ou les nitrates).

La France, et plus généralement l'Europe, sont concernées tous les ans par plusieurs épisodes de pollution particulaire qui conduisent aux dépassements des valeurs seuils. Ce phénomène est observé depuis plusieurs années, avec une prédominance durant les périodes hivernales et printanières, toutes les régions géographiques étant potentiellement exposées. Les épisodes de décembre 2013 et mars 2014 constituent à ce titre deux exemples particulièrement instructifs sur le type et l'origine des situations de forte pollution particulaire en France.

Après un bref paragraphe introductif sur ces phénomènes et leur typologie, le présent article synthétise l'évolution de ces épisodes avec un focus particulier sur les facteurs pouvant expliquer la croissance des concentrations de particules au-delà des seuils d'information et d'alerte : météorologie, émissions, apports de pollution transfrontalière.

Les épisodes de pollution particulaire en France et en Europe

Constat

Tout au long de l'année, la France est concernée par des niveaux de pollution particulaire (PM₁₀ et PM_{2,5}) suffisamment importants pour dépasser les seuils réglementaires. La figure 1 montre l'évolution mensuelle du nombre de dépassements du seuil journalier de 50 µg/m³ pour les concentrations de PM₁₀ mesurées par les réseaux de mesure français, mis en place et exploités par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Le nombre de dépassements est cumulé sur la période 2010-2012. Les trois premiers mois de l'année cumulent clairement le plus grand nombre de dépassements. L'été est la saison qui en a le moins. Il est intéressant de noter que cette répartition n'est pas celle que l'on trouve sur l'Europe. La figure 2, réalisée à partir des mesures disponibles dans la base européenne AIRBASE

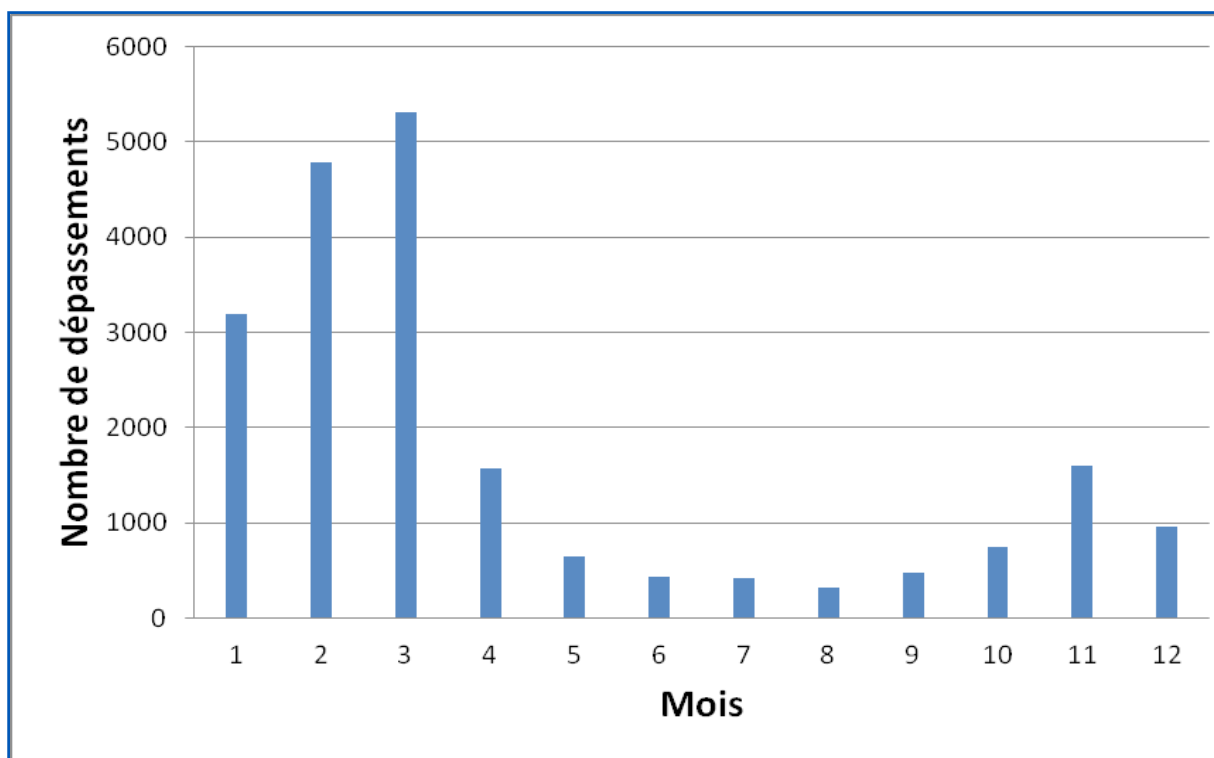


Figure 1.

Nombre de dépassements mensuels du seuil journalier de 50 µg/m³ cumulés en France de 2010 à 2012.

maintenue par l'Agence Européenne de l'Environnement, montre le même indicateur pour 2009 sur l'Europe des 27, avec une répartition par typologie de stations. Les quatre premiers mois de l'année, mais aussi novembre et décembre, connaissent un nombre de dépassements élevé, avec une nette prédominance en janvier et une certaine homogénéité de cet indicateur les cinq autres mois. La période estivale reste celle où il y a le moins d'évènements de pollution particulaire.

Cette analyse rapide permet de dégager une information sur les typologies d'épisodes de pollution particulaire.

Les évènements hivernaux se développent généralement dans des situations météorologiques stables et froides (régime anticyclonique) qui favorisent l'accumulation des polluants au-dessus des zones d'émission (donc plutôt dans les villes), piégés sous des niveaux d'inversion très bas qui empêchent la dispersion. De plus, ces

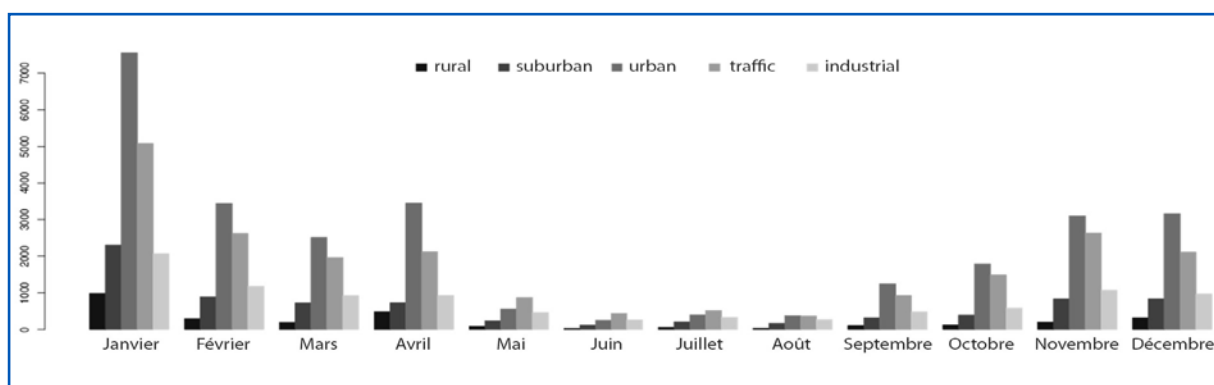


Figure 2.

Nombre de dépassements mensuels du seuil journalier de 50 µg/m³ en Europe (EU27) en 2009 (source : AIRBASE).

périodes, généralement froides, sont propices à une utilisation plus importante du chauffage domestique, et notamment du chauffage au bois. À l'échelle de l'Europe, le développement de ce type d'épisodes est particulièrement fréquent, notamment dans les villes d'Europe de l'Est ou en Europe Centrale. On notera d'ailleurs que les stations urbaines sont plus concernées par ces épisodes particuliers hivernaux que les autres types de stations.

Les épisodes de la fin de l'hiver au début du printemps sont de nature différente. Ils résultent généralement de conditions météorologiques très stables, avec des températures froides la nuit et le matin qui se réchauffent dans la journée. Ainsi on observe, comme en hiver, des inversions thermiques marquées qui piègent les polluants dans les zones fortement émettrices. Mais ces épisodes coïncident généralement avec la période d'épandage des engrais azotés dans les zones agricoles, ceux-ci peuvent être à l'origine d'émissions d'ammoniac par volatilisation, phénomène exacerbé si les températures sont particulièrement douces, comme cela avait pu être observé au printemps 2007 ou en fin d'hiver 2003 (Besagnet *et al.*, 2005). L'ammoniac ainsi disponible dans l'atmosphère réagit avec l'acide nitrique, issu de l'oxydation des oxydes d'azote émis par les activités urbaines et industrielles par la réaction : $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3$.

La présence d'une forte proportion de nitrate d'ammonium dans la composition chimique des particules observées durant les épisodes printaniers est une caractéristique souvent mise en évidence. À ce titre, la figure 3 est très instructive. Elle représente les mesures de nitrate et d'ammonium réalisées par l'INERIS dans le cadre de

ses travaux pour le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) sur un site de fond urbain d'Air Normand au sein de l'agglomération de Rouen (station de Petit-Quevilly), entre juillet 2010 et mai 2012. La périodicité des pics (mars-avril) est flagrante, et coïncide parfaitement avec ces périodes d'épandage. Il est cependant important de noter que la formation de nitrate d'ammonium en forte concentration dans les particules atmosphériques nécessite la présence d'oxydes d'azote dans l'atmosphère, qui résultent plutôt d'émissions urbaines, et des conditions météorologiques favorables.

Ainsi il est, de façon générale, très difficile de discriminer les sources de pollution à l'origine d'épisodes de particules. On peut mettre en évidence des prédominances en fonction de la période de l'année (chauffage urbain, trafic routier, agriculture ou plus marginalement brûlage des déchets verts), mais ce sont les multiples sources en présence qui sont à l'origine du développement de niveaux de concentrations très élevés et les conditions météorologiques qui favoriseront leur maintien. La figure 4, à vocation essentiellement pédagogique, illustre cette complexité, qui doit être prise en compte lorsque le décideur politique envisage des actions de gestion de l'épisode de pollution. Agir sur une seule source peut n'avoir aucun effet. Par exemple, une fois l'épandage réalisé, l'ammoniac se trouve en excès dans l'atmosphère dans les zones rurales. Les réductions d'émissions d'ammoniac, une fois cette situation installée, peuvent donc ne pas avoir les impacts escomptés sur la qualité de l'air. Ce constat plaide en faveur de l'anticipation pour la mise en œuvre des actions, tout comme pour l'ozone. Il faut réduire les émissions de précurseurs avant de subir une situation de pollution qui

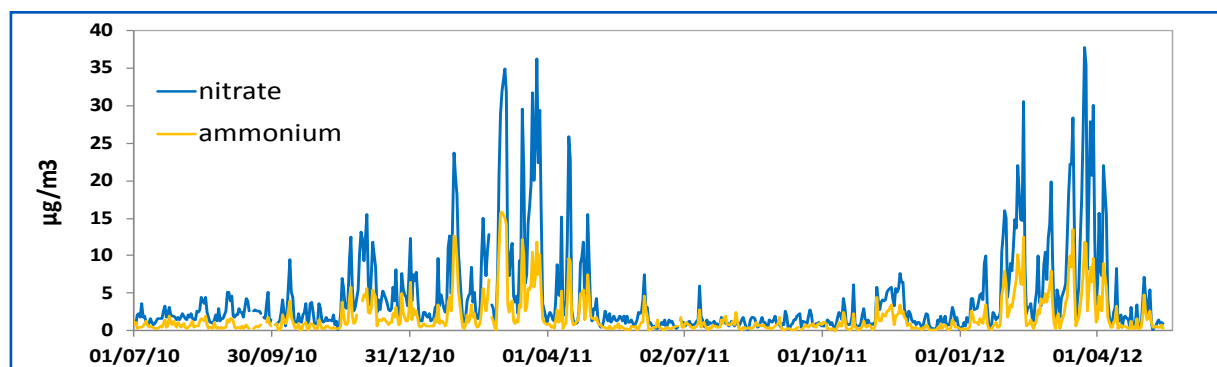


Figure 3.

Concentration du nitrate et d'ammonium dans les PM_{10} sur la station urbaine de fond urbain de Petit-Quevilly (agglomération de Rouen) entre juillet 2010 et mai 2012 (source : LCSQA & AIR NORMAND).

pourrait « s'entretenir » avec les polluants disponibles dans l'atmosphère. L'essor et la maturité des systèmes de modélisation et de prévision de la qualité de l'air peuvent déjà permettre une gestion plus appropriée des pointes de pollution. Cet aspect est bien pris en compte dans la réglementation française puisque l'arrêté du 26 mars 2014 prévoit bien le déclenchement de procédures préfectorales de gestion de la pollution atmosphérique non plus seulement sur constat, mais aussi sur prévision.

Le réseau national de surveillance de la qualité de l'air mis en place par les AASQA repose en 2014 sur 357 stations de mesure PM_{10} et 126 stations de mesure $PM_{2,5}$. La surveillance est réalisée au moyen d'appareils de mesure automatiques qui fournissent des données au fil de l'eau et permettent une surveillance quotidienne de l'évolution des concentrations en polluants atmosphériques en France.

En complément, le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air, et en particulier celui de la pollution particulaire, s'est doté de techniques de pointe qui sont valorisées au niveau régional par le réseau des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) et au niveau national par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'air (LCSQA) et les travaux menés par le consortium PREV'air (INERIS, Météo France, CNRS).

La France a développé une réelle expertise dans le domaine de la prévision de la qualité de l'air avec la mise en place en 2004 de la plateforme PREV'air (www.prevair.org) qui prévoit les concentrations d'ozone, de dioxydes d'azotes et de particules à deux jours d'échéance aux échelles nationale et européenne. Plusieurs AASQA se sont également investies dans la mise en place de systèmes de prévision régionale et locale de la qualité de l'air, qui permettent d'affiner le diagnostic réalisé à l'échelle nationale,

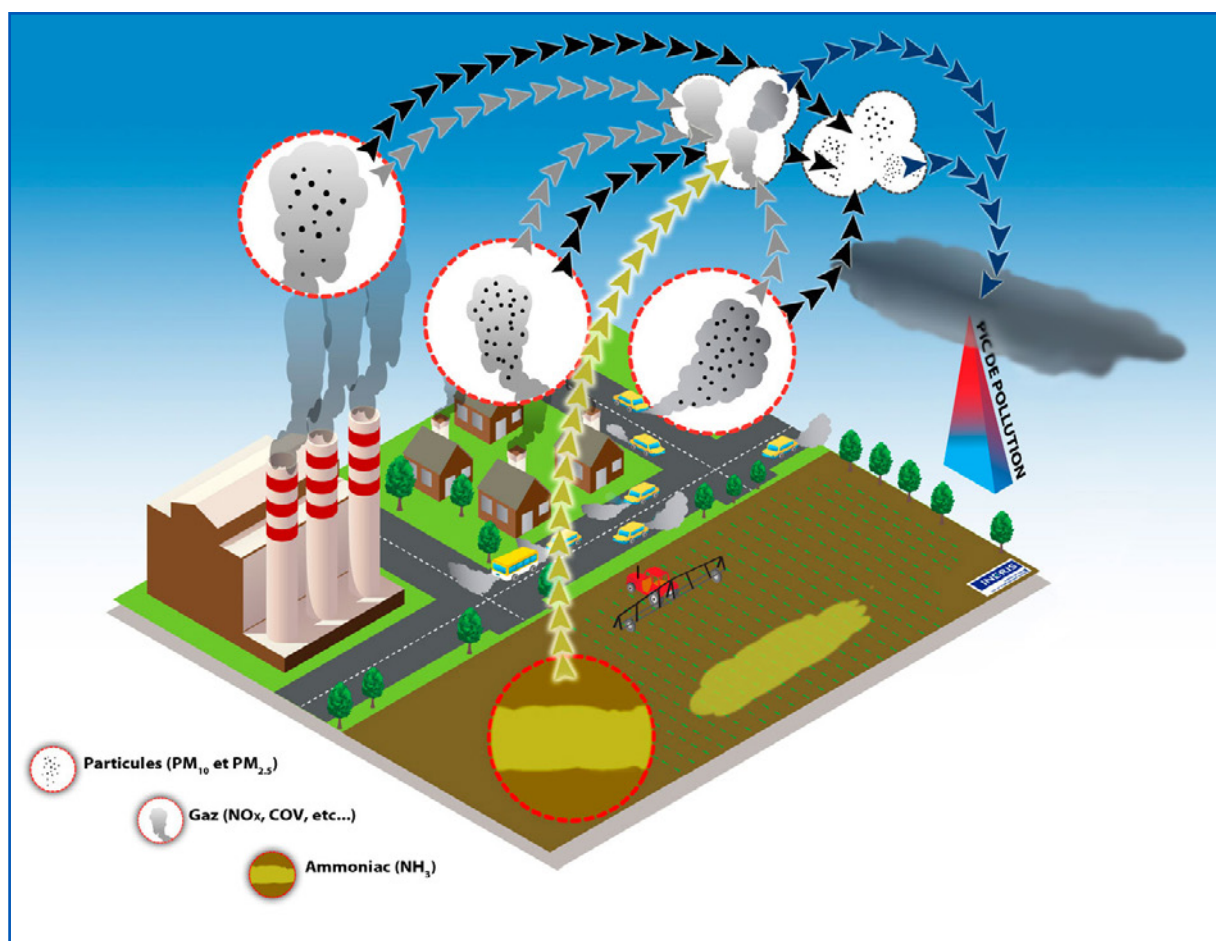


Figure 4.

Sources impliquées dans les épisodes de pollution printaniers.
Les moyens de surveillance et d'anticipation

notamment en intégrant une description plus fine des émissions et une meilleure résolution des modèles numériques mis en œuvre. Ce système cohérent de modélisation constitue une approche unique en Europe et une réelle plus-value pour l'aide à la gestion des pointes de pollution.

Par ailleurs, suite aux épisodes du printemps 2007, le LCSQA a coordonné la mise en place d'un dispositif de mesure de la composition chimique des particules, appelé CARA (Favez et Leoz, 2014), reposant notamment sur la mobilisation des AASQA qui gèrent les sites de surveillance. Une quinzaine de sites, répartis sur l'ensemble du territoire national, sont ainsi disponibles en France pour réaliser des prélèvements sur filtres et des analyses chimiques des particules en situation d'épisodes, et héberger des analyseurs automatiques de la composition chimique des particules. Ce dispositif opérationnel est précurseur en Europe et permet de disposer d'informations précieuses pour une meilleure compréhension des facteurs déterminants dans le développement des épisodes. À titre d'exemple, la figure 5 présente la composition chimique des PM₁₀ lors des principaux épisodes de pollution ayant pu être observés sur la station de Petit-Quevilly au cours des cinq dernières années.

Ces moyens d'évaluation, d'analyse et de prévision contribuent à une plus grande réactivité des parties prenantes pour la gestion des épisodes, et permettent une meilleure compréhension de leur phénoménologie pour mieux les anticiper et limiter leur occurrence. Dans les paragraphes suivants, l'analyse de deux épisodes récents et marquants (décembre 2013 et mars 2014) illustre ces perspectives.

L'épisode de décembre 2013

Description générale

Les deux premières semaines de décembre 2013 ont été marquées par un épisode de pollution atmosphérique sévère, induisant des concentrations élevées en particules dans tout le pays. Plus précisément, des conditions météorologiques anticycloniques se sont progressivement installées sur la France à la fin du mois de novembre 2013. Durant cette période, les vents faibles n'ont pas permis de disperser efficacement les polluants émis par les activités humaines. Les polluants se sont donc accumulés à la surface et à proximité des sources d'émission (trafic routier, chauffage domestique, industrie, etc.). Si les niveaux de concentrations en particules ont fluctué dans un premier temps au gré des conditions météorologiques, ils ont atteint dans une deuxième phase

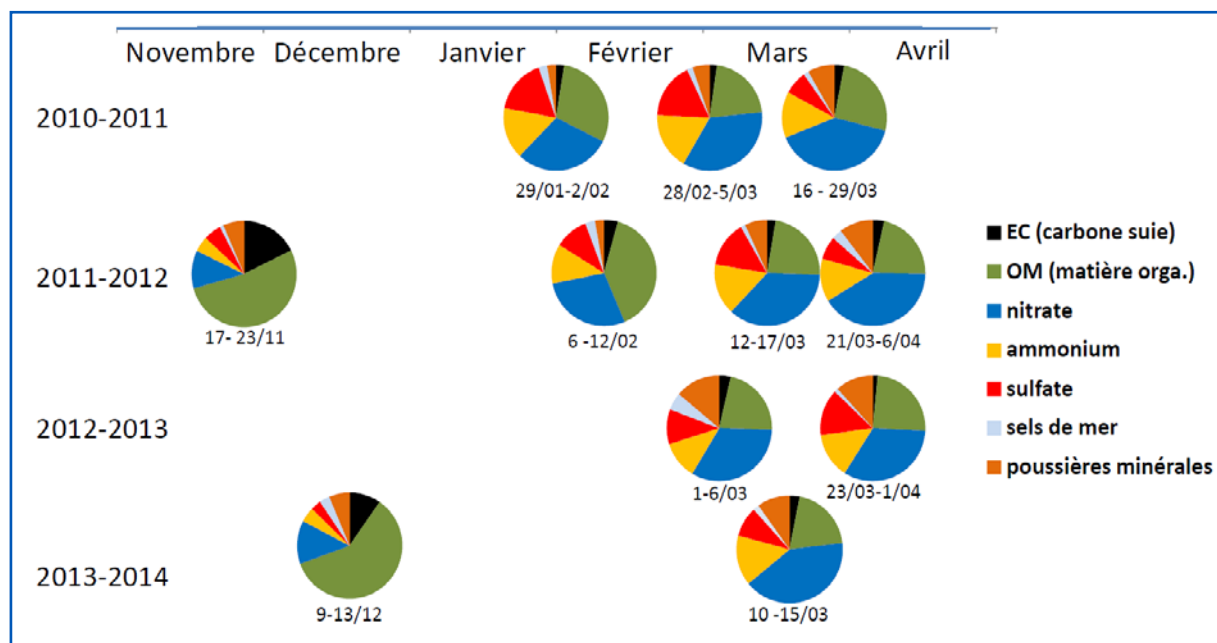


Figure 5.

Répartition des espèces chimiques majeures impliquées dans les 10 plus importants épisodes de pollution particulaire depuis 2010 sur le site de Petit-Quevilly (Air Normand).

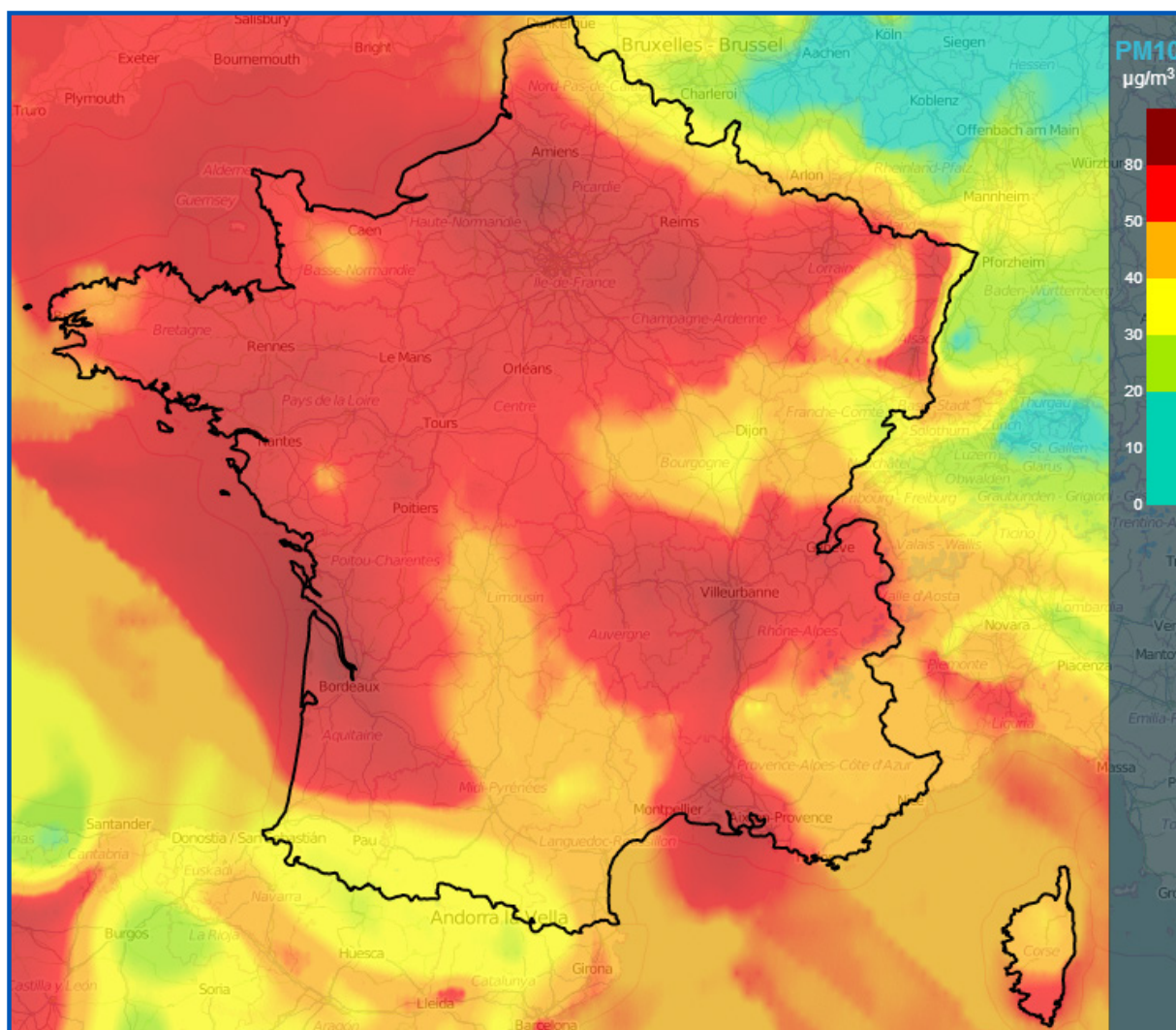


Figure 6.

Concentrations moyennes de PM_{10} pour le 10 décembre 2013 cartographiées par PRE'V'AIR.
Description détaillée de l'épisode de décembre 2013

des niveaux élevés qui ont concerné tout le pays du 9 au 13 décembre 2013. Les températures ont également chuté durant cette période, ce qui a pu entraîner une surconsommation d'énergie pour le chauffage domestique, et de bois de chauffage. Cela a conduit à une augmentation des polluants émis, notamment les particules fines dans la basse troposphère. Ainsi, la figure 6 représente les concentrations journalières de PM_{10} pour la journée du 10 décembre 2013, ainsi que l'ampleur de l'épisode, avec des concentrations moyennes journalières supérieures au seuil d'information et de recommandation sur les 2/3 du pays.

- Les 28 et 29 novembre, des concentrations élevées sur la région parisienne puis Rhône-Alpes ont été observées. Après deux jours d'accalmie, l'épisode a de nouveau sévi du 3 au

5 décembre, affectant de nombreuses régions avec des concentrations PM_{10} en moyenne journalière très souvent comprises entre 50 et $80 \mu\text{g m}^{-3}$, et quelques dépassements du seuil d'alerte de $80 \mu\text{g m}^{-3}$ en Rhône-Alpes. La France a ensuite connu deux nouvelles journées avec des concentrations en baisse atteignant néanmoins des niveaux assez élevés sur plusieurs régions, suivies d'une nouvelle hausse des concentrations de PM_{10} généralisée sur l'ensemble du territoire national et persistant pendant 4-5 jours.

- Ainsi, le 8 décembre, le Sud-Ouest affiche des niveaux élevés de concentrations de PM_{10} , puis l'épisode s'étend le 9 décembre sur le bassin parisien, de la façade atlantique à un large quart sud-est. Les concentrations se renforcent pour atteindre de plus en plus fréquemment des

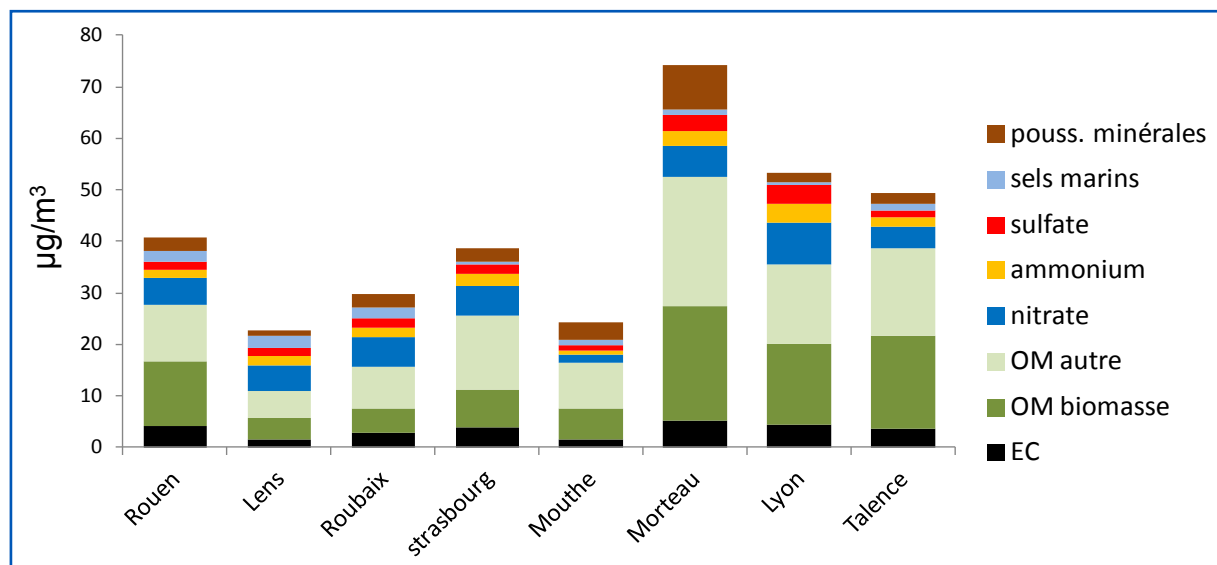


Figure 7.

Analyse de la composition chimique des particules PM_{10} mesurées sur un échantillon des sites CARA pendant l'épisode de décembre 2013.

valeurs très élevées, occasionnant des dépassements du seuil d'alerte (de $80 \mu\text{g m}^{-3}$), notamment en Rhône-Alpes. Lors des journées suivantes, plus d'un tiers des régions de la métropole est affecté par des dépassements du seuil de $80 \mu\text{g m}^{-3}$, et l'ensemble des régions par des dépassements du seuil de $50 \mu\text{g m}^{-3}$.

- L'épisode de pollution a commencé à décliner à partir du 13 décembre, et plus concrètement dès le lendemain, sous l'effet d'un changement des conditions météorologiques devenues favorables à une dispersion efficace des polluants. Le caractère généralisé de l'épisode s'effaçait progressivement, mais jusqu'au 18 décembre, des zones localement touchées par des niveaux élevés de PM_{10} subsistèrent encore dans plusieurs régions.

Analyse de l'épisode

Cet épisode a été d'une intensité remarquable avec des valeurs très élevées de concentrations de PM_{10} sur plusieurs jours et sur plusieurs régions. Cependant, sa persistance, bien que conséquente, a été moins importante que celle d'épisodes de particules fines hivernaux recensés dans les années précédentes. La figure 7 détaille la composition chimique des particules PM_{10} mesurées dans plusieurs villes où sont implantés des sites du dispositif CARA. La forte proportion de la matière organique est remarquable sur tous les sites (75 % environ, sauf à Lens et Roubaix), notamment celle issue de la combustion de

biomasse. L'influence du chauffage au bois est donc clairement mise en évidence par ces histogrammes.

Cet épisode est un excellent exemple de l'impact de sources locales (et donc plutôt urbaines) sur les concentrations de particules, qui peuvent devenir très élevées si les conditions météorologiques ne sont pas favorables à la dispersion (conditions anticycloniques très stables et températures basses). Cette caractéristique est notamment illustrée par la différence de concentrations (plus d'un facteur 3) observée sur la figure 7 aux stations de Mouthe et Morteau, pourtant très proches géographiquement. Mais Mouthe se situe plutôt en milieu rural, alors que Morteau est une petite ville. Mais l'influence des sources locales, et notamment du chauffage au bois, est nettement plus forte, expliquant cette différence. Ce sont les caractéristiques principales des épisodes de pollution particulaires hivernaux en Europe, souvent intensifiés si les températures sont très basses, par la croissance des émissions induites par le chauffage urbain, et également par la combustion de la biomasse.

L'épisode de mars 2014

Description générale

Du 9 au 17 mars 2014, un épisode de pollution particulaire exceptionnel par son intensité, sa couverture géographique et sa durée a touché

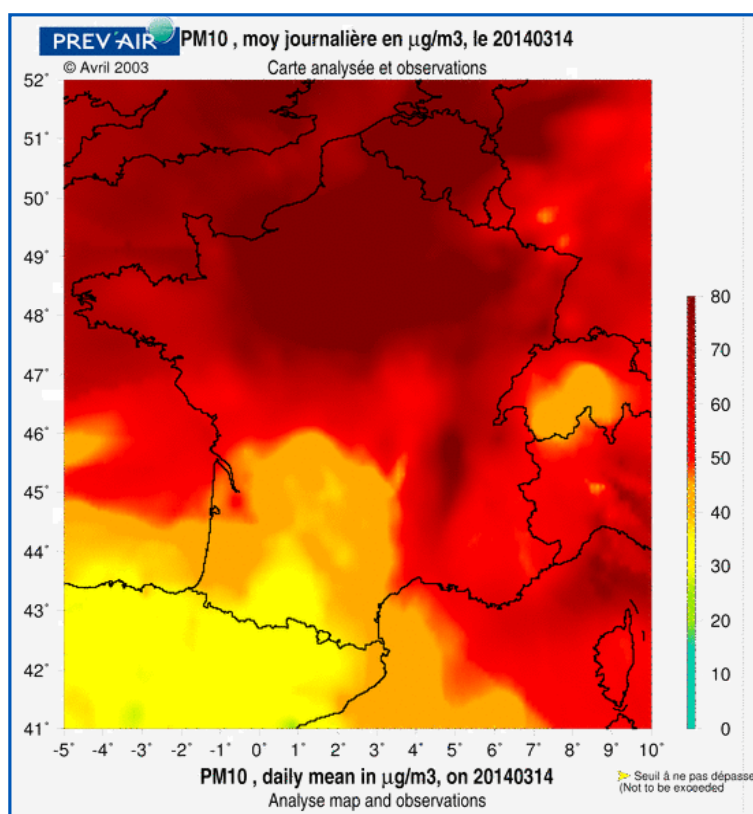


Figure 8.

Concentrations moyennes de PM_{10} en France pour le 14 mars 2014, cartographiées par PREv'AIR.

toute la France et une large partie de l'Europe de l'Ouest. Les concentrations ont dépassé le seuil d'information et de recommandation dans l'ensemble du pays, et le seuil d'alerte a également été dépassé pendant plusieurs jours dans plusieurs régions (Alsace, Champagne-Ardenne, Ile de France, Lorraine, Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Rhône-Alpes). La figure 8 illustre la situation au cœur de l'épisode (le 14 mars 2014). Les conditions météorologiques durant toute la période étaient extrêmement stables avec de fortes inversions thermiques, et les températures plutôt douces en journée. En début d'épisode, la dispersion des polluants n'a donc pas pu s'opérer, et les polluants émis localement sont restés piégés dans les basses couches de l'atmosphère. De plus, les températures ont favorisé la volatilisation de l'ammoniac issu des épandages d'engrais azotés qui avaient été réalisés à la faveur de conditions météorologiques propices. L'ammoniac s'est ainsi trouvé disponible dans l'atmosphère pour réagir avec les oxydes d'azote et contribuer à la production de nitrate d'ammonium, et de particules à plus grande échelle. Mais l'ampleur de ce phénomène est allée bien au-delà du territoire national. La figure 9 montre

le panache de pollution particulaire tel qu'il impactait une grande partie de l'Europe le 14 mars. Et les raisons sont exactement les mêmes que celles qui expliquent la situation française. Il s'agissait donc bien d'un épisode de pollution particulaire à l'échelle européenne.

- Dès le 7 mars, des conditions météorologiques extrêmement stables, avec des vents très faibles, ont favorisé l'augmentation des concentrations de PM_{10} en Ile de France, dans le Nord-Est de la France et en Rhône-Alpes. Cette situation s'est maintenue jusqu'au 10 mars, favorisant l'accumulation des polluants.

- La cellule anticyclonique se maintenant toujours sur l'Europe, à partir du 11 mars, un flux de secteur est à nord-est s'est installé et a transporté des masses d'air continentales chargées en polluants particuliers des pays voisins également soumis à une croissance forte de leurs niveaux de pollution atmosphérique. Ce panache a contribué à une forte dégradation de la situation en France.

- À partir du 13 mars, les conditions météorologiques sont redevenues très stables et la situation critique sur l'ensemble du pays, toutes les régions faisant état de niveaux de PM_{10} excédant la valeur limite journalière. Seul le quart sud-ouest de la France s'est trouvé « épargné » par le phénomène mais a tout de même enregistré des concentrations proches de 50 mg m^{-3} en moyenne journalière et atteignant ce seuil localement.

- À partir du 15 mars, la France s'est retrouvée soumise à un flux de nord-ouest faible mais durable qui s'est poursuivi les 16 et 17. Ce flux a permis d'amorcer le balayage des polluants dans l'air en surface et de faire passer les concentrations de PM_{10} progressivement en dessous des seuils d'alerte.

Durant toute la période de l'épisode, un certain nombre de mesures de réduction des émissions ont été mises en place en région : réduction de la vitesse des véhicules et renforcement des contrôles, gratuité des transports en commun, accès à l'agglomération parisienne réduit pour

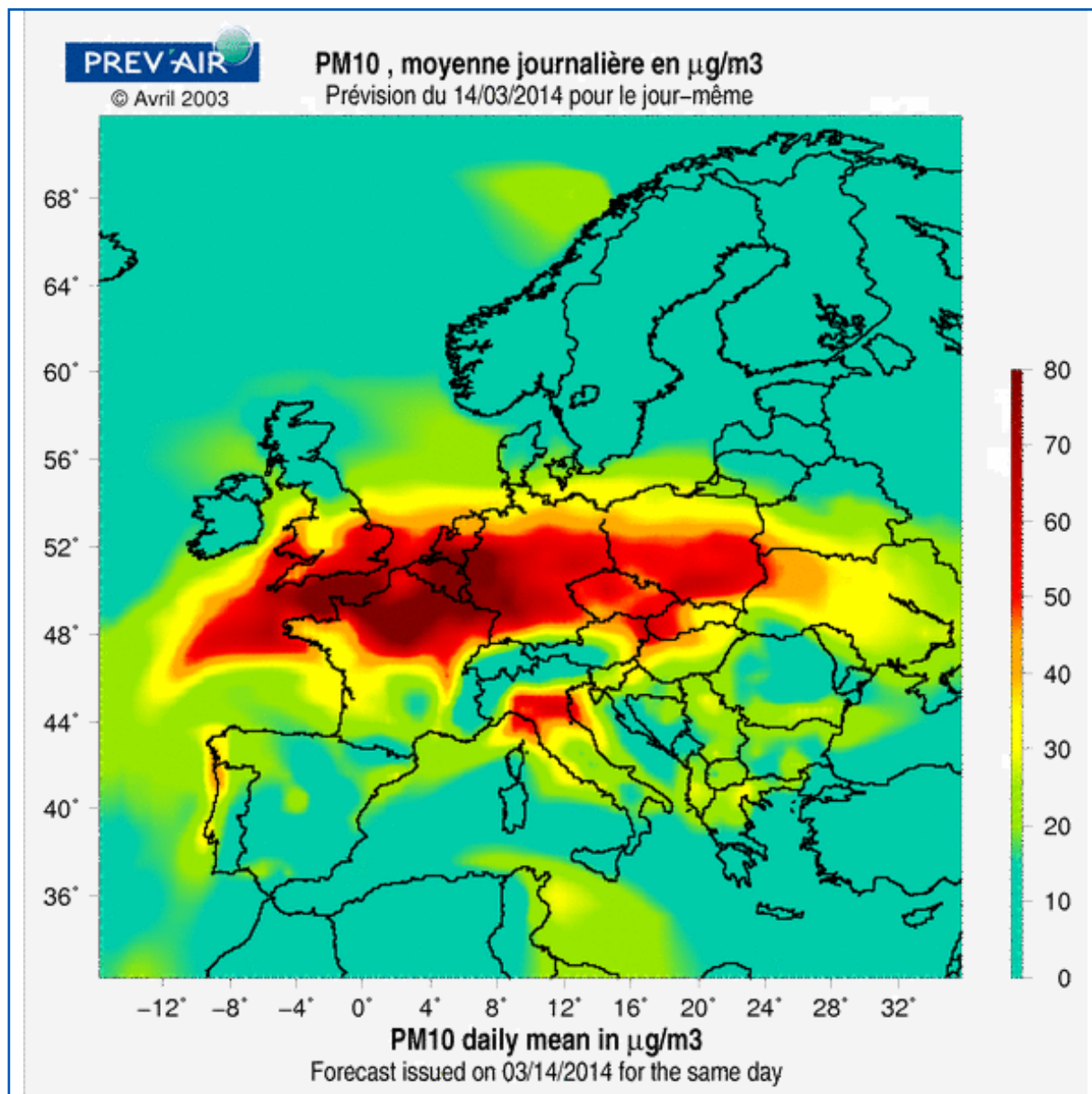


Figure 9.

Concentrations moyennes de PM_{10} en Europe prévues par PREV'AIR pour le 14 mars 2014.

Description détaillée.

les camions les plus polluants, gratuité du parking résidentiel, incitation auprès de l'industrie à réduire les activités, incitation auprès des professions agricoles pour réduire ou décaler les épandages d'engrais azotés. Et le 17 mars 2014, la circulation alternée fut appliquée sur l'agglomération parisienne.

Analyse détaillée

Plusieurs facteurs doivent être considérés dans l'analyse détaillée de cet événement de pollution :

- les conditions météorologiques anticycloniques, très stables, qui n'ont pas permis la dispersion des polluants atmosphériques ;

- le transport transfrontalier des polluants qui a contribué à importer des polluants des pays voisins ;

- la concomitance de cet événement avec la période d'épandage d'engrais azotés, source d'ammoniac et donc indirectement de nitrate d'ammonium en présence d'oxydes d'azote. La douceur des températures a pu exacerber la

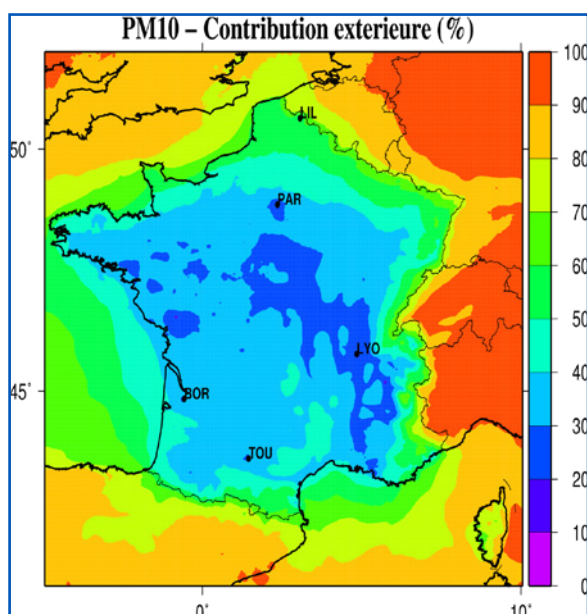


Figure 10.

Pourcentage d'apports extérieurs à la France dans les concentrations de PM_{10} , en moyenne sur la période du 7 au 17 mars 2014. Simulations réalisées par le modèle CHIMERE à l'INERIS.

volatilisation de l'ammoniac dans l'atmosphère.

Ces facteurs réunis suffisent à expliquer les niveaux de particules exceptionnels observés durant la période. Les investigations qui ont été menées par le LCSQA, l'INERIS, les AASQA et des laboratoires de recherche tendent toutes à les mettre en évidence.

La figure 10 est issue de simulations réalisées avec le modèle de chimie-transport CHIMERE, co-développé par le CNRS et l'INERIS (<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>). En réalisant une simulation à l'échelle européenne de l'épisode de pollution dans laquelle toutes les émissions de la France sont mises à zéro, on peut évaluer la contribution aux concentrations de PM_{10} provenant des imports des pays voisins. Ce pourcentage de « contributions extérieures » est cartographié. Logiquement, les régions du Nord et de l'Est sont les plus influencées par ces contributions exogènes (jusqu'à 60 % en moyenne sur la durée de l'épisode). Mais ce pourcentage diminue assez rapidement dans les régions plus occidentales. En Ile de France, il est estimé à 20-30 %

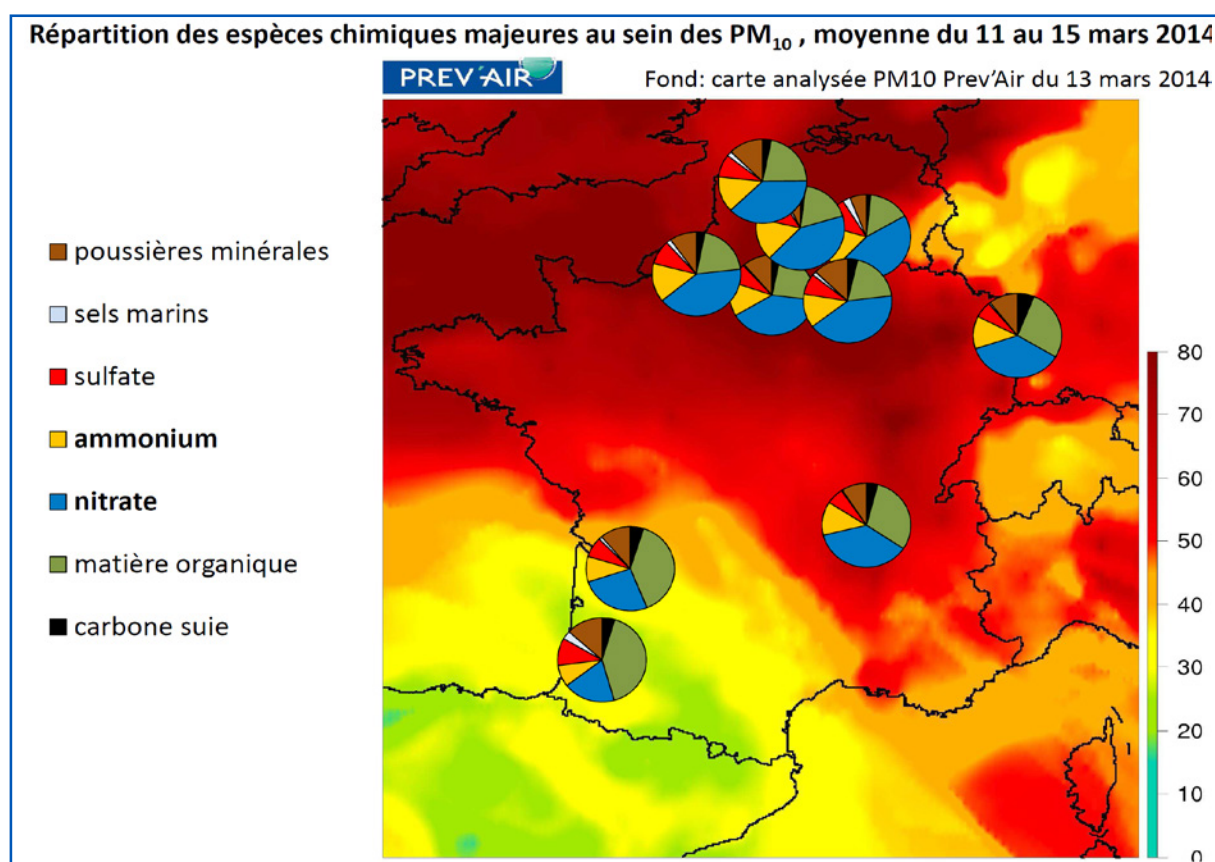


Figure 11.

Répartition des espèces chimiques dans les PM_{10} analysées du 11 au 15 mars 2014 (dispositif CARA).

en moyenne. Même si ce n'est pas négligeable, les émissions nationales restent un facteur déterminant de l'épisode.

Les figure 11 et figure 12 résultent de travaux menés dans le cadre du dispositif CARA et restituent la composition chimique des particules mesurées sur certains sites de ce dispositif pour la période de l'épisode. La figure 11 correspond à une répartition moyenne qui est mise en perspective avec les résultats de modélisation. La figure 12 propose des histogrammes représentant la composition chimique des particules pour chaque journée analysée. Tous les sites à l'est d'un axe Normandie/PACA mesurent des concentrations de PM_{10} élevées (en particulier entre le 11 et le 15 mars) et une forte proportion de nitrate et d'ammonium : de 50 à 70 % en fonction des jours et des sites. Il est cependant intéressant de noter que ce constat s'applique à toutes les typologies de stations : trafic, fond urbain, rural. Cela démontre le caractère régional de l'épisode et l'influence de différentes sources de pollutions :

les activités agricoles fortement émettrices d'ammoniac à cette époque de l'année, et le trafic routier et autres activités de combustion émettrices d'oxydes d'azote. La production d'aérosols secondaires à grande échelle fut donc un élément déterminant dans cet épisode de pollution. À noter cependant la proportion non négligeable de matière organique plutôt représentative de la combustion de la biomasse (chauffage au bois, brûlage de déchets verts). Elle est prépondérante pour certains jours sur les sites aquitains (Talence, Dax), ce qui démontre la plus grande influence de sources locales dans le Sud-Ouest.

La mesure de circulation alternée, décidée pour le 17 mars 2014 pour l'agglomération parisienne, a contribué à diminuer les émissions d'oxydes d'azote et de particules (voir les travaux d'AIRPARIF sur le sujet). Ces réductions ont contribué à réduire les concentrations de particules sur l'agglomération dans des proportions variables, mais l'épisode d'ampleur nationale a pu être dissipé dans les jours qui ont suivi du fait

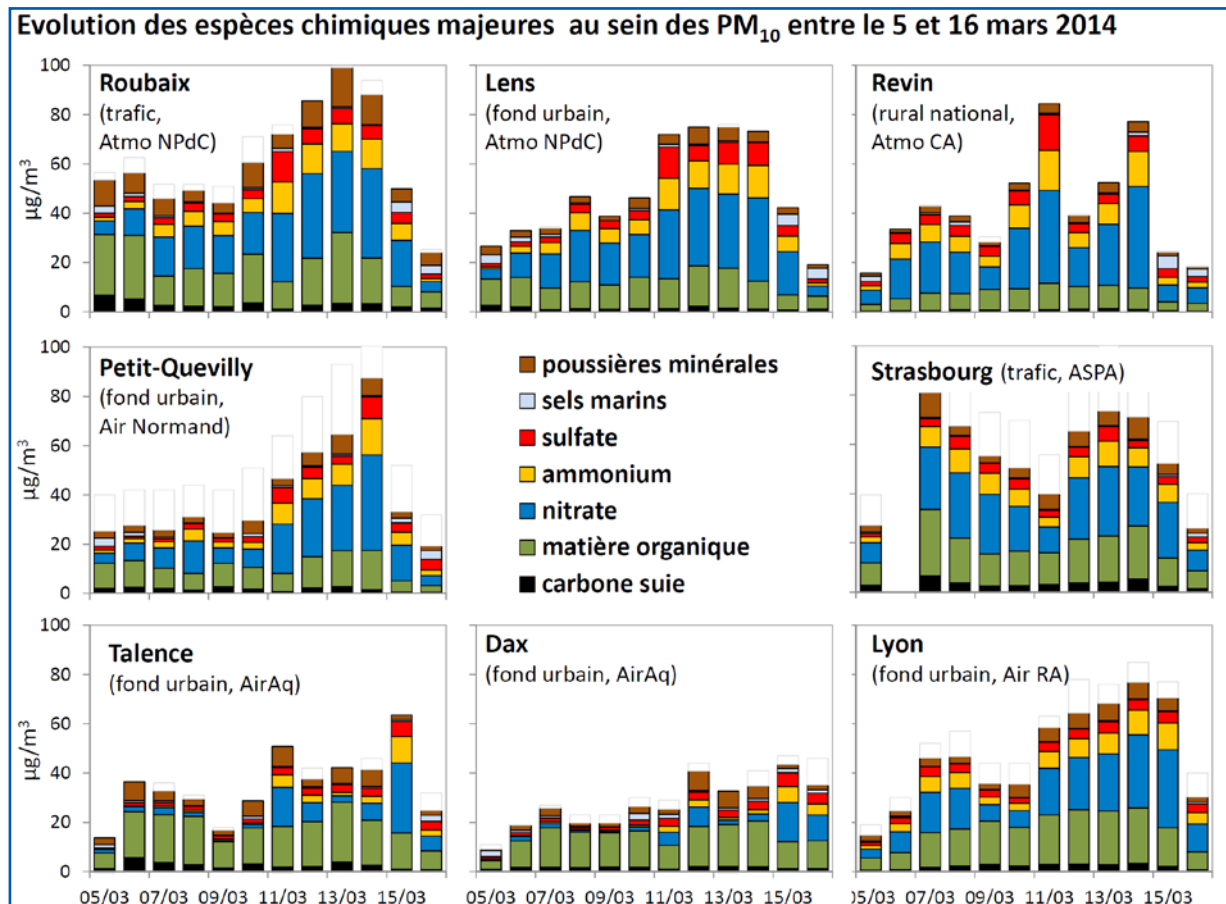


Figure 12.

Évolution de la composition chimique des PM_{10} analysée du 5 au 16 mars 2014 aux sites CARA.

des conditions météorologiques, devenues favorables pour la dispersion des polluants.

Conclusions

Les épisodes de pollution particulaire qui impactent chaque année la France et l'Europe sont désormais assez bien caractérisés, et il est même possible, en fonction de la période de l'année, de la région géographique impactée, des conditions météorologiques, d'établir une typologie de ces épisodes. Les événements de décembre 2013 et de mars 2014 sont à ce titre des exemples instructifs.

En décembre 2013, la conjoncture de conditions météorologiques anticycloniques très stables, de températures très froides induisant une augmentation des émissions de particules liées au chauffage urbain et à la combustion de biomasse, a contribué à installer un épisode de pollution essentiellement influencé par les émissions locales en ville. Il sera donc efficace de se focaliser sur cette échelle géographique pour mettre en place des stratégies de gestion.

En mars 2014, l'épisode de pollution particulaire était d'ampleur continentale et largement influencé par la formation d'aérosols secondaires inorganiques, le nitrate d'ammonium, du fait de la concomitance de la période d'épandage des engrais azotés en France et en Europe, activité fortement émettrice d'ammoniac, avec des conditions météorologiques douces et stables qui ont favorisé ce processus. C'est une situation typique des événements de pollution printaniers.

Définir une typologie des épisodes de pollution facilite la recherche de stratégies de gestion efficaces, et peut orienter les choix des décideurs politiques. Néanmoins, la pollution atmosphérique reste le résultat de processus physico-chimiques très complexes, impliquant des centaines de substances chimiques émises par de nombreuses sources. Ainsi deux facteurs restent déterminants pour réduire l'ampleur des épisodes de pollution particulaire : l'anticipation de l'action, rendue possible avec les systèmes de prévision, et l'action conjointe sur les différentes sources aux différents niveaux géographiques. Ainsi, il faut pouvoir disposer d'information en temps réel sur la nature des épisodes de pollution pour pouvoir orienter et valider le choix des

actions à mettre en œuvre dès les premières heures de la survenue de ces épisodes. Il est également à souligner que la pollution particulaire n'est généralement pas un phénomène de pollution locale tant elle est conditionnée par le transport et la chimie des particules et de leurs précurseurs. Ainsi, restreindre le périmètre géographique de l'action et donc des sources que l'on contraint peut conduire à des mesures inefficaces.

Nous avons présenté ici deux exemples d'épisodes qui permettaient de caractériser des typologies de situations fréquemment rencontrées en France. Elles ne couvrent cependant pas toutes les situations. Nous n'avons pas évoqué, par exemple, les épisodes imputables au transport sur de longues distances de poussières naturelles. Chaque année, on recense plusieurs événements de remontées de panaches de sable saharien vers la France métropolitaine, ou encore plus fréquents, de panaches sahariens traversant l'Atlantique et impactant les Antilles. Le transport des poussières telluriques peut être à l'origine de dépassements importants des seuils réglementaires en PM_{10} .

Enfin, nous ne connaissons pas encore toute la complexité de la chimie des aérosols atmosphériques, notamment les processus qui président à la génération d'aérosols secondaires organiques. Les travaux de recherche pour la caractérisation de la pollution particulaire et de ses sources doivent se poursuivre pour mieux cerner les leviers d'action et développer des stratégies efficaces. Par exemple, le rôle joué par certaines espèces de composés organiques volatils particulièrement réactives doit être mieux quantifié, car il pourra s'avérer déterminant si l'on constate que les plans de réduction des émissions de particules mis en œuvre sont insuffisants à limiter les situations de dépassements et le nombre d'épisodes. Les moyens de surveillance disponibles aujourd'hui en France (modèles, réseaux de mesure et de caractérisation chimique des particules mais aussi inventaires d'émissions) fournissent de précieuses données d'entrée pour appréhender de futurs besoins de recherche. C'est l'une des forces du dispositif français de surveillance, qui est tout aussi prompt à assimiler de nouvelles connaissances. Les outils scientifiques et techniques sont donc en place, reste à dynamiser l'action pour réduire la pollution particulaire et ses pointes.

1. http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2013/pdfs/pr221_F.pdf

Références

- Bessagnet B, Hodzic A, Blanchard O, *et al.* (2005). Origin of particulate matter pollution episodes in wintertime over the Paris Basin, *Atmospheric Environment*, Vol., Issue 33, p. 6159-6174.
- Favez O, Leoz-Garzandia E. (2014). Descriptif du programme CARA du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Rapport LCSQA. [En ligne] : <http://www.lcsqa.org/rapport/2014/ineris/description-programme-cara-dispositif-national-surveillance-qualite-air>
- Rouïl L, Honoré C, Meleux F. *et al.* (2009). PREv'air: an operational forecasting and mapping system for air quality in Europe. *Bull. of Ameri Meteor Society*, Vol. 90, Issue 1, p. 73-83. [En ligne] : <http://dx.doi.org/10.1175/2008BAMS2390.1>

Conditions météorologiques et épisodes de pollution par les particules fines en Alsace

Weather conditions and particulate matter pollution peaks in Alsace

Raphaèle DEPROST,¹ Patrice PAUL,² Florent VASBIEN,³ Joseph KLEINPETER⁴

Résumé

Les épisodes de pollution aux particules sont engendrés par des émissions atmosphériques d'origine plus ou moins locale, régionale ou lointaine avec une contribution géographique déterminée par la genèse et l'évolution de situations météorologiques très différentes. L'article décrit trois types d'épisodes en Alsace et leur gestion par rapport aux arrêtés en vigueur. Le premier épisode, du 9 au 15 janvier 2009, est très représentatif des situations de pollutions locales prédominantes, où des inversions de températures défavorisent la dispersion des pollutions primaires issues du trafic routier et du chauffage dans la vallée encaissée du Rhin supérieur, entre Vosges et Forêt Noire. Des niveaux historiques ont été atteints durant cet épisode, avec déclenchement de la procédure d'alerte et de mesures d'urgence (réduction de vitesse de circulation). Le deuxième épisode, du 7 au 12 février 2010, est typique des situations hivernales d'apports transfrontaliers prédominants de masses d'air qui se sont chargées en particules, principalement à longue distance et parvenant jusqu'au Rhin supérieur. Enfin, l'épisode de pollution du 7 au 15 mars 2014 est caractéristique du début de printemps, avec des conditions météorologiques favorables à la combinaison chimique de l'ammoniac agricole avec les oxydes d'azote principalement issus du trafic routier, et formation secondaire de nitrate d'ammonium particulaire. Durant cet épisode, la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée pendant 10 jours consécutifs. Dans tous les cas, la meilleure perspective est la réduction des particules au moment des pics, mais aussi tout au long de l'année, ce qui passe avant tout par la prescription et la planification réglementaires, associées à la sensibilisation des acteurs publics et privés jusqu'au citoyen.

Abstract

Particulate matter pollution peaks are generated by high atmospheric emissions with a more or less local, regional or long range origin, with a geographical contribution determined by the genesis or the evolution of different meteorological configurations. This paper describes three kinds of episodes occurring in Alsace and their management according to the current legislation. The first episode, from January 9th to January 15th 2009, is very representative of situations with dominant local pollution, when temperature inversions are unlikely to disperse the primary pollutions from road traffic or house heating in the Upper Rhine valley between the Vosges and the Black Forest. Historic levels were reached during this episode, with release of the alert procedure and establishment of emergency measures (reduction of traffic speed limit). The second episode, from February 7th to February 12th 2010, is typical of winter configurations with dominant transboundary imports of air masses that were charged with particulate matter mainly far from the Upper Rhine. Finally, the episode from March 7th to March 15th 2014, is representative of the early spring, with meteorological conditions favorable to the chemical combination of ammonia from agriculture with nitrogen oxides mainly from road traffic, creating secondary particulate ammonium nitrate. For this episode, the recommendation and information procedure has been activated during 10 consecutive days. In all cases, the best perspective is the particulate matter reduction, not only during peaks but throughout the year too, what involves regulatory prescription and planning, associated with raising awareness of the public and private actors down to the citizen level.

Mots-clés

Situation météorologique, flux de circulation et pollution transfrontalière, pic de pollution aux particules, pollution locale et pollution importée, modèle CHIMERE, prévision et scénarios par modélisation, seuils et procédures d'information et de recommandation et d'alerte, nitrate d'ammonium.

Keywords

Meteorological situation, circulation fluxes and transboundary pollution, particle pollution peak, local and imported pollution, CHIMERE model, forecasts and scenarios with models, information and recommendation and alert thresholds and procedures, ammonium nitrate.

Introduction

L'Alsace fait partie du fossé rhénan méridional, encadré par les reliefs des Vosges, de la Forêt Noire et du Jura. La disposition géographique de ce vaste espace naturel crée des conditions aérologiques spécifiques dans la basse troposphère, bien différentes de celles du Bassin parisien jusqu'à la Lorraine. Il en résulte des conditions plus favorables à la stagnation de l'air et des polluants. C'est la raison pour laquelle cette unité naturelle à forte densité de population et aux activités industrielles et de transport importantes a été le cadre d'un projet climatologique franco-germano-suisse dans les années 90, dénommé REKLIP, qui a contribué à mieux connaître les facteurs climatiques qui agissent sur la qualité de l'air et à développer une coopération transfrontalière de plus en plus active dans le suivi et la compréhension des processus agissant sur la pollution de l'air. L'objet de cet article est l'analyse et une meilleure connaissance des facteurs météorologiques conditionnant des pointes de concentration des PM_{10} en Alsace dans le cadre de trois épisodes caractéristiques.

Différents types de situations météorologiques favorables à des pics de pollution

Les épisodes de fortes concentrations de particules PM_{10} en Alsace sont engendrés par des missions atmosphériques d'origine plus ou moins locale, régionale ou lointaine avec une contribution géographique déterminée par la genèse et l'évolution de situations météorologiques très différentes. Les situations classiques d'hiver correspondent à des conditions anticycloniques persistant plusieurs jours avec des vents variables. Elles se traduisent par de fortes inversions de températures, généralement peu épaisses verti-

calement et renforcées par l'encadrement montagneux des Vosges et de la Forêt Noire, qui accentue la stagnation des masses d'air froides, liées à l'origine au déficit radiatif nocturne à la surface du sol. Il est fréquent que le brouillard et les stratus bas persistent plusieurs jours, alors que le soleil brille sur les hauteurs des Vosges et de la Forêt Noire, mais aussi en Lorraine ou, vers l'est, dans la haute vallée du Danube. L'épisode de pollution du 9 au 15 janvier 2009 est très représentatif de ce genre de situation.

D'autres situations météorologiques, très différentes et moins fréquentes, se caractérisent par une forte advection de masses d'air froid en provenance d'Europe centrale. Elles résultent d'une première période de blocage de la circulation générale pendant plusieurs jours avec un anticyclone froid stationnaire sur le Nord-Ouest de l'Europe favorable à l'accumulation de la pollution, et une dépression dynamique active sur la Méditerranée occidentale et l'Italie. Au moment du déblocage, la majorité des polluants constatés en Alsace proviennent alors de ces régions éloignées à forte densité de population d'Europe centrale.

Enfin, les conditions anticycloniques de printemps, avec un rayonnement solaire plus durable et plus long, peuvent déclencher des pics de pollution en lien avec des émissions particulières de précurseurs de particules secondaires, malgré de faibles inversions thermiques, situées à des altitudes plus élevées, de l'ordre de 1 000 à 2 000 mètres. Parfois, elles se forment au sein de masses d'air stables et subsidentes.

Toutes ces situations favorables à des pics de pollution se terminent généralement rapidement, soit par la mise en place de régimes perturbés, qui apportent des précipitations et du vent, soit par l'apparition de vents plus forts, même si les conditions anticycloniques persistent. Les caractéristiques et les différenciations de ces types de situations méritent une analyse détaillée dans le

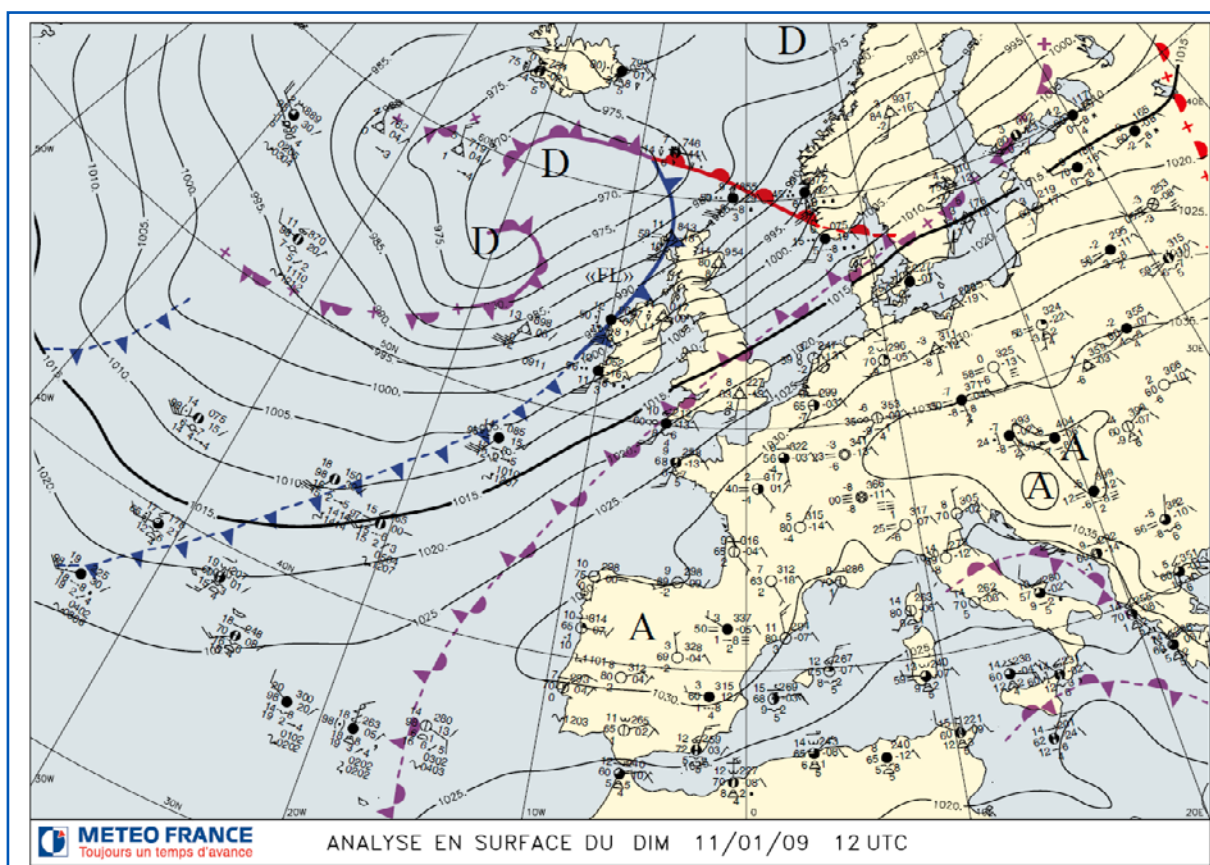


Figure 1

Situation météorologique synoptique du 11 janvier 2009 à 12h UTC (source : Météo-France).
 Synoptic weather situation, 11 January 2009, 1200 GMT.

cadre topographique et géographique spécifique du fossé rhénan méridional.

Épisode anticyclonique du 9 au 15 janvier 2009

L'épisode de janvier 2009 a été caractérisé par une dispersion très difficile des polluants émis localement dans le Bas-Rhin, tandis que dans le Haut-Rhin, à proximité de Mulhouse et de Bâle, les concentrations de PM₁₀ n'ont guère dépassé le seuil de recommandation.

La situation météorologique du 9 au 13 janvier (figure 1) est caractérisée par une vaste zone anticyclonique stationnaire, qui s'étend de l'Espagne, à la France jusqu'en Europe orientale et rejette plus au nord le flux perturbé d'ouest qui dirige des masses d'air océanique doux sur les Iles Britanniques et la Scandinavie. De l'air très froid stagne dans les basses couches (minima de -10 à -15 °C), surmonté par une atmosphère réchauffée et asséchée par une forte subsidence : le radiosondage de Stuttgart du 11 jan-

vier à 12h UTC (figure 2) montre bien le maintien d'une couche mince, froide et très stable thermique (-9 °C), surmontée par une forte inversion de température, comportant des températures atteignant 2 à 3 °C entre 800 et 1 500 mètres d'altitude.

Une analyse fine des conditions météorologiques en Alsace révèle des températures largement négatives entre le 9 et le 12 janvier (minima de -10 à -15 °C, maxima de -6 à -2 °C dans le Bas-Rhin), avec du brouillard givrant qui se lève localement, tard en début d'après-midi et des vents variables et faibles. Toutefois, le 12 janvier, le vent de sud-ouest, qui s'établit modérément au-dessus de la couche, permet une dispersion plus précoce du brouillard et des stratus. Dans le Sud de l'Alsace, un vent sensible de secteur sud apparaît aux stations de Colmar et de Mulhouse-Bâle. Cette tendance s'accroît le 13 janvier, alors que le vent demeure très faible dans le Bas-Rhin : la couche d'air froid proche du sol demeure découplée de la circulation générale d'altitude, qui s'oriente à l'ouest-sud-ouest,

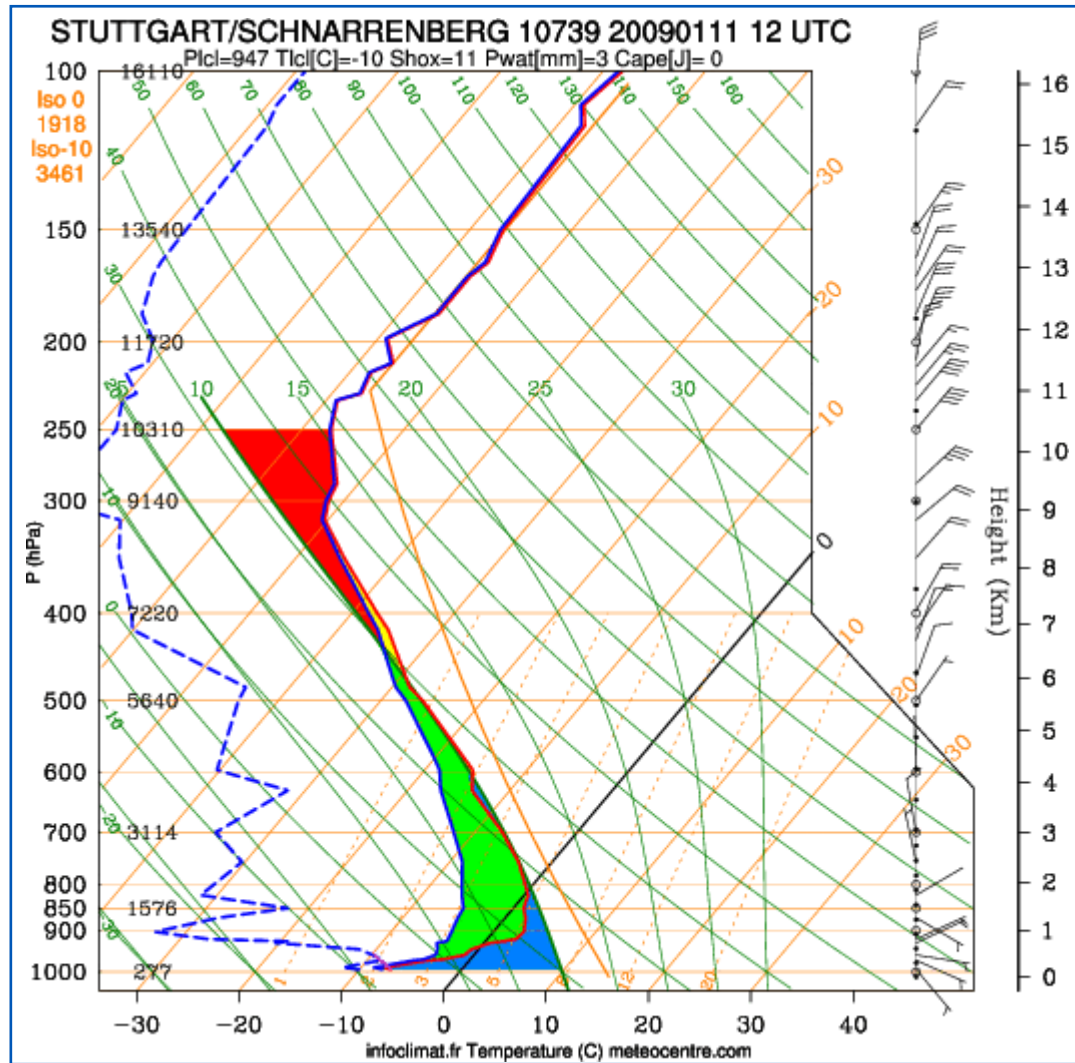


Figure 2

Radiosondage de Stuttgart du 11 janvier 2009 à 12h UTC (source : Centre Météo UQAM).
 Radiosonde investigation in Stuttgart, 11 January 2009, 1200 GMT.

comme le montrent bien les radiosondages de Stuttgart et d'Idar-Oberstein (Palatinat) le 13 à 0h et 12h UTC, non représentés dans cet article. Vers la fin de la nuit du 13 au 14 janvier, les conditions météorologiques deviennent favorables à la dispersion des polluants, avec le passage d'un front qui apporte de la pluie verglaçante et un peu de neige, ainsi qu'une meilleure ventilation des basses couches.

Épisode du 7 au 12 février 2010 avec advection de masses d'air venant de l'est.

Le 7 février, des conditions anticycloniques, établies du Nord de la France à la Pologne, sont favorables à l'établissement de masses d'air

stables, qui s'effacent le 9 février en relation avec le développement d'une dépression sur la Méditerranée occidentale qui dirige un flux rapide de secteur est sur le Nord-Est de la France.

La carte synoptique (figure 3) montre bien que les masses d'air provenant du Sud de la Pologne se déplacent de plus en plus rapidement sous l'effet du renforcement du gradient de pression sur l'Allemagne, les 10 et le 11 février (figure 4).

Le temps en Alsace est couvert avec de faibles chutes de neige, avec un vent vif de nord à nord-est, canalisé selon l'axe du fossé rhénan, tandis que sur la figure 5, le radiosondage de Stuttgart le 12 à 12h UTC indique un flux fort à composante est dans la moyenne troposphère et une atmosphère plutôt instable.

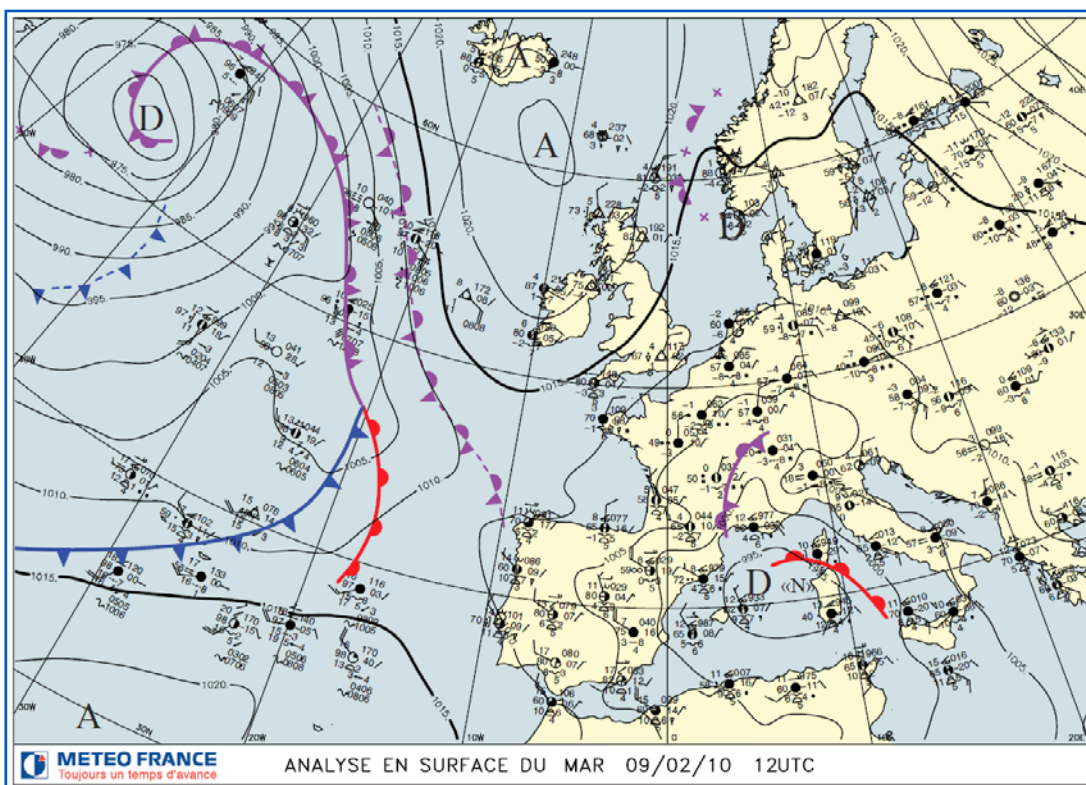


Figure 3

Situation météorologique synoptique du 9 février 2010 à 12h UTC (source : Météo-France).
Synoptic weather situation, 9 February 2010, 1200 GMT.

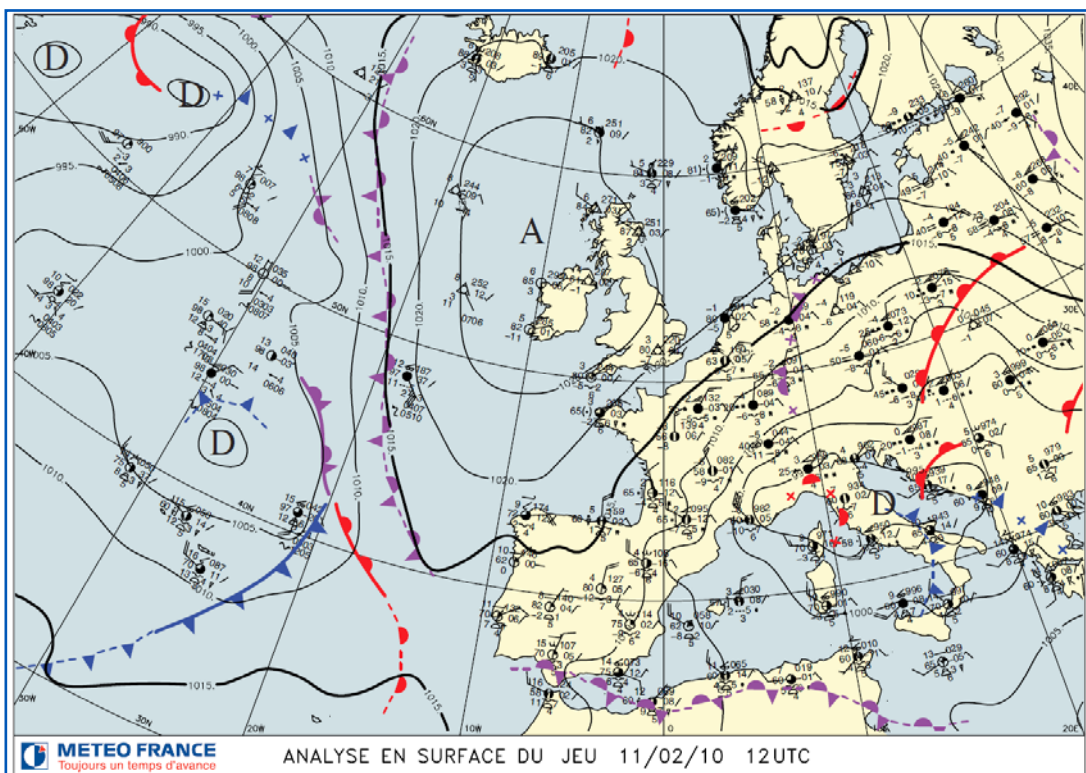


Figure 4

Situation météorologique synoptique du 11 février 2010 à 12h UTC (source : Météo-France).
Synoptic weather situation, 11 February 2010, 1200 GMT.

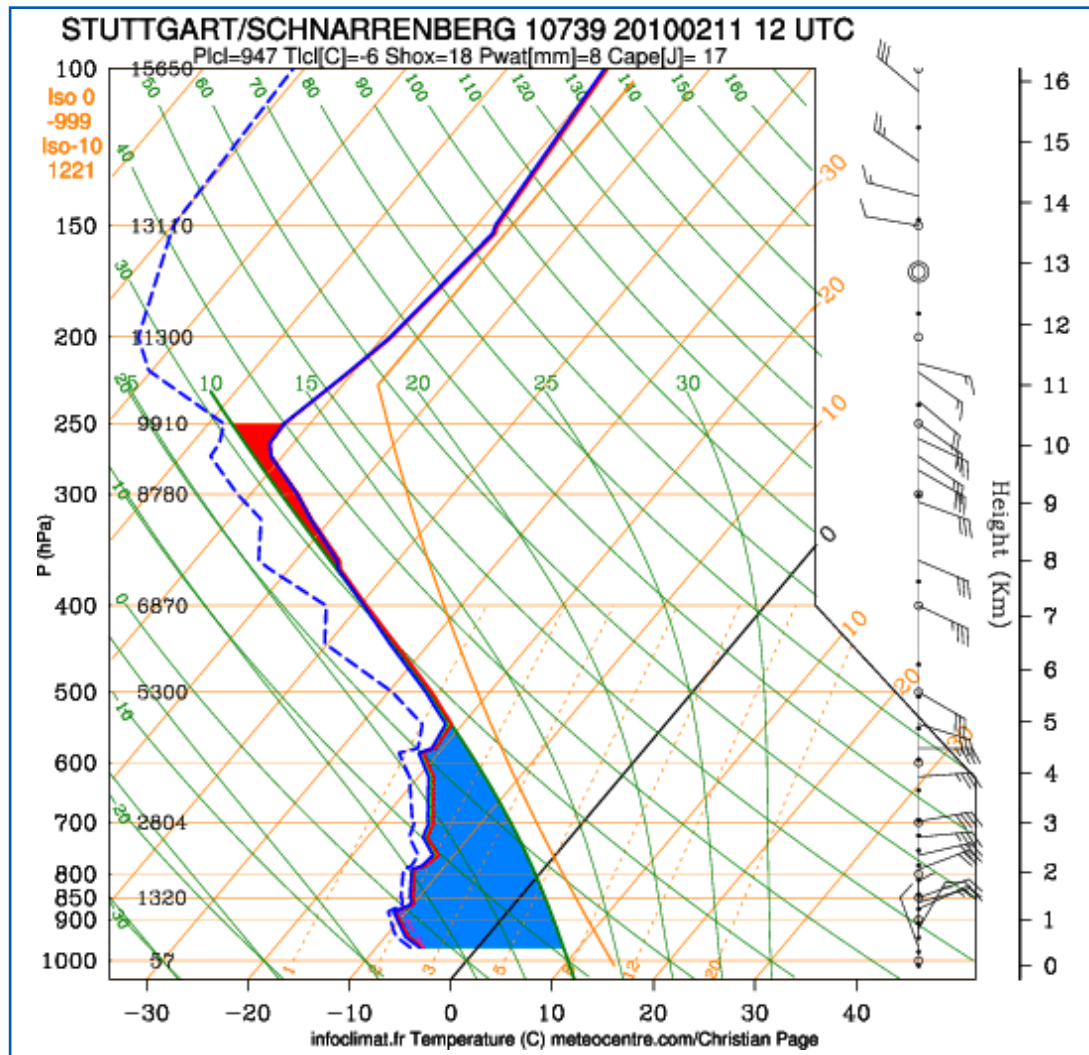


Figure 5

Radiosondage de Stuttgart du 11 février 2010 à 12h UTC (source : Centre Météo UQAM).
[Radiosonde investigation in Stuttgart, 12 February 2010, 1200 GMT.](#)

Il apparaît ainsi clairement que les fortes valeurs de concentration des PM₁₀ des 12 et 13 février en Alsace sont principalement d'origine transfrontalière.

Épisode de beau temps de début de printemps (7 au 15 mars 2014)

L'épisode du 7 au 15 mars 2014 a été caractérisé par une longue période anticyclonique très ensoleillée, durant laquelle une atmosphère très brumeuse (5 à 10 km) a persisté presque sans discontinuité (brume sèche). Une inversion thermique de subsidence, qui était le plus souvent située à une altitude comprise entre 1 000 et 1 500 m a été favorable à une concentration plus modérée des particules qu'en janvier 2009. Une

vaste zone de hautes pressions s'étend depuis le 6 mars de l'Espagne à la Pologne et au-delà, et bloque sur les Iles Britanniques la progression vers l'est des perturbations atlantiques. Les vents sont faibles en Alsace avec une direction orientée au nord-est et des masses d'air stables dans la basse troposphère.

La figure 6 montre, le 10 mars, l'apparition d'un second anticyclone centré sur l'Irlande, qui renforce le flux de nord-est à est. Celui-ci apparaît remarquablement bien sur la carte synoptique détaillée du 11 mars pour l'Europe centrale du Berliner Wetterkarte. Cette configuration du champ de pression peut favoriser des apports de polluants venant de l'est, ce qui est confirmé par les rétrotrajectoires.

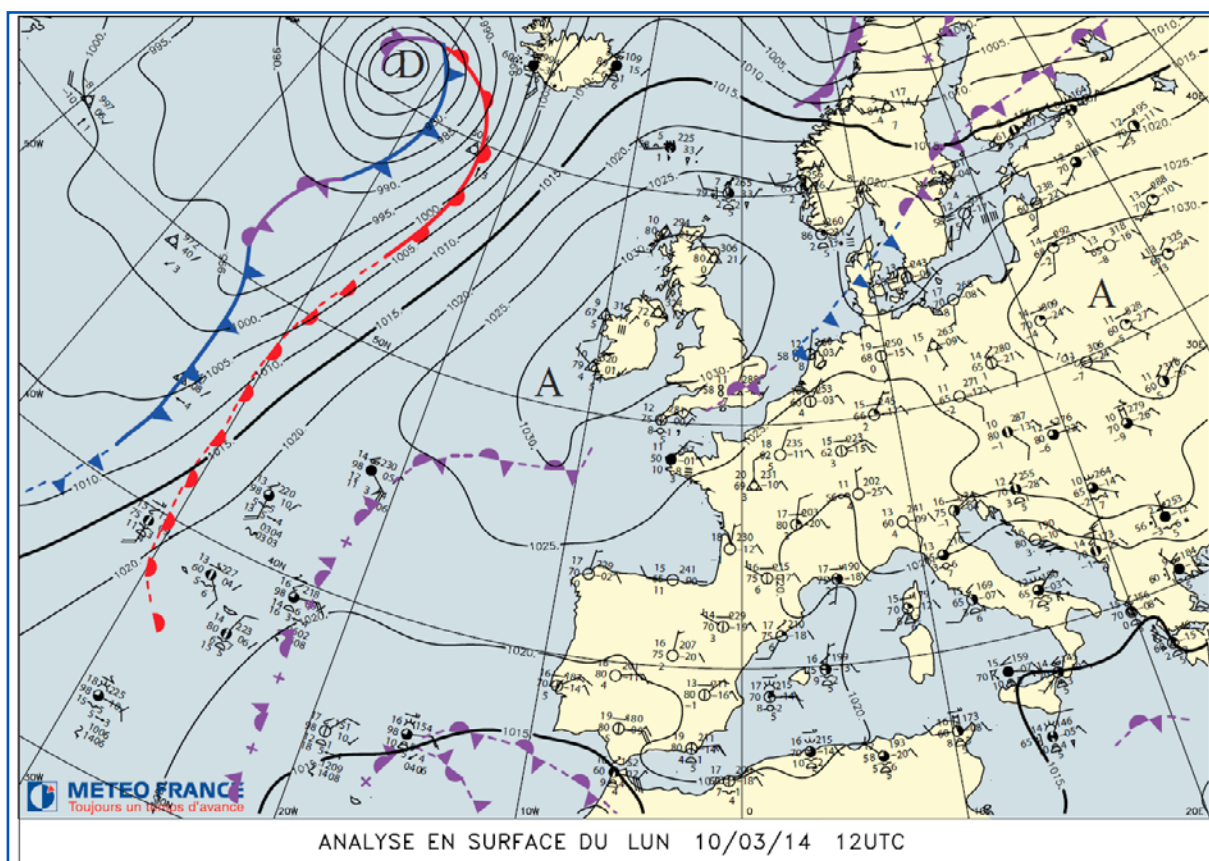


Figure 6

Situation météorologique synoptique du 10 mars 2014 à 12h UTC (source : Centre Météo UQAM/ Météo-France.

Synoptic weather situation, 10 March 2014, 1200 GMT.

Enfin, l'exemple du radiosondage de Stuttgart du 10 mars à 0h (figure 7) confirme bien que l'inversion de rayonnement près du sol est quasi inexistante, à cause de l'effet du vent synoptique, tandis que la basse troposphère apparaît très stable jusqu'au niveau 850 hPa (vers 1 500 m). Les derniers jours de l'épisode, à partir du 12 mars, sont caractérisés par un retour à un gradient de pression quasi nul, qui engendre des vents variables et faibles, favorables à la concentration de PM₁₀ d'origine locale. Le 15 mars, l'arrivée d'un flux de nord-ouest, rapide et turbulent, marque la fin de l'épisode de pollution.

Origine des particules PM₁₀ durant les trois pics de pollution

Émises localement, formées à partir d'autres composés ou encore importées, les particules PM₁₀ constituent une pollution complexe car d'origine multiple.

Les particules PM₁₀ sont émises directement (particules primaires) par des activités anthropiques telles que le trafic routier (camions et voitures Diesel), les installations de chauffage (charbon, fioul, bois), l'industrie et l'agriculture, mais également par des phénomènes naturels ou physiques tels que l'érosion ou la resuspension par le vent ou la turbulence liée au trafic routier. En Alsace et durant l'hiver, le trafic routier (resuspension comprise) et le chauffage sont les principaux émetteurs anthropiques de particules PM₁₀ (figure 8), alors que l'agriculture est peu émettrice de particules primaires à cette saison.

Les particules PM₁₀ peuvent également se former dans l'atmosphère par des phénomènes microphysiques ou par des réactions chimiques à partir d'autres composés émis (c'est le cas du nitrate d'ammonium), il s'agit alors de particules secondaires. Enfin, des PM₁₀ primaires ou secondaires, issues de sources anthropiques ou naturelles, peuvent être importées de régions voisines ou plus lointaines.

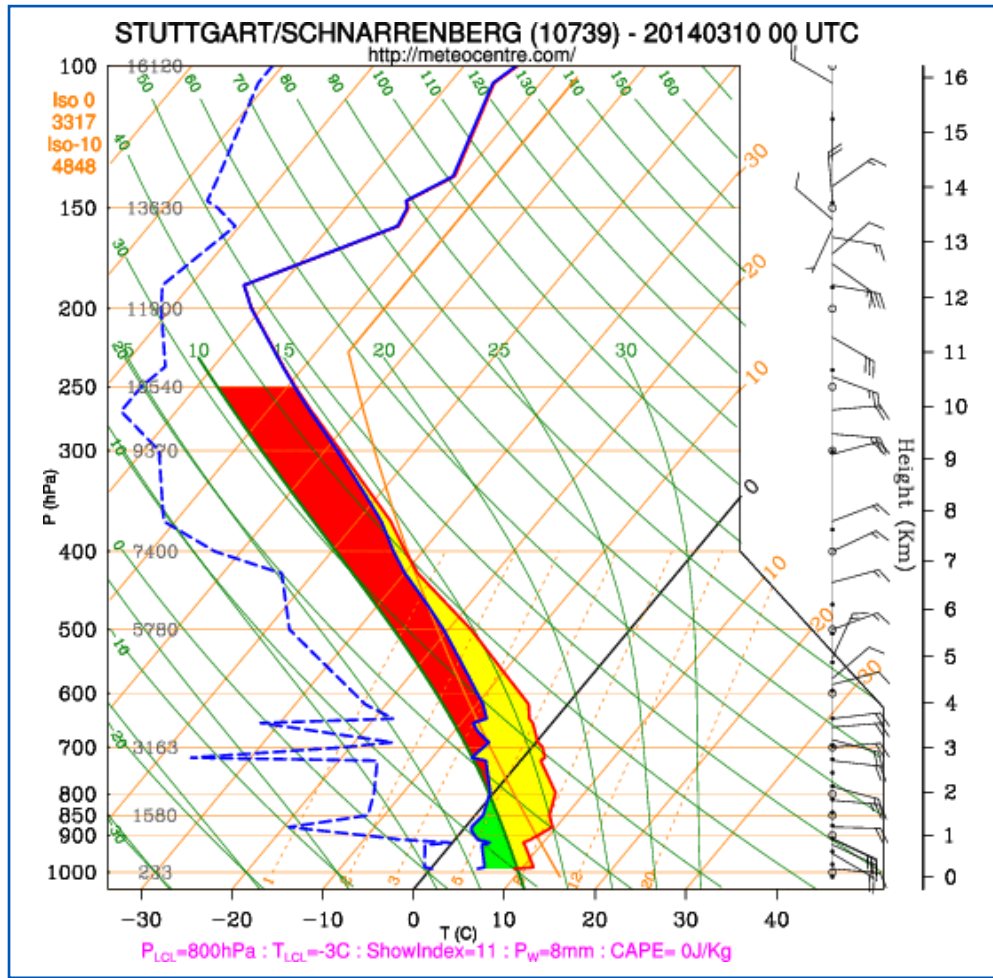


Figure 7

Radiosondage de Stuttgart du 10 mars 2014 à 12h UTC (source : Centre Météo UQAM).
 Radiosonde investigation in Stuttgart, 10 March 2014, 1200 GMT.

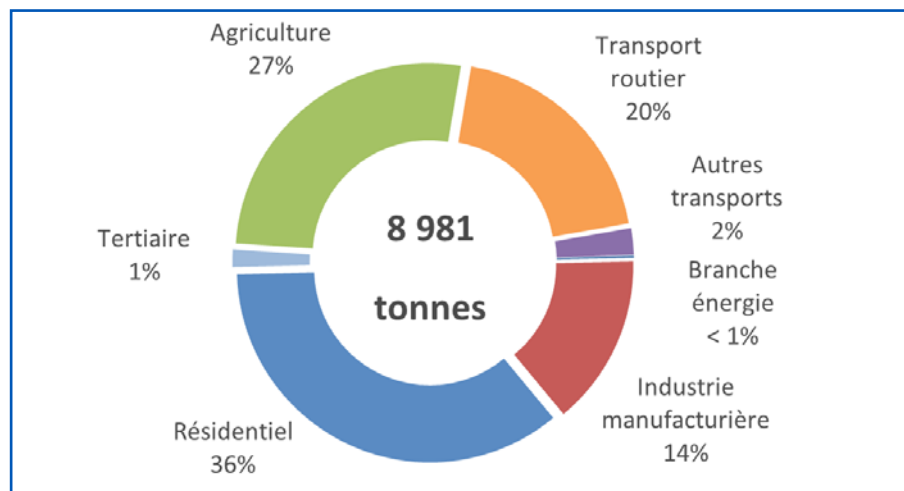


Figure 8

Répartition des émissions annuelles de particules PM₁₀ en Alsace par secteur pour l'année 2012.
 Distribution of annual PM₁₀ emissions for each sector in Alsace for 2012.

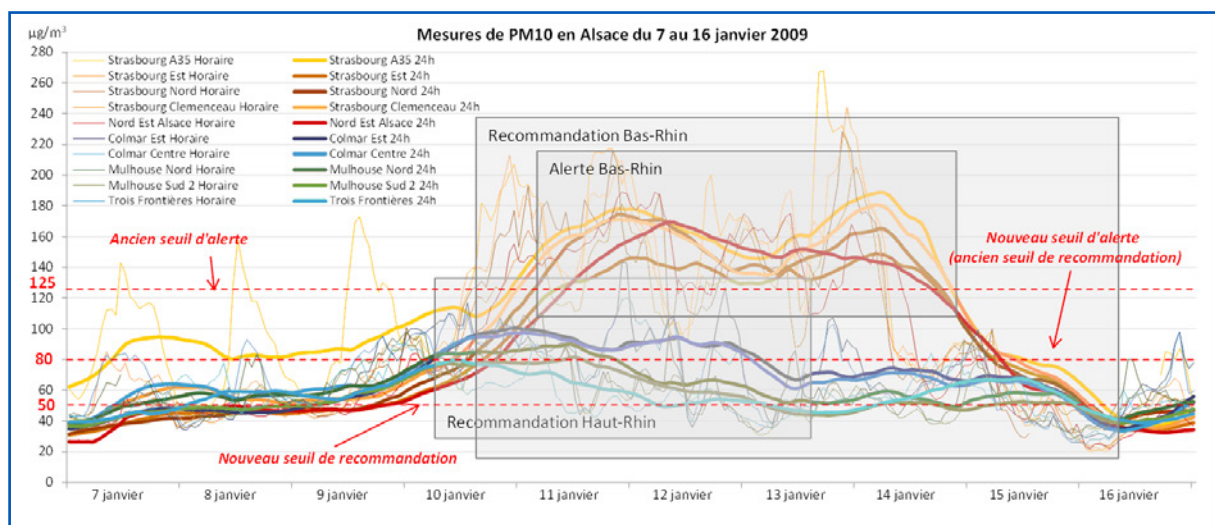


Figure 9

Mesures de PM_{10} en Alsace du 7 au 16 janvier 2009, en moyennes horaires et moyennes glissantes sur 24 h.

PM_{10} measurements in Alsace from 7 to 14 January 2009, hourly averages and moving averages over 24 hours.

Les conditions météorologiques régissent le transport des masses d'air, la dispersion et le lessivage, mais aussi les émissions (davantage d'émissions liées au chauffage ou aux moteurs froids lorsque les températures baissent) et les réactions chimiques (formation photochimique du nitrate d'ammonium). La météorologie agit donc de façon multiple sur les concentrations de particules PM_{10} , et peut donc aussi bien provoquer ou accentuer les épisodes de pollution que permettre de les résorber.

Pour pouvoir prendre en compte tous ces phénomènes à l'échelle régionale, l'ASPA met en œuvre deux outils de simulation : le modèle de météorologie WRF et le modèle de chimie-transport CHIMERE, qui permettent de simuler ou prévoir la qualité de l'air de façon spatialisée.

Épisode du 9 au 15 janvier 2009 : pollution locale et niveaux historiques

Description de l'épisode en lien avec la météorologie

Le 9 janvier 2009, dans les premières couches de l'atmosphère, sous l'inversion de température, les concentrations de particules poursuivent la hausse amorcée les jours précédents avec dépassement de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$, seuil actuel d'information de la population en vigueur depuis février 2012 (figure 9).

Le 10 janvier, alors que les niveaux continuent de monter rapidement dans le Bas-Rhin, les niveaux dans le Haut-Rhin se stabilisent avec franchissement néanmoins pendant plusieurs jours du seuil d'alerte actuel. Dans la journée du 12 janvier, le vent de sud-ouest en altitude permet aux niveaux de baisser sensiblement dans le Bas-Rhin, sans toutefois les laisser passer en dessous du seuil d'alerte actuel de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$ (figure 10).

Les niveaux remontent les 13 et 14 janvier, lorsque la couche près du sol se découple de la circulation d'altitude. Pendant ce temps, sous le vent sensible, doucement les niveaux baissent dans le Haut-Rhin. Dans l'après-midi du 14 janvier, avec le passage du front, l'épisode se résorbe. Le 15 janvier, les niveaux repassent en dessous du seuil d'alerte, et le 16 janvier en dessous du seuil d'information actuel.

Au bilan, des niveaux historiques de particules ont été atteints lors de cet épisode, avec le 14 janvier à Strasbourg $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h en proximité du trafic et $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h en fond urbain. Toute l'Alsace du Nord a été également soumise à des niveaux de pollution élevés : jusqu'à $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h au maximum à Nord-Est Alsace.

Origine des particules durant l'épisode

Les scénarios modélisés (figures 11 et 12)

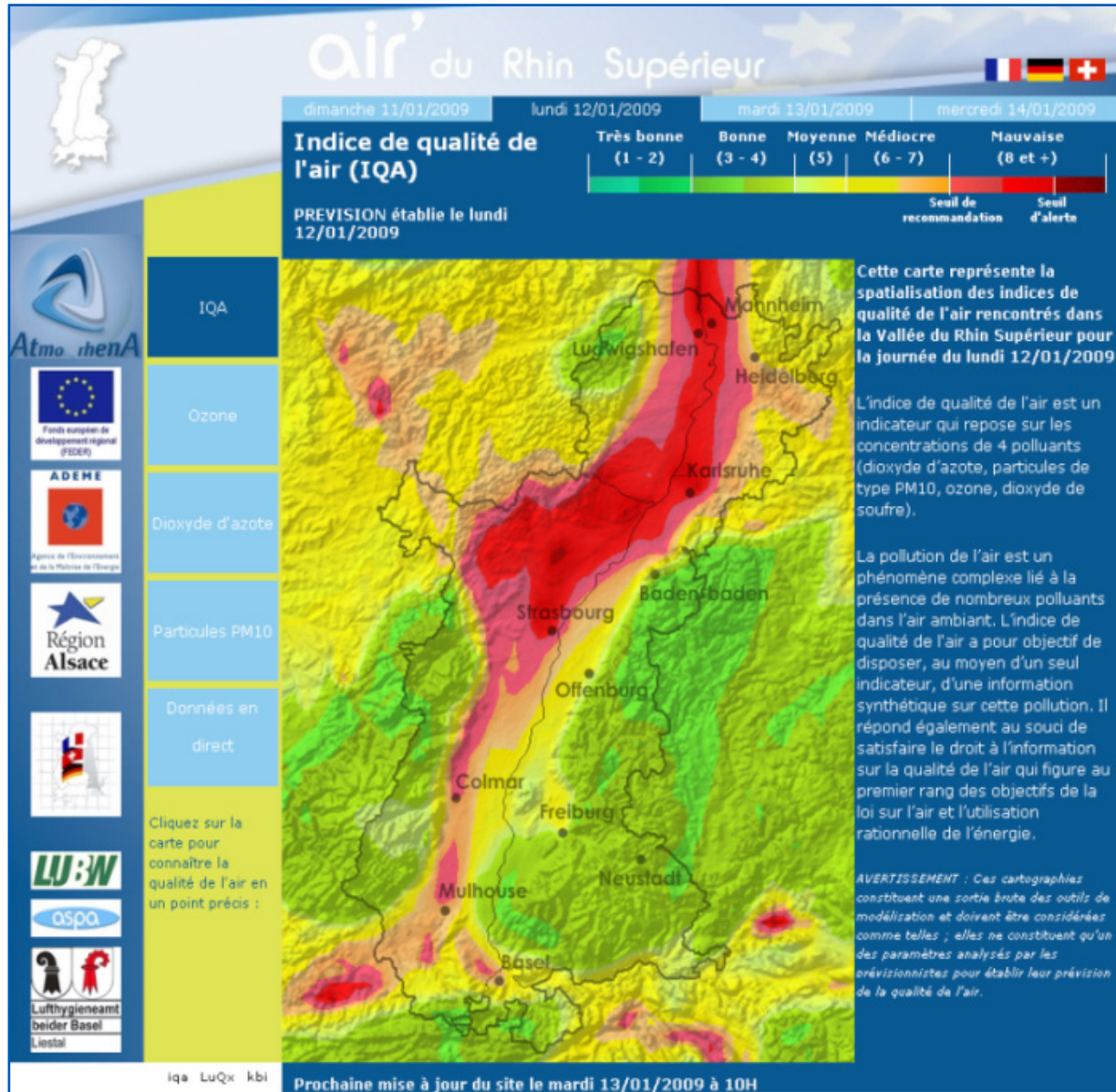


Figure 10

Carte de prévision régionale diffusée le lundi 12 janvier 2009 sur le site Internet de l'ASPA, avec seuils de recommandation et d'alerte, conformément à l'arrêté préfectoral du 9 juin 2004.
 Regional forecast map broadcasted on Monday, 12 January 2009 on the ASPA Internet website, according to recommendation and alert thresholds of the prefectural decree of 9 June 2004.

montrent que pendant les journées du 9 au 15 janvier 2009, qui ont présenté des niveaux de concentrations supérieurs au seuil d'information, la contribution des émissions atmosphériques alsaciennes aux concentrations observées était comprise entre 60 % et 80 % dans les agglomérations de Strasbourg, Mulhouse, Colmar, ainsi que dans d'autres villes en plaine d'Alsace (Saverne, Molsheim, Sélestat, Ribeauvillé, Guebwiller, Thann ou Altkirch). Dans le reste de la plaine, cette contribution s'échelonnait de 20 à

60 %. Seules les limites de la région et les sommets vosgiens étaient faiblement influencés par les émissions alsaciennes et davantage par les imports de particules des régions voisines comme la Rhénanie Palatinat ou le Bade-Wurtemberg.

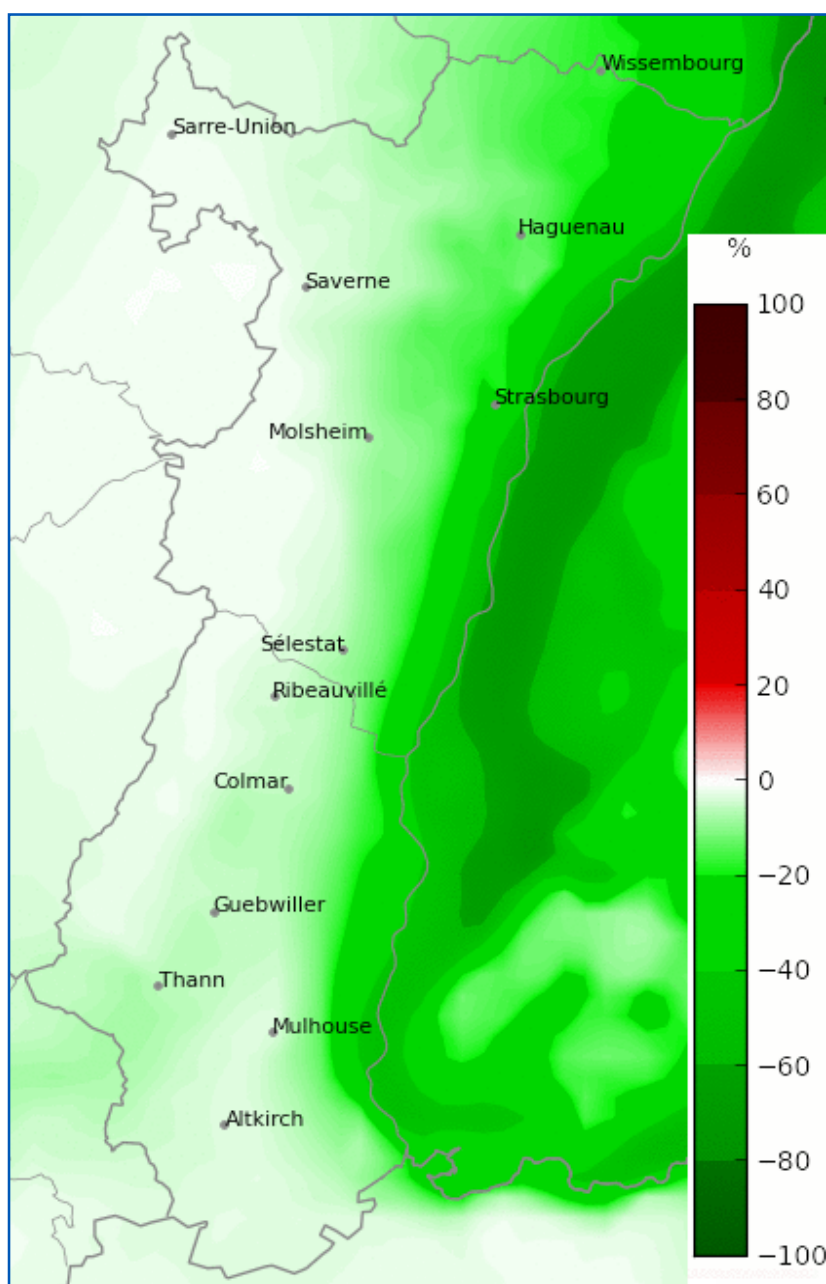


Figure 11

Carte des pourcentages de particules PM_{10} provenant des émissions anthropiques alsaciennes, obtenues avec CHIMERE par la méthode de coupure.

Map presenting the share of PM_{10} from Alsatian anthropogenic origin in percentage, obtained with CHIMERE with the zero method.

Épisode du 7 au 12 février 2010 : une pollution importée

Description de l'épisode en lien avec la météorologie

À partir du 7 février 2010, à la faveur des conditions anticycloniques, les niveaux de particules augmentent progressivement en plaine

d'Alsace (figure 13).

Le 8 février 2010 au soir, dans le Haut-Rhin (Sud de la région), les concentrations de PM_{10} dépassent le seuil 24h de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors qu'elles restent inférieures à cette valeur dans le Bas-Rhin. L'installation alors d'un régime de vent soutenu aurait pu permettre une dispersion de la pollution accumulée. Mais après une courte

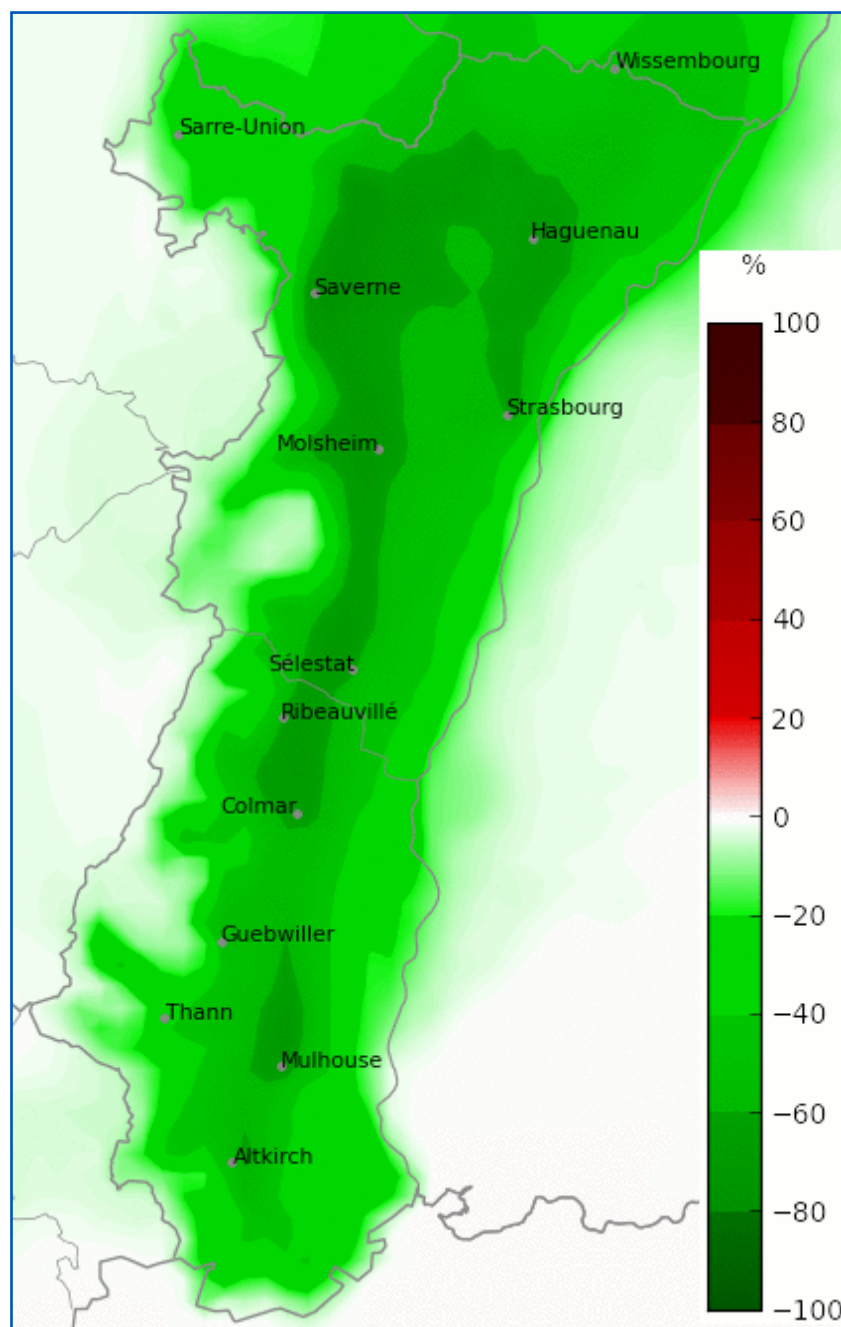


Figure 12

Carte des pourcentages de particules PM_{10} provenant des émissions anthropiques allemandes, obtenues avec CHIMERE par la méthode de coupure.

Map presenting the share of PM_{10} from German anthropogenic origin in percentage, obtained with CHIMERE with the zero method.

baisse en fin de matinée du 10 février dans toute la région, les niveaux augmentent partout l'après-midi du 10 février.

Le 11 février 2010, un premier pic de concentrations de PM_{10} est observé au Nord de l'Alsace puis à Strasbourg. Quelques heures plus tard, un pic similaire est relevé dans le Sud de la région,

à Colmar puis Mulhouse, la masse d'air ayant été poussée par le vent vif le long du fossé rhénan. Ce pic est résorbé immédiatement avant midi dans le Nord de la région et en début d'après-midi dans le Sud, révélant la fin de la traversée du fossé rhénan du nord au sud par une masse d'air chargée en particules.

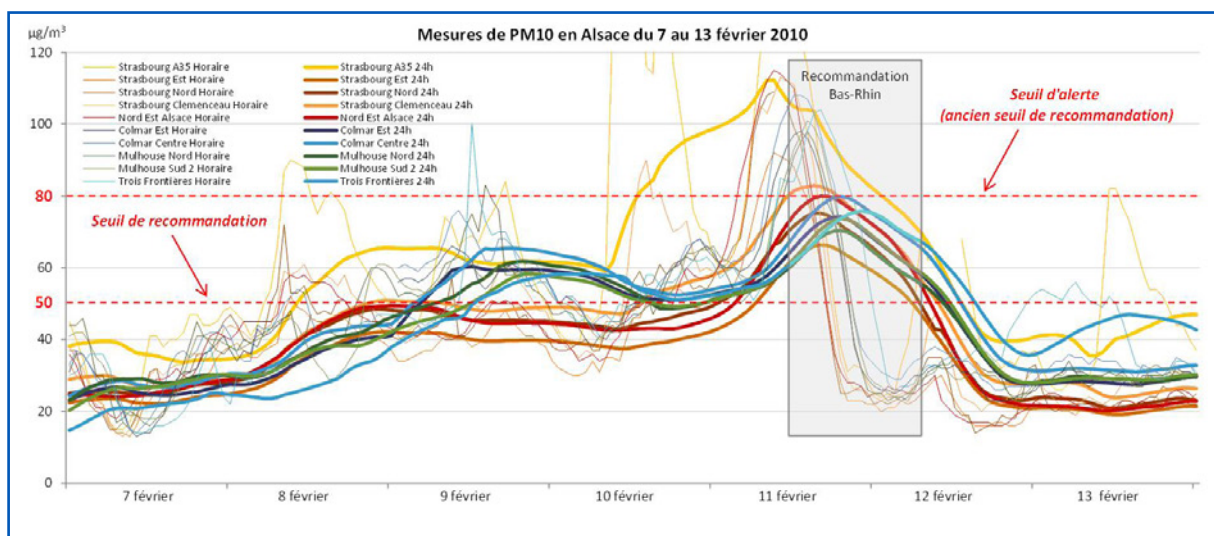


Figure 13

Mesures de PM₁₀ en Alsace du 7 au 13 février 2010, en moyennes horaires et moyennes glissantes sur 24h.

PM₁₀ measurements in Alsace from 7 to 13 February 2010, hourly averages and moving averages over 24 hours.

Origine des particules durant l'épisode

Les cartes de mesures de particules PM10 interpolées spatialement sur l'Allemagne pour les 8, 9, 10 et 11 février 2010 (figure 14) font apparaître clairement la masse d'air chargée en particules PM10 qui se déplace d'est en ouest puis vers le sud. Pour cet épisode, il est donc davantage question d'origine géographique dominante des particules PM10, que d'émissions locales ou de composés secondaires formés localement.

Épisode du 7 au 15 mars 2014 : le cas printanier

Description de l'épisode en lien avec la météorologie

À partir du 6 mars 2014, à la faveur des conditions anticycloniques ensoleillées, les moyennes de PM10 augmentent linéairement pour atteindre le seuil d'information (50 µg/m³) d'abord dans le Bas-Rhin puis dans le Haut-Rhin (figure 15).

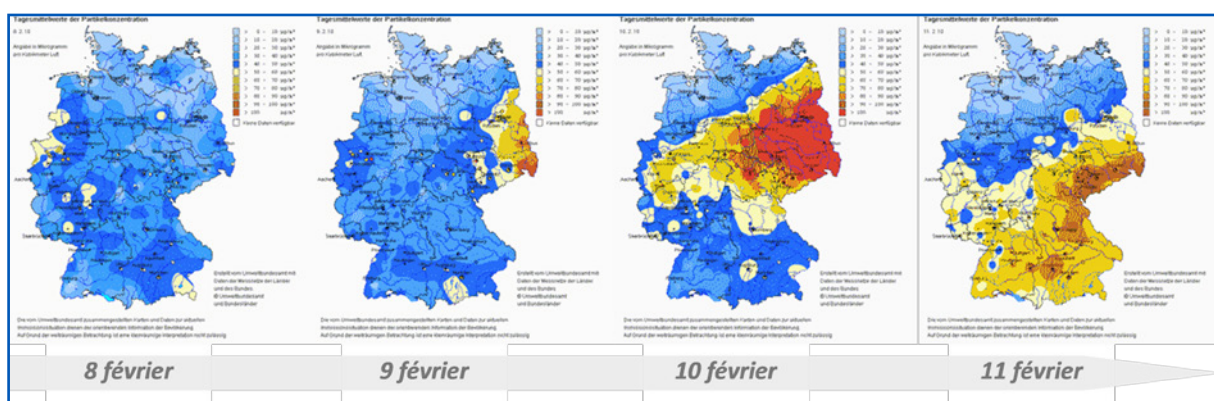


Figure 14

Cartes des mesures de particules PM10 interpolées spatialement sur l'Allemagne pour les 8, 9, 10 et 11 février 2010 (source : Umweltbundesamt).

Geographically interpolated map of PM10 measurements over Germany for the 8, 9, 10 and 11 February 2010, provided by the Umweltbundesamt.

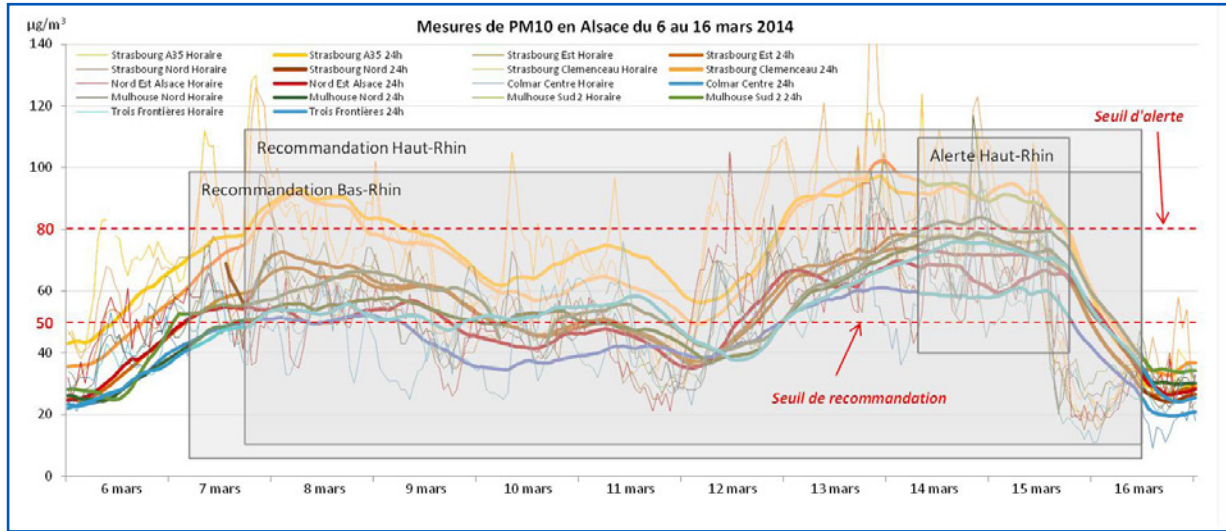


Figure 15

Mesures de PM10 en Alsace du 6 au 16 mars 2014, en moyennes horaires et moyennes glissantes sur 24h.

PM10 measurements in Alsace from 6th to 16th March 2014, hourly average and moving averages over 24 hours.

Puis les niveaux continuent d'augmenter, et le seuil d'alerte ($80\mu\text{g}/\text{m}^3/24\text{h}$) est largement dépassé dans le Bas-Rhin aux abords de routes à trafic intense. Les 10 et 11 mars, la configuration du champ de pression est propice à des apports de masses d'air de l'est, visiblement moins chargées en particules.

En revanche, du 13 au 15 mars, le gradient de pression quasi nul entraîne une stagnation de la masse d'air avec accumulation des particules émises localement : le seuil d'alerte est à nouveau dépassé en proximité du trafic dans le Bas-Rhin et est presque atteint en situation de fond et sur le Haut-Rhin. Le 15 mars, l'épisode de pollution se résorbe grâce à l'arrivée de conditions

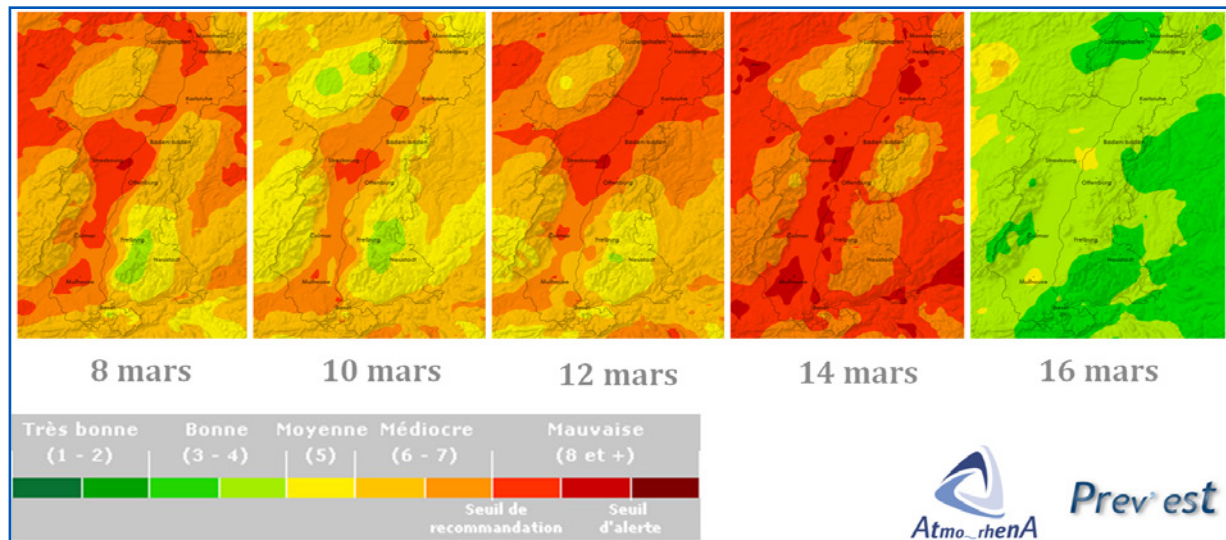


Figure 16

Cartes de prévision régionale diffusées du 8 au 16 mars 2014 sur le site Internet de l'ASPA, avec seuils de recommandation et d'alerte, conformément à l'arrêté préfectoral du 9 juin 2004 modifié le 1^{er} février 2012.

Regional forecast map broadcasted from the 8 to the 16 March 2014 on the ASPA Internet website, according to recommendation and alert thresholds of the prefectural decree of 9 June 2004 modified the 1st February 2012.

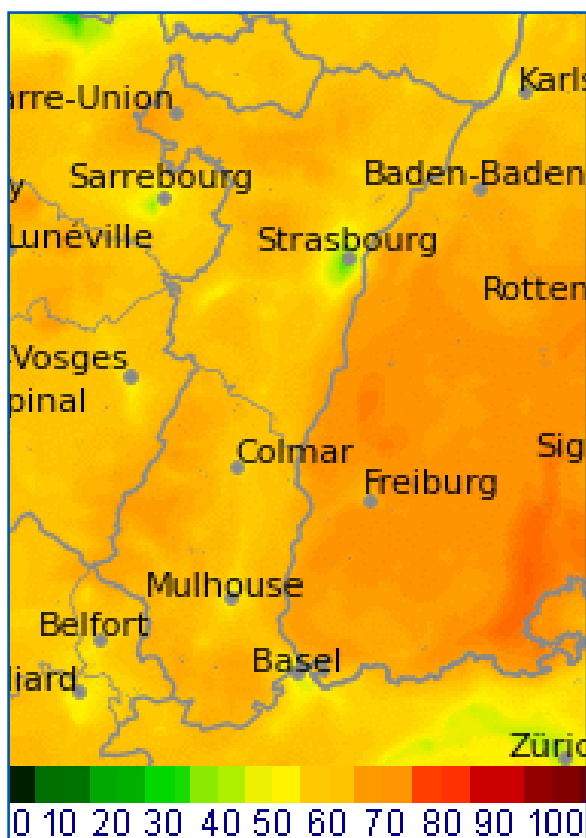


Figure 17

Part (en %) du nitrate d'ammonium dans les concentrations en PM₁₀ calculée par PREVEST en mars 2014

Share of ammonium nitrate in PM₁₀ concentrations in %, simulated by PREVEST in March 2014

météorologiques propices à la dispersion des particules dans l'atmosphère (figure 16).

Origine des particules durant l'épisode

Dans le cas de cet épisode printanier, du 7 au 16 mars 2014, la part du nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) dans les particules PM₁₀ a pu dépasser 50 % (figure 17).

Ces particules se sont formées dans l'atmosphère (particules secondaires) à partir de la combinaison d'ammoniac (d'origine agricole) et d'oxydes d'azote (majoritairement issus du trafic routier), sous l'action du rayonnement solaire (photochimie). Ce nitrate d'ammonium a été pour partie produit localement (à partir de précurseurs locaux ou importés), et pour partie importé de régions voisines.

Pour la journée du 14 mars qui a présenté les niveaux de concentrations les plus élevés, la contribution des émissions alsaciennes aux concentrations observées a été d'environ 60 % (figure 18). Les 40 % restants ont été importés ou formés à partir de précurseurs importés.

Gestion

La directive européenne relative à la qualité de l'air et Un Air pur pour l'Europe mettent l'accent sur la surveillance et la gestion des particules qui, avec l'ozone l'été, représentent le principal enjeu sanitaire lié à la pollution atmosphérique. Des valeurs limites annuelles et journalières transposées en droit français permettent de gérer le fond permanent, et des valeurs seuils pour l'ozone, complétées en droit français par des valeurs seuils pour les particules PM₁₀ réglementent la

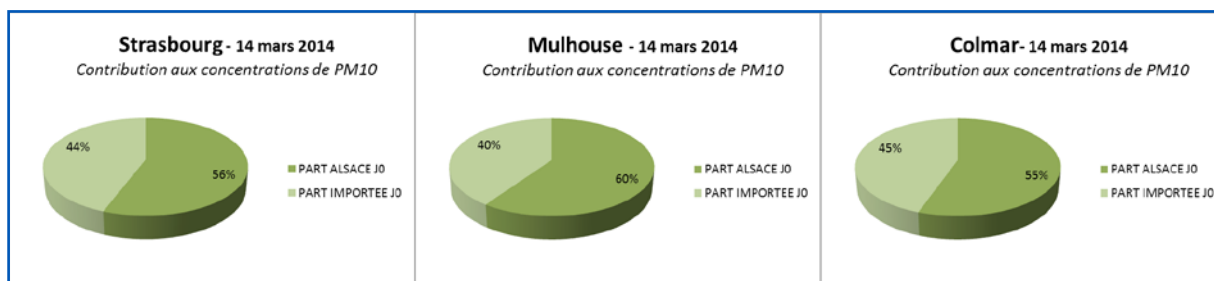


Figure 18

Parts de particules PM₁₀ provenant des émissions locales anthropiques alsaciennes, et part de particules importées, par utilisation de la méthode de coupure avec CHIMERE.

Share of PM₁₀ particles from local Alsatian anthropogenic origin, and share of imported PM₁₀, obtained with CHIMERE with the zero method.

gestion des épisodes de pollution.

D'après le Haut Conseil de la Santé Publique, l'impact sanitaire cumulé de la pollution atmosphérique dépend plus des nombreuses journées à pollution moyenne que des pics épisodiques. D'où l'intérêt des politiques d'amélioration permanente de la qualité de l'air, tout en gérant les pics.

En Alsace, les préfetures ont été pionnières pour les particules, en mettant en place des procédures d'information et de mesures d'urgence depuis près de 20 ans. Ces procédures révisées en 2004 puis 2012 sont régulièrement mises en œuvre au cours des périodes hivernales. Par délégation préfectorale, l'ASPA informe la population et transmet les recommandations préfectorales sanitaires et comportementales au-delà d'un premier seuil dit de recommandations. Au-delà du second seuil dit d'alerte, l'ASPA transmet à la population des recommandations renforcées, et le Préfet déclenche le cas échéant des mesures d'urgence.

Le seuil d'alerte actuellement en vigueur en Alsace, conformément aux arrêtés préfectoraux du 10 juillet 1997 (Bas-Rhin) et du 14 août 1997 (Haut-Rhin) révisés par les arrêtés préfectoraux du 9 juin 2004 et modifiés le 1^{er} février 2012, s'élève à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 24h, et le seuil de recommandations à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 24h. Les exigences ont été renforcées car avant la modification du 1^{er} février 2012, le seuil d'alerte était fixé à $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne glissante sur 24h, alors que $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondait au seuil de recommandations.

En cas de déclenchement de procédure préfectorale d'information ou d'alerte, l'ASPA mobilise ses agents d'astreinte 24h/24 et 7J/7 pour suivre les niveaux de concentrations en particules, et par délégation préfectorale informe la population et les autorités de l'évolution de la situation, et transmet quotidiennement les recommandations comportementales des préfets et les recommandations sanitaires de l'Agence Régionale de Santé *via* les médias, messageries, web et réseaux sociaux. Une diffusion particulière est réalisée auprès des relais des personnes sensibles : réseaux de médecins, hôpitaux, rectorat, lieux de la petite enfance, maisons de retraite, association des insuffisants respiratoires, comités départementaux sportifs.

S'agissant des épisodes de pollution, l'Euro-

métropole de Strasbourg, le Conseil Général du Bas-Rhin, la ville de Mulhouse et bientôt la ville de Colmar disposent de plans volontaires à court terme pour l'ozone et les particules en accompagnement des procédures préfectorales. Ces dernières seront d'ailleurs bientôt révisées dès la signature en cours d'un nouvel arrêté interministériel prévoyant le passage en alerte en cas de persistance de procédure d'information.

Sur la durée, l'amélioration continue se fait à travers les plans à moyen terme et long terme de protection atmosphérique, de déplacements urbains, d'urbanisme, de santé, etc., en lien avec la transition climatique et énergétique, cadrés par le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie porté par la Région Alsace et l'État. Cela se traduit par des actions concertées de longue haleine qui touchent toutes les activités humaines : transports, chauffage, industries, logements, agriculture, etc.

Toutes ces actions locales en lien avec les actions nationales et européennes ont conduit à des bilans annuels à la baisse pour la plupart des indicateurs, et ont pour vocation d'accélérer cette baisse pour passer sous les normes de santé et protéger en priorité les populations les plus vulnérables et les plus exposées.

Épisode du 9 au 15 janvier 2009

Après avoir entraîné le déclenchement d'une procédure d'information et de recommandations sur le Haut-Rhin, les niveaux de pollution ont nécessité, conformément aux seuils en vigueur en 2009, la mise en place d'une procédure graduée de recommandations puis d'alerte à la population sur le Bas-Rhin durant les quatre journées du 12 au 15 janvier 2009.

L'intensité et la durée de l'épisode ont engendré une mobilisation des gestionnaires de la qualité de l'air. Des recommandations préfectorales ont été émises pour limiter les rejets du trafic routier et des installations de chauffage, industrielles et agricoles. Au niveau d'alerte, la préfecture du Bas-Rhin a réglementairement limité la vitesse sur les principaux axes routiers strasbourgeois. Le Conseil Général du Bas-Rhin et la Communauté Urbaine de Strasbourg ont volontairement mis en place des tarifs préférentiels et jusqu'à une journée de gratuité pour le Réseau 67 de bus interurbains. Ces recommandations et mesures visent en particulier le transfert des usagers vers



Figure 19

Page d'accueil du site web de l'ASPA, le 13 janvier 2009 : cartes urbaines et régionales de qualité de l'air, et alerte activée.

Homepage of the ASPA website on 9 January 2009: urban and regional air quality maps and activated alert warning.

les transports collectifs afin de réduire l'exposition des populations, notamment à proximité des grands axes de circulation.

Épisode du 7 au 12 février 2010

Lors de cet épisode de pollution, les nouveaux seuils d'information et d'alerte n'étaient pas encore en vigueur. La procédure préfectorale au seuil d'information a été déclenchée le 11 février dans l'après-midi et levée dès le lendemain, 12 février, en début de matinée.

Le réseau de mesures en direct et la prévision quotidienne réalisée à l'échelle du fossé rhénan et zoomée sur les centres urbains de Strasbourg, Colmar et Mulhouse (figure 19) ont servi d'aide à la prévision en permettant d'anticiper et d'affiner

géographiquement la localisation et le déplacement des masses d'air les plus polluées.

Épisode du 7 au 15 mars 2014 : un épisode de pollution longue durée

Les nouveaux seuils étaient en vigueur, et à la suite de plusieurs dépassements du seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h en PM_{10} sur le réseau de mesures de l'ASPA, les procédures préfectorales d'information et de recommandations à destination des populations ont été déclenchées le 7 mars 2014 sur le Haut-Rhin et le Bas-Rhin. Les niveaux se sont ensuite progressivement élevés

jusqu'à dépasser le seuil d'alerte en situation de fond urbain à Mulhouse, nécessitant le déclenchement de la procédure d'alerte à la population le 14 mars en milieu d'après-midi sur le département du Haut-Rhin. Les conditions d'alerte en fond urbain n'ont pas été réunies sur le Bas-Rhin. Les niveaux de concentrations en PM_{10} ont ensuite décliné à partir du 15 mars, avec une levée de la procédure d'alerte dans le Haut-Rhin le 15 mars en fin d'après-midi et l'ensemble des procédures d'information le 16 mars.

Les conditions de déclenchement de la procédure préfectorale en vigueur en mars 2014 portent sur le dépassement ou risque de dépassement de deux stations de mesures dont une station de fond (urbaine ou rurale), l'autre pouvant être une station de proximité du trafic. Le passage en niveau d'alerte est basé sur un critère de seuil d'alerte plus élevé, sans notion de persistance au seuil d'information plusieurs jours de suite.

Le déclenchement de la procédure d'alerte sur le Haut-Rhin, le vendredi 14 mars, avait été fondé sur le dépassement avéré d'une des stations de fond (Mulhouse Sud) avec risque de dépassement sur une deuxième station de fond (Mulhouse Nord) qui a finalement plafonné quelques heures à $79 \mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ h}$. Du fait que la prévision de la pollution aux particules annonçait une baisse significative des taux de particules dès le lendemain en journée, il n'y a pas eu de déclenchement préfectoral de mesures d'urgence sur la journée du samedi 15 mars.

Pour le Bas-Rhin, et Strasbourg en particulier, le prévisionniste de l'ASPA, s'appuyant notamment sur les modèles de prévisions et sur l'évolution de la masse d'air, avait transmis aux autorités préfectorales du Bas-Rhin et communautaires de Strasbourg le très faible risque de dépassement du seuil réglementaire d'alerte sur les stations de fond, ce qui fut vérifié, les valeurs 24h étant restées proches mais en dessous de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La notion de persistance prévue dans le nouvel arrêté interministériel relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant adopté le 26 mars 2014 prévoit qu'au quatrième jour de procédure au niveau d'information, il y a passage automatique au niveau d'alerte, ce qui aurait bien été le cas sur l'agglomération de Strasbourg au cours de cet épisode.

Cet article aura permis de faire la part des origines dominantes des trois types d'épisodes de pollution aux particules PM_{10} avec :

- des situations hivernales d'apports transfrontaliers prédominants de masses d'air en transit qui se sont chargées en particules, principalement à longue distance du Rhin supérieur ;

- des situations de pollutions locales prédominantes sous inversion de températures défavorisant la dispersion dans la vallée encaissée du Rhin supérieur entre Vosges et Forêt Noire ;

- des pics de pollution printaniers favorables à la combinaison de l'ammoniac agricole avec les oxydes d'azote, principalement dus aux transports, avec formation secondaire de nitrates d'ammonium particulaire entrant dans la composition des PM_{10} respirés.

Dans tous les cas, une attention est à porter au trafic routier, source locale d'inégalité d'exposition à la pollution.

Conclusion et perspectives

Cette connaissance des différents types de pics de pollution aux particules contribue à une meilleure gestion des épisodes en aide à la décision, aussi bien pour l'information à diffuser que pour les mesures d'urgence à mettre en place le cas échéant. La diffusion de telles informations participe ainsi à un dialogue social plus éclairé et respectueux entre les experts, les autorités publiques, les collectivités, les associations citoyennes et tout simplement les citoyens. La transcription en arrêté préfectoral du nouvel arrêté interministériel relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant en cours d'adoption (adopté le 26 mars 2014) clarifiera la règle du passage en alerte lors de la persistance d'un épisode au premier niveau d'information. Cet arrêté confirme le maintien de seuils français d'information et d'alerte pour les particules non exigés par l'Europe. Il n'en restera pas moins une bonne coopération entre les organismes de surveillance de la qualité de l'air alsaciens, badois et bâlois ayant mis en commun une partie de leurs outils de prévisions (www.atmo-rhena.net).

L'approfondissement de la connaissance de ces épisodes bénéficie aussi des résultats d'analyses *a posteriori* de filtres de particules préle-

vées (programme Cara), et passe par des instruments de mesure en continu différenciant le type et l'origine des particules. Ainsi un aethalomètre capable de différencier les particules issues de la combustion de la biomasse ou des produits pétroliers a été mis en service à Strasbourg par l'ASPA.

Enfin, la meilleure perspective souhaitable reste, au moment des pics et tout au long de l'année, la réduction de fond des particules primaires et des précurseurs des particules secondaires. Car, en effet, les pics de pollution aux particules ne contribuent que faiblement à l'impact sanitaire annuel, et cela pour deux raisons. D'une part, les effets à court terme des autres journées pèsent

en cumulés sur une année bien plus que les épisodes de pollution, car si l'excès de risque journalier est plus important lors d'un pic de pollution, il n'est pas nul les autres jours (effet sans seuil). D'autre part, l'impact sanitaire des effets à court terme est, pour une population, globalement plus faible que celui des effets à long terme engendrés par l'exposition chronique aux niveaux moyens de particules. C'est pourquoi la reconquête d'une qualité de l'air acceptable passe avant tout par la réglementation et la planification réglementaire, associées à la sensibilisation des acteurs publics et privés jusqu'au citoyen concerné dans son mode de déplacement, de consommation, d'habitation..., bref son mode de vie.

1. Ingénieur Études, pilote des activités de modélisation, ASPA/ATMO Alsace.
2. Professeur honoraire, université de Strasbourg, président APPA-Alsace.
3. Ingénieur Études, ASPA/ATMO Alsace.
4. Directeur, ASPA/ATMO Alsace.

Références

- Arrêtés préfectoraux du Bas-Rhin et du Haut-Rhin du 9 juin 2004 relatifs à l'information des populations en cas d'épisode de pollution atmosphérique par l'ozone, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et par les particules en suspension dans l'atmosphère et la mise en œuvre des premières mesures d'urgence.
- Arrêtés préfectoraux du Bas-Rhin et du Haut-Rhin du 1er février 2012 portant modification des arrêtés préfectoraux du 9 juin 2004 relatifs à l'information des populations en cas d'épisode de pollution atmosphérique et la mise en œuvre des premières mesures d'urgence.
- Arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant.
- Arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé.
- ASPA. (2008). Rapport relatif à l'évaluation des mesures d'urgence potentiellement mises en œuvre en Alsace pour limiter les pics de pollution atmosphérique, 08063002-ID.
- Atmo-rhenA. (2001-2006). Système commun d'évaluation et d'information sur la qualité de l'air dans l'espace du Rhin supérieur, Gemeinsames Informations- und Bewertungssystem über die Luftqualität im Oberrheingebiet, Projet INTERREG III A Rhin supérieur.
- Avis du Haut Conseil de la santé publique relatif aux messages sanitaires à diffuser lors d'épisodes de pollution de l'air ambiant par les particules, l'ozone, le dioxyde d'azote et/ou le dioxyde de soufre en date du 15 novembre 2013.
- 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.
- Plan de Protection de l'Atmosphère de l'agglomération strasbourgeoise, préfet du Bas-Rhin, avec la contribution technique de l'ASPA, 2014.
- Plan particules de l'Eurométropole de Strasbourg (anciennement Communauté Urbaine de Strasbourg - CUS).
- Plan particules du Conseil Général du Bas-Rhin (CG67).
- Plan particules de la Communauté d'Agglomération de Colmar (CAC).
- REKLIP. (1995). Atlas climatique du fossé rhénan méridional, Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd, 2 vol., IFG Offenbach, Ed.Coprur, Strasbourg, vdf Zürich.
- REKLIP. (1999). Qualité de l'air et climat régional, Luftqualität und Regionalklima, rapport final, Schlussbericht, vol. 3, Ed.Coprur, Strasbourg.
- The Chimere chemistry-transport model, A multi-scale model for air quality forecasting and simulation, développé par l'IPSL/LMD (Palaiseau), l'INERIS (Verneuil-en-Halatte) et l'IPSL/LISA (Creteil) en France. [En ligne] : <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

Préambule :

Cet article a été rédigé en étroite collaboration avec l'équipe d'Air PACA qu'il convient de remercier pour sa disponibilité, son apport scientifique et technique et la perspicacité de ses remarques.

Les épisodes d'ozone en région PACA, le prix sanitaire du soleil

Ozone episodes in PACA region, the sanitary price of sun

Isabelle Roussel

Résumé

La région PACA, de par ses caractéristiques, est favorable à la production de polluants issus de la photochimie dont l'ozone est un traceur. La quasi-totalité de la population (4,4 millions d'habitants) est affectée par le dépassement de la valeur cible pour l'ozone définie pour protéger la santé. Les dépassements des seuils d'information et d'alerte sont fréquents même si la répartition spatio-temporelle de l'ozone est très variable car très dépendante des conditions topographiques et climatologiques locales. Comment, dans ce contexte d'une grande complexité et avec une population peu sensibilisée à cette pollution estivale méconnue, les alertes mises en place ont-elles pu contribuer à améliorer la qualité de l'air et la santé des habitants ? Au cours de ces épisodes d'ozone, les alertes ont pour ambition de réduire ponctuellement les émissions de polluants précurseurs de l'ozone et de prévenir les personnes sensibles et vulnérables pour qu'elles puissent prendre des précautions en sachant que cette information est décernée sur un périmètre administratif qui ne correspond pas toujours à l'exposition des individus concernés. Dans cette région, la sensibilisation de la population aux méfaits sanitaires de l'ozone est essentielle. Les alertes, déclarées par le préfet, encouragent, depuis 2010, les réductions de vitesse sur les grands axes, alors qu'il faut surmonter la difficulté liée à l'éventuelle déconnexion spatiale entre les zones émettrices et celles qui sont polluées. Cependant, réduire les émissions des précurseurs de l'ozone relève d'actions de long terme que les PPA essaient de promouvoir. Les dispositifs préfectoraux, fortement médiatisés, contribuent à l'acculturation de la population de la région de plus en plus sensible aux effets sanitaires de l'ozone.

Mots-clés :

région PACA, ozone, pointe de pollution, alertes.

Abstract

Because of its climatic characteristics, the PACA region offers conditions conducive to the production of ozone. Nearly all the population (4,4 million inhabitants) is affected by ozone levels exceeding the target values set up to protect health. Levels exceeding the information and alert target values are thus frequent even if the spatiotemporal distribution of ozone is highly variable because very much depending on local topographic and climatological conditions. During these episodes, it is necessary to inform vulnerable people so that they can protect themselves but this information is released in an administrative area which does not correspond to the real exposure of the people concerned. In the region, the population awareness to ozone sanitary impacts is essential. The alerts, announced by the prefect, encourage, since 2012, speed reductions on main roads. Indeed, reducing the emissions of ozone precursors depends on long-term actions which the APP (Atmosphere Protection Plan) tries to promote. The prefectural, strongly publicized devices, have contributed to the acculturation of the population, increasingly aware of ozone health effects.

Keywords:

Southern France, ozone, air pollution peak, alerts.

Introduction

L'héliotropisme des vacanciers est un phénomène bien connu ; ils sont attirés par le nombre d'heures d'insolation nettement plus élevé dans le Sud de la France (figure 1).

La migration vers le Sud des retraités est aussi un élément d'inégalité économique territoriale avéré. Cette dynamique s'accompagne d'un nombre record de soignants et d'établissements de soin dans les départements du Sud. Si le soleil et la luminosité concourent indéniablement au bien-être des populations, ils ne sont pas sans danger. Les méfaits des rayonnements UV sont bien connus, et le soleil est responsable de la formation de gaz photo-oxydants dont l'ozone est un indicateur. Outre le fait qu'ils peuvent avoir un effet sur le réchauffement climatique en tant que gaz à effet de serre de courte durée de vie, ces gaz ont un pouvoir irritant qui peut affecter la peau, les yeux et l'appareil respiratoire en déclenchant des crises d'asthme et contribuent ainsi à l'occurrence de différentes pathologies respiratoires. Sans oublier les effets de ces polluants photochimiques sur la végétation.

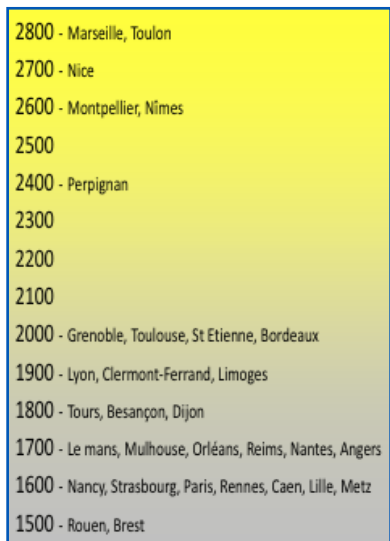


Figure 1.

Nombre d'heures d'ensoleillement pour différentes villes françaises (source : Météo-France).
Number of sunshine hours for various French cities.

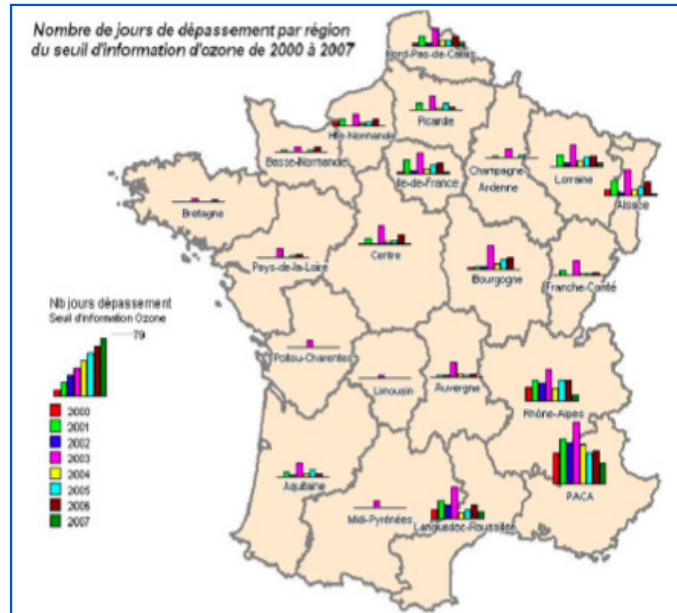


Figure 2.

Nombre de jours de dépassement du seuil d'information de l'ozone dans les régions françaises entre 2000 et 2007. 78 jours en PACA en 2003 contre 6 en Bretagne cette même année (source : ADEME).

Number of days when the ozone information level is exceeded in French regions between 2000 and 2007. 78 days in PACA region in 2003 against 6 in Brittany during this same year.

La région PACA présente donc une spécificité en matière d'alertes ozone (figure 2) qui sont les plus difficiles à mettre en place dans la mesure où elles sont contre-intuitives par rapport aux bénéfices escomptés des belles journées ensoleillées. En 2001, ESCOMPTE (Expérience sur Site pour Contraindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Émissions), campagne scientifique de grande ampleur, a réuni 80 équipes françaises et étrangères avec des moyens considérables pour répondre aux interrogations posées par les niveaux importants d'ozone observés dans cette région. Cette étude a mis en évidence la complexité de la formation de l'ozone et l'ambivalence de ce polluant qui, à la fois présente une large extension régionale et, en même temps, peut subir des variations locales fortes en raison du poids de phénomènes locaux. Elle s'est penchée sur la prévision des pics d'ozone en s'interrogeant sur les possibilités d'action pour éviter leur occurrence. Ce polluant, invisible ou parfois matérialisé par une couleur orangée de l'atmosphère, présente des effets nuisibles à des doses élevées, et il convient de prévenir les personnes sensibles pour qu'elles prennent des précautions lors de

ces épisodes, comme l'indique l'arrêté du 20 août 2014¹. L'autre fonction de l'alerte, qui consiste à écrêter les pointes, est difficile à mettre en place pour ce polluant secondaire, tant la linéarité entre les émissions et les niveaux d'ozone observés est déconcertante et délocalisée dans le temps et dans l'espace.

L'ozone est une spécificité de la région PACA dont il est difficile de s'affranchir. Est-ce que le dispositif d'alerte mis en place par la LAURE, il y a 17 ans, a pu contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air ? Est-ce que la prise de conscience par la population de la nocivité de l'ozone a progressé, favorisant ainsi la nécessaire implication des populations ?

Les caractéristiques de la région favorisant l'ozone

Les niveaux d'ozone dans la région PACA sont élevés et préoccupants, ils correspondent à de fortes émissions de précurseurs et sont très inégalement répartis dans le temps et dans l'espace.

Des niveaux élevés d'ozone

Dans la région PACA, compte tenu des températures et de l'ensoleillement (figure 1), la pollution par l'ozone est reconnue depuis longtemps. La région a mis en place le premier analyseur d'ozone dès que la technique de mesure par les UV a été validée : une première station de mesure a été installée à Marseille, rue Paradis, en 1987, puis une seconde au plan d'Aups, en 1989. La pollution par l'ozone « chronique » ou de fond est élevée, elle correspond à des niveaux de polluants auxquels la population est régulièrement exposée et ne respecte pas la valeur cible européenne pour la protection de la santé : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures ne devant pas, réglementairement, être dépassée plus de 25 jours par an. Dans la région, 90 % du territoire, soit 4,4 millions d'habitants, enregistrent des niveaux régulièrement supérieurs à cette valeur (figure 3).

L'ozone, polluant secondaire, contrairement aux polluants primaires émis directement par l'activité humaine comme les oxydes d'azote ou certaines particules, recouvre de vastes régions ; néanmoins, les niveaux d'ozone varient à échelle

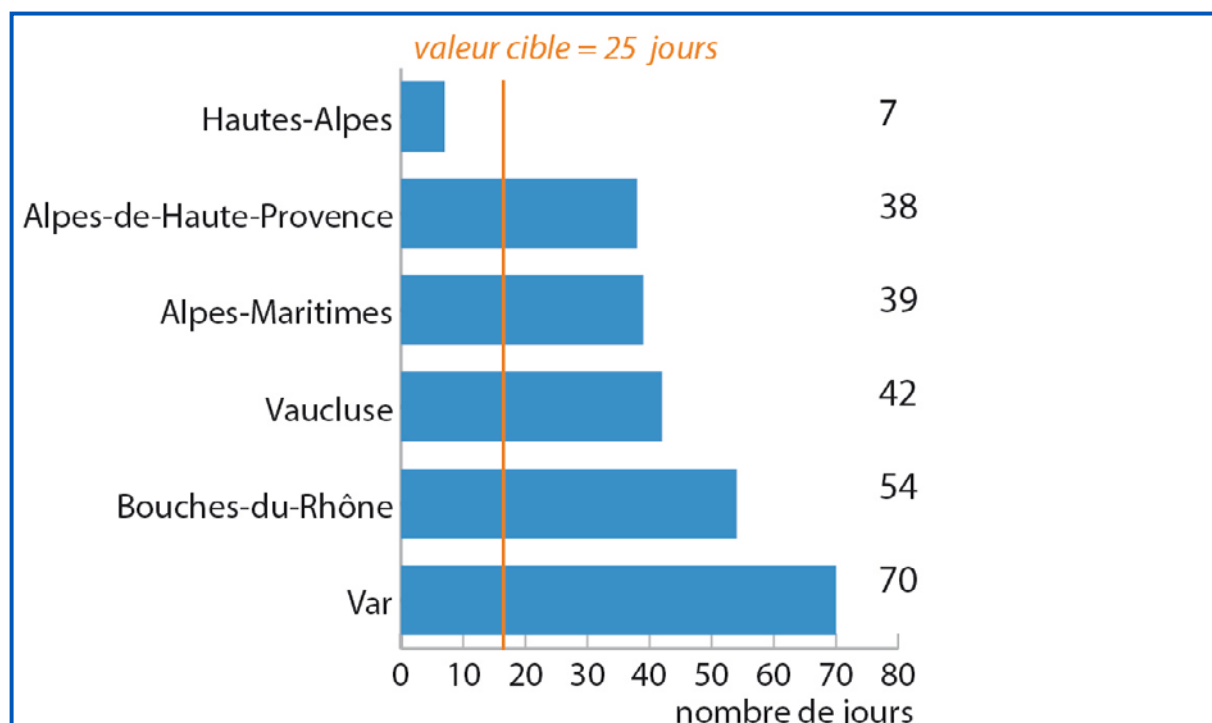


Figure 3.

Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de l'ozone, par département en 2014, année qui n'a pas été particulièrement chaude (source : Air PACA).

Number of days of exceeded ozone value targets, by department in 2014, year which was not particularly hot.

fine et l'exposition à l'ozone peut être très variable, d'autant que l'ozone a tendance à diminuer à l'intérieur des maisons au sein desquelles il peut se transformer ou se déposer. Il est aussi consommé par le dioxyde d'azote dans les cœurs de ville où il y sera donc moins concentré.

La figure 4 indique que l'ozone, parmi les autres polluants, reste un polluant majeur sur la région : certes il y a une tendance à la hausse des niveaux de fond en ozone, alors que l'on constate une baisse des niveaux de fond de PM et NO₂. Cependant, les moyennes annuelles du NO₂ et des PM sont encore proches des valeurs réglementaires. Par ailleurs, on constate aussi une diminution de la pollution chronique de fond et du nombre de jours avec dépassement des seuils réglementaires en ozone (cf. ci-dessous).

La tendance à la hausse est liée en partie à la persistance de situations anticycloniques avec de belles journées ensoleillées ou à des advections de masses d'air maritimes chargées d'ozone. En revanche, le mistral chasse ce polluant, les épisodes sont très sensibles à l'occurrence de ce

vent du nord.

Si l'héliotropisme des régions méditerranéennes favorise la formation de polluants photo-oxydants, d'autres facteurs se conjuguent pour expliquer les niveaux élevés d'ozone dans la région PACA.

De fortes émissions de précurseurs

C'est une région densément peuplée, (troisième région française) qui comptait 4 935 576 habitants au recensement de 2012. Compte tenu d'une topographie tourmentée, la population est concentrée le long du littoral qui regroupe également les principaux axes de communication. Cette bande côtière est aussi la première destination touristique de la région et parmi les plus fréquentées du bassin méditerranéen.

Néanmoins, cette population temporaire ne représente qu'une petite proportion des habitants, mais les touristes augmentent les déplacements motorisés qui ont lieu sur des axes contraints,

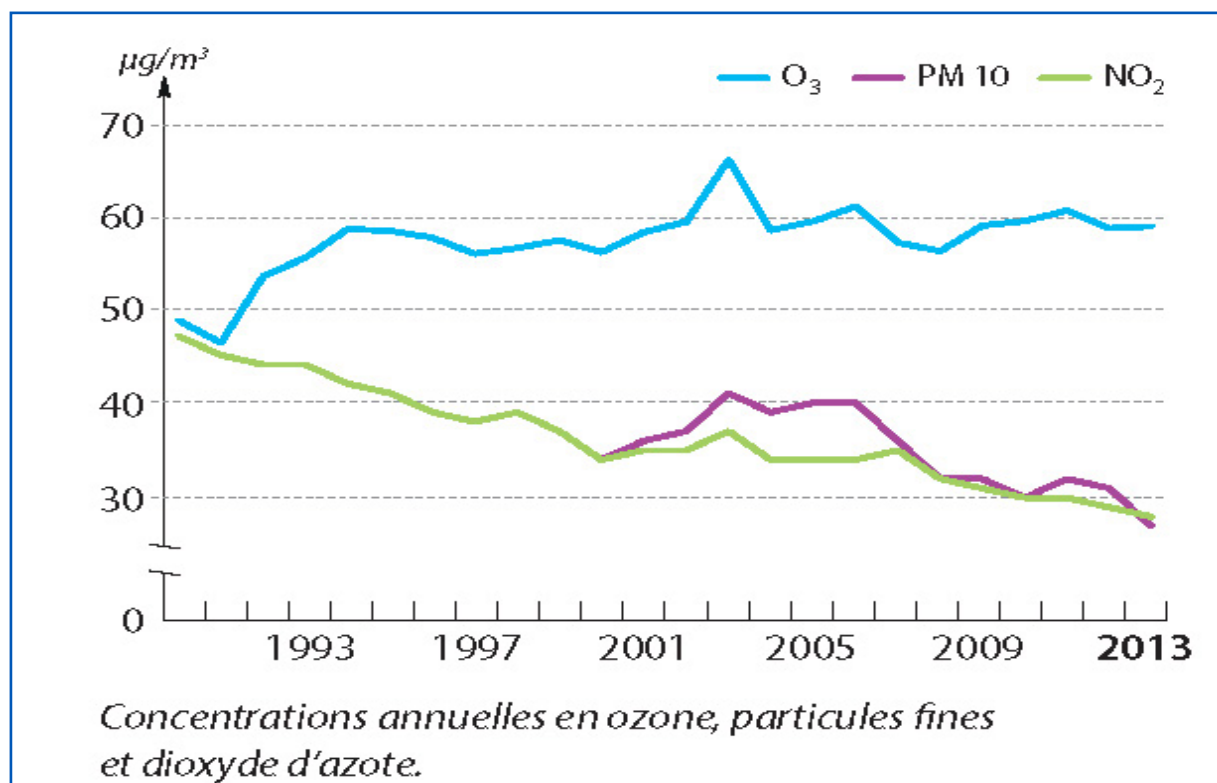


Figure 4.

Évolution des concentrations moyennes annuelles des différents polluants dans la région PACA (source : Air PACA).

Evolution of the annual average concentrations of various pollutants in the PACA region.

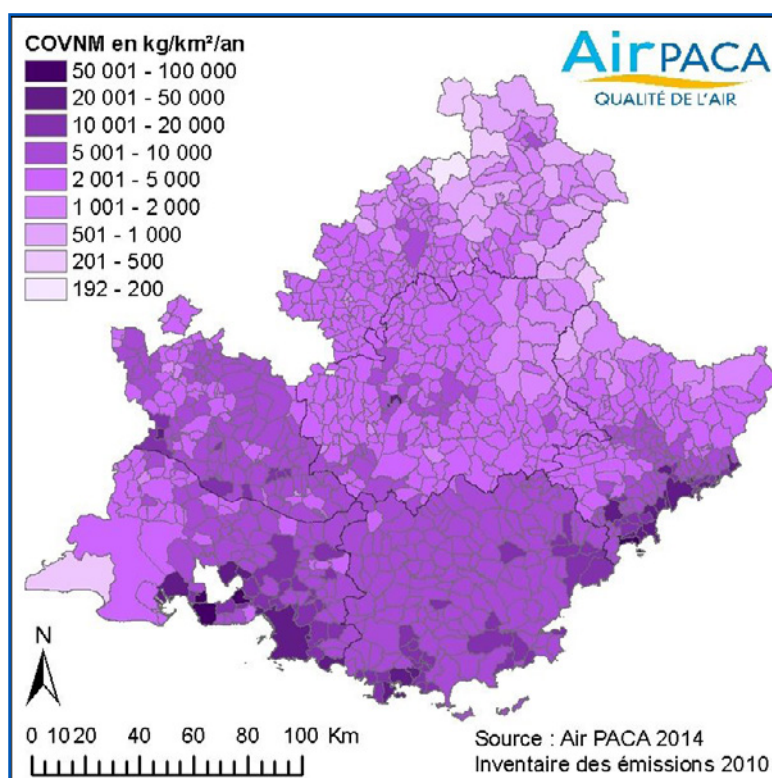


Figure 5.

Répartition des émissions annuelles de COVNM par commune : étude ESCOMPTE (source : Air PACA).

Distribution of the annual emissions of VOCs by municipality.

situés en majeure partie dans les plaines côtières, là où la quasi-totalité des habitants permanents vivent et se déplacent.

L'ozone, polluant secondaire, se forme en présence de gaz précurseurs, principalement des COV (Composés Organiques Volatils), d'origine anthropique ou biogénique et des oxydes d'azote dont les émissions sont abondantes dans la région. À la faveur de l'étude ESCOMPTE, un cadastre des émissions a été réalisé et régulièrement mis à jour depuis. Les rejets sont affectés à une commune donnée, ce qui permet une cartographie détaillée (figures 5 et 6). La végétation méditerranéenne, et en particulier les pins, émettent des COV biogéniques tels que les terpènes, ce qui explique la présence de ces gaz dans les zones rurales (figure 5). Mais ce sont surtout les activités industrielles qui apportent la plus grande contribution à ces émissions de COV anthropiques, abondantes dans les zones urbaines et sur la frange littorale.

Les émissions de NOx (figure 6) sont davantage concentrées autour des voies de communication (pour rappel, les oxydes d'azote

sont considérés comme des traceurs de la pollution automobile). Compte tenu de la topographie, les voies de communication sont également situées le long du littoral qui concentre la population (figure 7). Elles sont particulièrement fréquentées, non pas seulement en raison des migrations estivales mais aussi parce que la région a longtemps souffert d'un déficit en transports en commun, ne répondant pas suffisamment aux besoins de la population, ce qui a induit un usage systématique du véhicule individuel. Ainsi, la part des sources mobiles dans les rejets de polluants atmosphériques est prépondérante, en particulier pour les oxydes d'azote.

Au rôle des infrastructures terrestres viennent s'ajouter les émissions liées au transport maritime qui contribue à générer de l'ozone en mer, qui peut également provenir de l'intérieur des terres, poussé par les vents. En PACA, selon le CITEPA² (Centre Interprofessionnel d'Étude de la Pollution de l'Air), entre 1994 et 2000, les émissions ont diminué de 48 % pour le SO₂ (66 % en France sur la même période), de 2 % pour les NOx (22 % en France) et de 37 % pour le CO. Les zones urbaines et les rejets industriels contribuent également à renforcer ces émissions.

La figure 8 permet d'identifier les différentes sources des précurseurs qui contribuent à la formation de l'ozone. La présence de précurseurs est un facteur important pour expliquer la dissymétrie entre l'Est et l'Ouest du littoral (figure 8) : le pays niçois est beaucoup moins affecté par l'ozone que la région des Bouches-du-Rhône parce que les apports de précurseurs venus de Gênes et de la plaine padane et l'ensemble de ceux qui sont apportés par la mer sont moins importants que ceux émis par la zone industrielle-portuaire de Marseille.

L'ozone issu des émissions liées à la végétation définit un bruit de fond d'ozone auquel vient s'ajouter l'ozone issu des émissions industrielles, urbaines et maritimes. Ces émissions, entraînées par des vents locaux, peuvent déplacer les zones polluées assez loin des sources de précur-

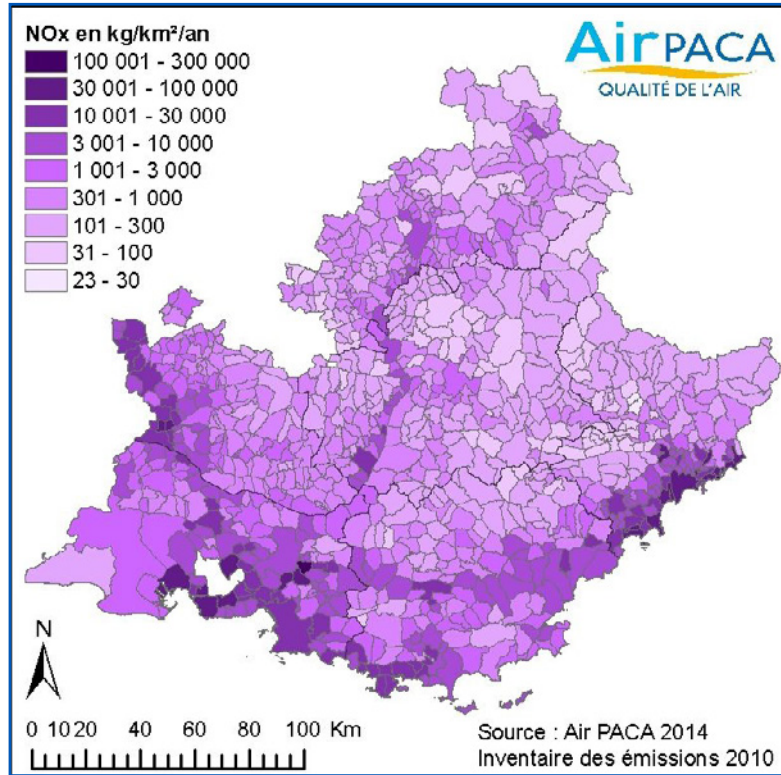


Figure 6.
Répartition des émissions
annuelles de NOx par commune :
étude ESCOMPTE
(source : Air PACA).
Distribution of the annual emis-
sions of NOx by municipality :
Escompte study

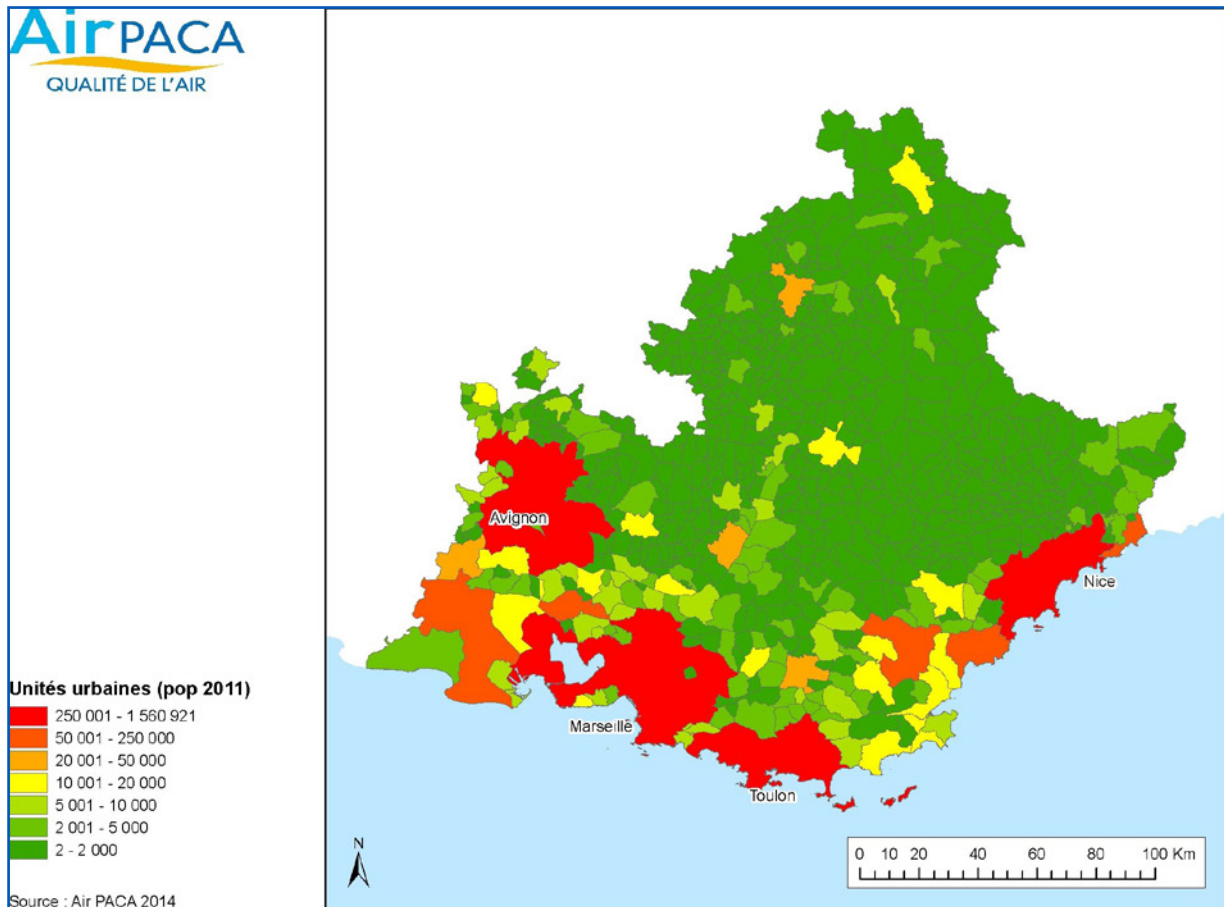


Figure 7.

La répartition des unités urbaines selon leur taille dans la région PACA en 2011 (source : Air PACA).
The distribution of urban units according to their size in the PACA region.

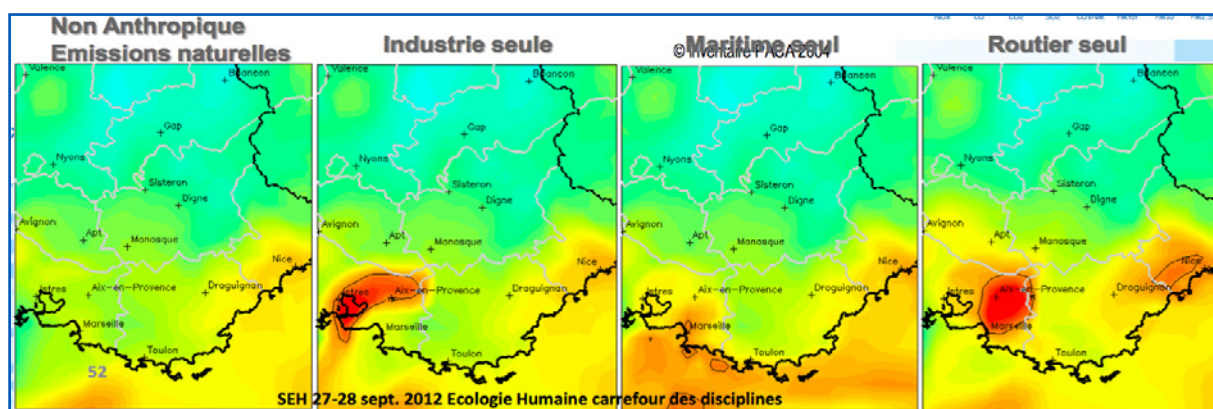


Figure 8.

Simulation des concentrations d'ozone en PACA, selon différentes sources d'émissions contribuant à la formation de l'ozone dans la région PACA (source : Air PACA).

Simulation of the various sources contributing to the ozone formation in the PACA région.

seurs. La pollution par l'ozone est un phénomène « régional » : les concentrations, et notamment les pointes, se constatent sur des zones de plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres. La région est en fait soumise à deux principales zones émettrices de gaz précurseurs : la zone de l'Étang de Berre renforcée par l'impact de l'agglomération Aix-Marseille, et celle du nord-ouest de l'Italie. Cette pollution peut parcourir de grandes distances : les polluants rejetés autour de l'Étang de Berre ont fréquemment un impact sur la qualité de l'air à Toulon, Avignon ou Manosque. La pollution padane est capable de passer les crêtes frontalières pour se joindre aux polluants azurés ; et inversement, pour la pollution littorale de la zone urbaine de Nice qui peut rejoindre l'Italie en traversant le Mercantour sous l'effet des brises diurnes, comme l'ont montré les mesures de terrain faites par Carrega *et al.* (2010).

L'étude Escompte et le développement d'autres recherches ont beaucoup contribué à améliorer la connaissance de l'ozone et de ses précurseurs ainsi que sa répartition spatio-temporelle qui est d'une grande complexité.

Les variations spatiales de l'ozone et leur complexité

Actuellement, Air PACA gère 39 stations qui mesurent l'ozone en continu, mais la modélisation est essentielle pour spatialiser la diffusion de l'ozone et mieux cerner quelles seront les valeurs locales en fonction des conditions météorologiques à fine échelle. Or la direction des vents, les brises de mer, les émissions locales, la

topoclimatologie se combinent pour donner une grande variabilité spatiale aux niveaux d'ozone et rendre la modélisation très délicate (Michelot *et al.*, 2015).

À travers la cartographie de cet échantillon de stations représentées sur la figure 9, on voit apparaître la diversité des situations locales, le rythme diurne n'a pas la même ampleur et le niveau atteint par la pointe diurne peut être différent selon les contextes locaux.

L'hétérogénéité de la répartition spatiale de l'ozone.

La grande variété des situations topoclimatiques se traduit par une grande disparité des teneurs en ozone. L'information apportée par chacune des 39 stations de mesure gérées par Air PACA est ponctuelle ; la modélisation de l'extension spatiale de ce polluant suppose une connaissance fine des mécanismes, initiée par l'étude ESCOMPTE qui a réalisé la carte présentée ci-dessous (figure 9). Elle montre l'évolution diurne classique de l'ozone entre les 23 et 26 juin 2001 en fonction des facteurs météorologiques. Le rythme nyctéméral de l'ozone est très net, l'ozone se forme aux heures chaudes de la journée et est détruit la nuit. Cependant, dans la région marseillaise représentée sur cette carte, l'évolution diurne de l'ozone est loin d'être homogène, et même l'atténuation classique de l'amplitude diurne avec l'altitude serait à nuancer. Ce serait plutôt la zone littorale plus urbanisée qui présenterait des valeurs extrêmes plus atténuées alors que l'amplitude diurne est plus exacerbée dans l'arrière-pays.

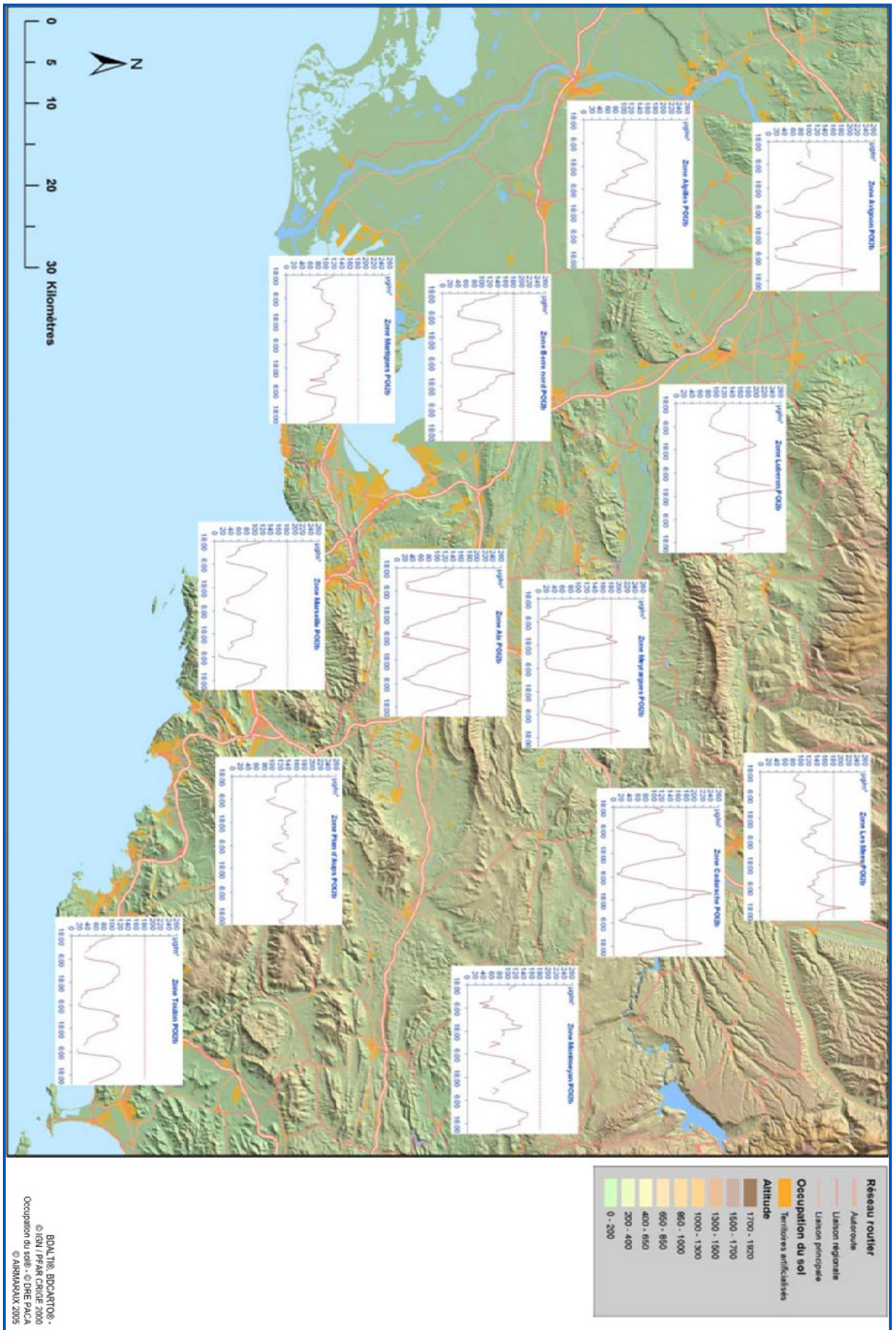


Figure 9. Carte établie par l'étude Escompte indiquant l'évolution horaire des concentrations en ozone du 23 au 26 juin 2001 (source : Air PACA). Map realized by the Escompte study indicating the hourly evolution of ozone concentrations from June (2001) the 23rd until the 26th.

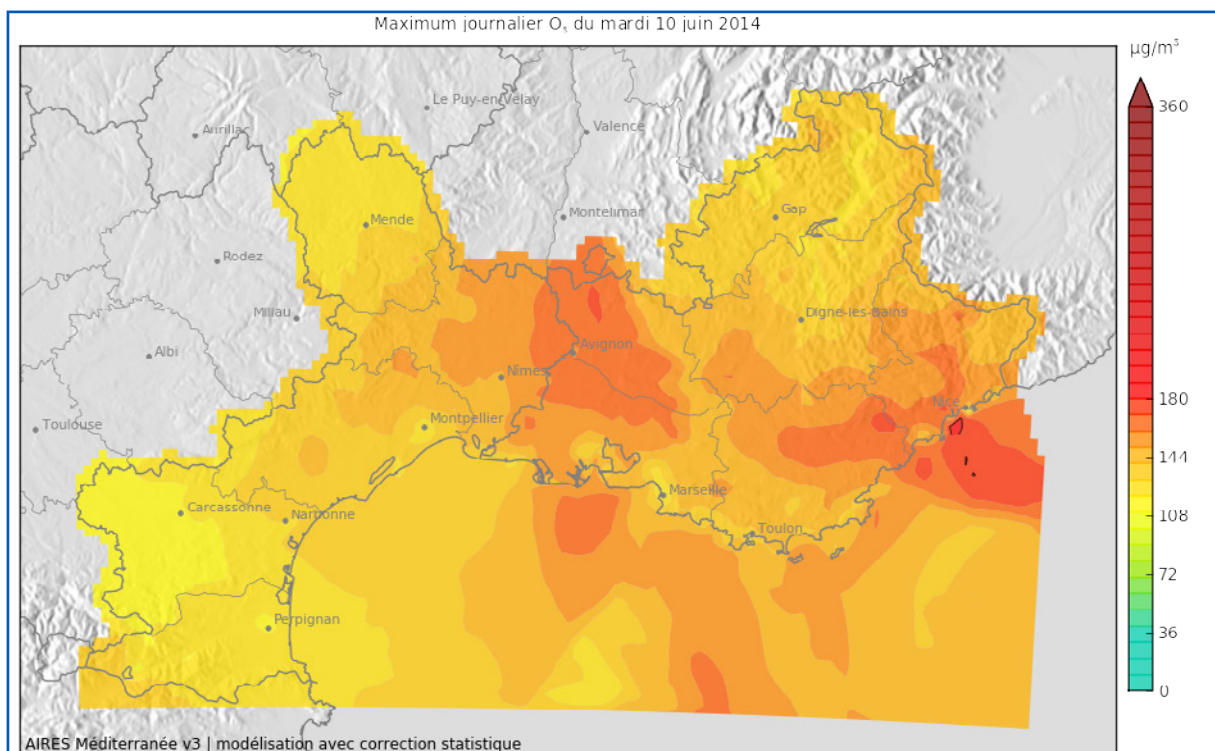


Figure 10.

Estimation de la répartition spatiale de l'ozone, le 11 juin 2014 sur les régions PACA et Languedoc-Roussillon (source : Air PACA).

Estimation of ozone spatial distribution on June 11th, 2014 on PACA and Languedoc-Roussillon regions.

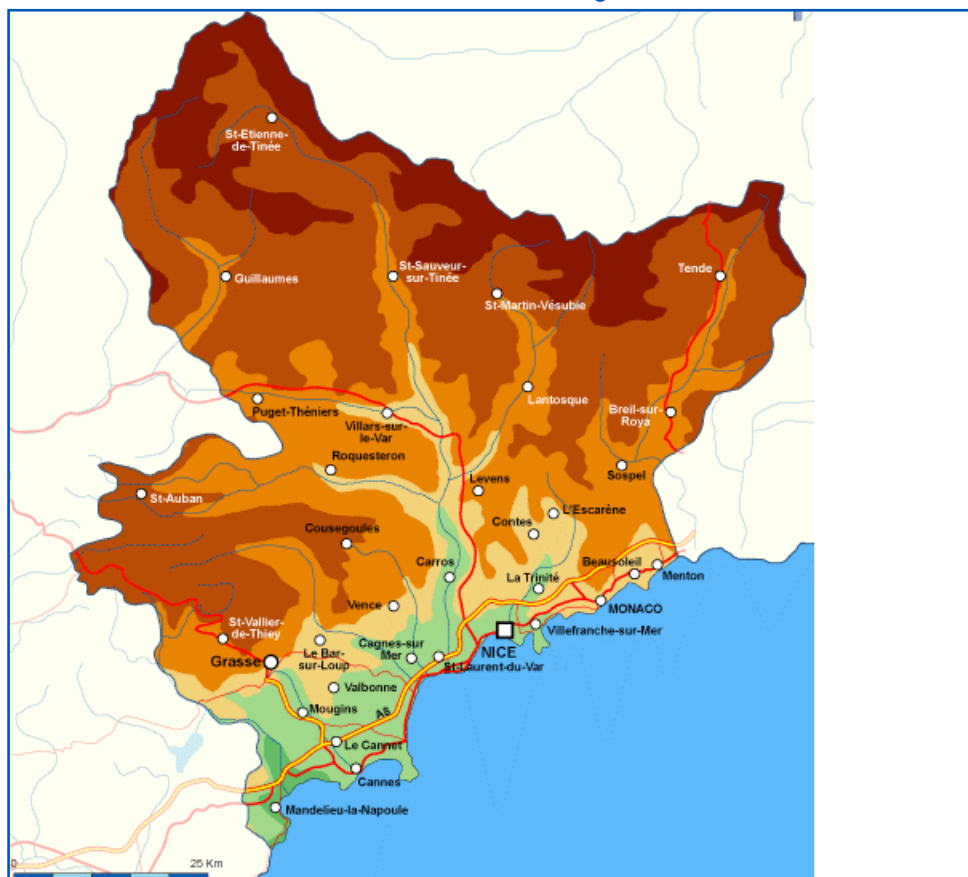
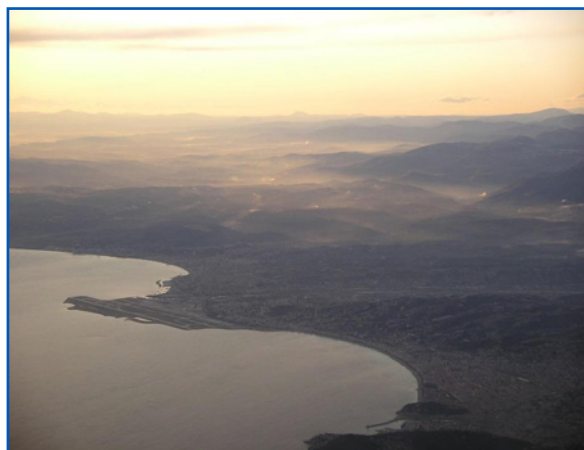


Figure 11.

L'importance des contrastes topoclimatologiques sur la dispersion des polluants (photographie de la page suivante : Carrega) (source : Michelot, 2014).

The importance of the topoclimatologic contrasts on the dispersal of pollutants.



La figure 10 fait état de la répartition spatiale de l'ozone le 11 juin 2014. Elle est le fruit d'une modélisation qui doit être sans cesse améliorée pour prendre en compte les phénomènes contrôlant la formation de l'ozone. Or ceux-ci interviennent à différentes échelles, ce qui complique le choix des modèles à utiliser (Michelot et al., 2015). La modélisation est essentielle pour spatialiser la diffusion de l'ozone et mieux cerner quelles seront les valeurs locales en fonction des conditions micrométéorologiques.

Les contrastes climatiques locaux apparaissent bien sur la figure 11 sur laquelle la plaine littorale est recouverte par une couche de brume bloquée par les différents niveaux d'inversions qui s'opposent à la diffusion des polluants, en altitude (des particules liés essentiellement aux brûlages effectués cet après-midi-là). En revanche, les collines de l'arrière-pays se situent au-dessus de ce niveau d'inversion, elles ne sont plus touchées par les mêmes polluants. En été, Les particules peuvent être bloquées sous le niveau d'inversion, tandis que des niveaux d'ozone élevés peuvent être relevés dans ces zones appartenant à la troposphère libre.

Or le climat en espace littoral et montagneux est très sensible aux phénomènes locaux que sont les brises thermiques dont l'occurrence est en phase avec les journées les plus stables, favorisant l'accumulation des polluants dans les basses couches. Ces vents thermiques, renforcés par le relief qui encourage les ascendances diurnes et les phénomènes subsidents la nuit (brises catabatiques), évoluent selon les heures de la journée (figure 12).

Le mécanisme des brises est essentiel pour comprendre la répartition spatiale de l'ozone étudiée dans le détail, pour les Alpes-Maritimes, par N. Martin dans sa thèse (2009).

La variation spatiale de l'ozone en PACA contrôlée par le mécanisme des brises de mer

Comme nous l'avons déjà mentionné, les émissions sont concentrées sur le littoral qui regroupe la majeure partie de la population (figures 5-6-7). Or l'ozone se forme au cours des belles journées ensoleillées d'été, précisément celles qui sont favorables au cycle diurne des brises de mer. Celles-ci, dès les premières heures chaudes de la journée, soufflent vers l'intérieur en entraînant avec elles les précurseurs émis à proximité de la frange côtière. Ainsi, la répartition des polluants à une échelle fine, dans cette région, est liée à la topoclimatologie, comme l'ont montré Michelot (2014), Carrega (2010) et Martin (2009).

Les niveaux d'ozone sont plus faibles le long du littoral puisque les précurseurs sont entraînés vers l'intérieur par la brise de mer et que, dans cette zone urbanisée, l'ozone est davantage consommé. En revanche, l'arrière-pays est très vulnérable, comme le montre depuis de longues années, la station du plan d'Aups qui, située en altitude, ne présente pas de diminution d'ozone pendant la nuit puisqu'elle se situe dans la troposphère libre, au-dessus du niveau d'inversion. En outre, N. Martin (2009) a mis en évidence le caractère pollué de l'air sur la bande côtière puisque les émissions locales de précurseurs sont élevées, mais aussi en raison du jeu des brises qui ramènent vers le littoral de l'air évacué par les brises de terre ou des pollutions exogènes.

Lorsque plusieurs jours de pics d'ozone se succèdent, les niveaux de pollution ont tendance à augmenter de jour en jour. En effet, ces pics ont lieu lorsqu'un régime de brise s'établit (conditions anticycloniques). Ces brises soufflent de la mer vers la terre dans la journée, et de la terre vers la mer la nuit. Cette « balance des brises » déplace une même masse d'air selon un mouvement pendulaire tandis qu'elle se recharge en polluants à chaque passage au-dessus des zones émettrices de pollution (figure 13) :

- Jour 1, journée : les masses d'air sont déplacées depuis les principaux pôles émetteurs de pollution vers l'arrière-pays. Les polluants de ces masses d'air se transforment en polluants photochimiques (dont l'ozone) sous l'effet du soleil.

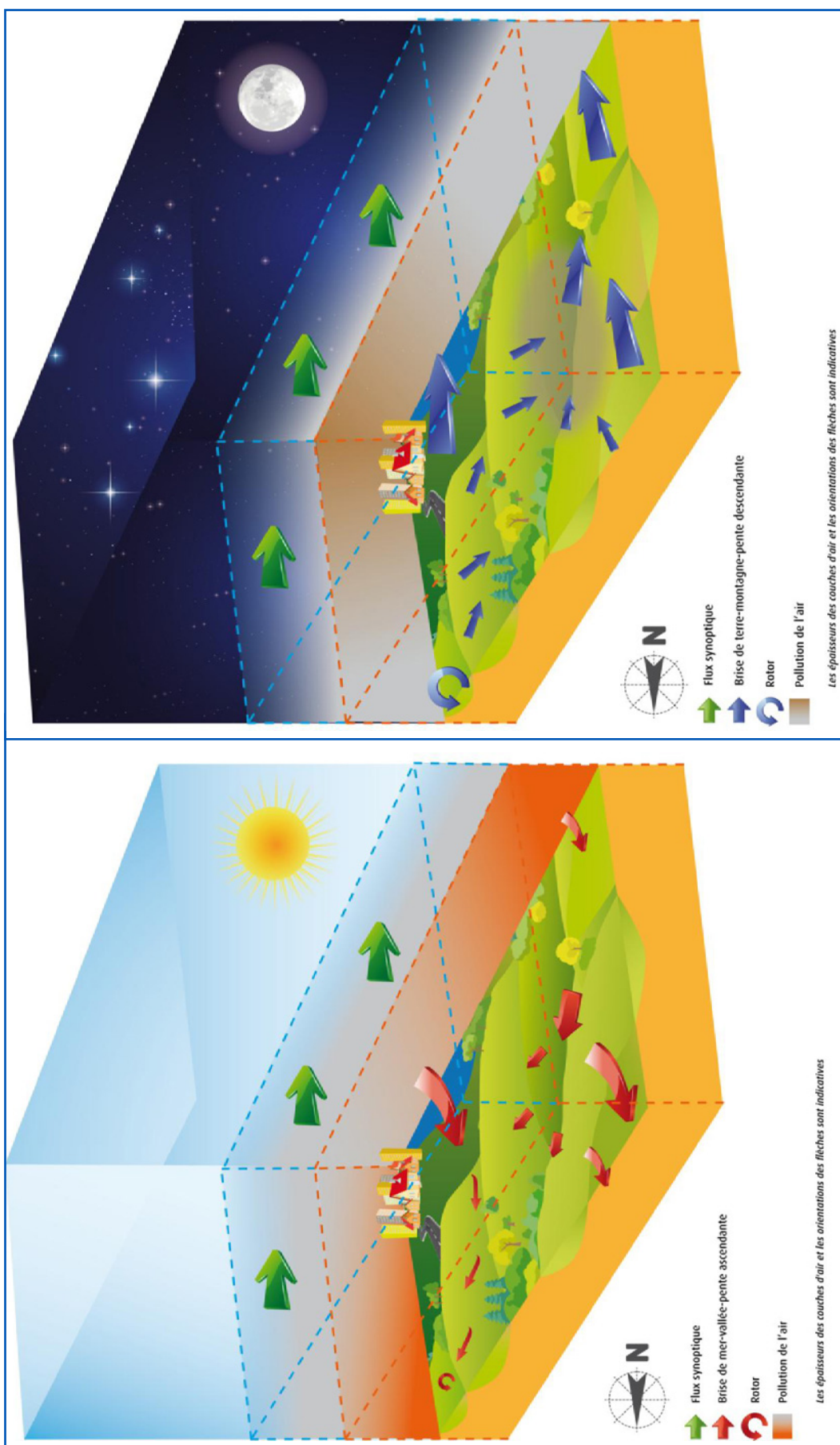


Figure 12. Le cycle diurne des brises locales et de la pollution dans un espace littoral montagneux (source : Michelot, 2014).
The diurnal cycle of the local breezes and pollution in a littoral region with contrasted relief.

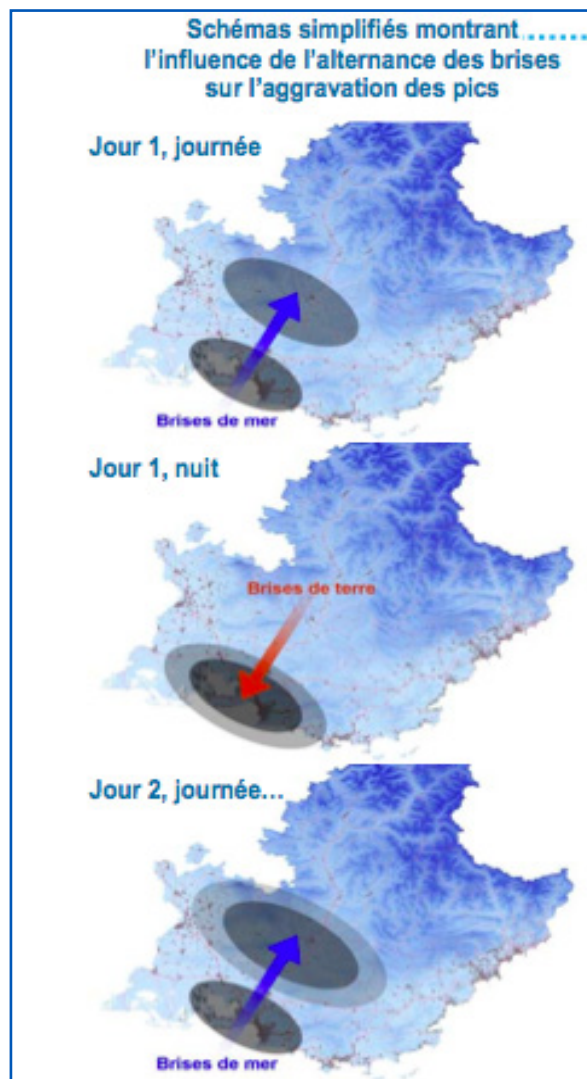


Figure 13.

Schéma simplifié montrant l'alternance des brises et l'aggravation des pics (source : Air PACA).

Simplified plan showing the alternation of breezes and worsening of peaks.

- Jour 1, nuit : les brises de terre transportent les masses d'air déjà polluées vers la côte, où elles se rechargent en polluants en passant à nouveau sur les pôles émetteurs de pollution. La masse d'air résultante s'accumule toute la nuit au-dessus de la côte et de la mer, dans les basses couches de l'atmosphère (lorsque l'inversion thermique est présente). La nuit, les polluants photochimiques se dégradent et se transforment en d'autres polluants oxydants.

- Jour 2, journée : cette même masse d'air, alimentée par deux jours de pollution et plus polluée qu'au début, part à nouveau vers les terres.

Si les conditions météorologiques sont toujours réunies, la pollution photochimique peut alors être plus intense, avec des niveaux d'ozone plus élevés.

Ce cycle quotidien des brises thermiques se conjugue avec celui de la formation de l'ozone. Les collines de l'arrière-pays sont donc affectées par deux mécanismes qui renforcent la teneur en ozone observée dans l'arrière-pays : d'une part, ils sont affectés par l'ozone qui se trouve dans la troposphère libre et, d'autre part, les gaz précurseurs émis par les zones urbaines denses du littoral sont entraînés vers l'arrière-pays où ils contribuent à la production d'ozone local au cours des heures chaudes de la journée. La répartition spatiale des niveaux d'ozone indiquée sur la figure 10 indique la complexité de la répartition spatiale de l'ozone le 11 juin 2014 et le contraste entre le littoral et l'arrière-pays.

L'importance des mécanismes responsables de la formation d'ozone sur l'ensemble de la région explique, dans la région PACA, la préoccupation ancienne pour prévenir les personnes sensibles de se prémunir contre les méfaits de ce polluant.

Compte tenu de cette sensibilité à l'ozone, la région a mis en place des dispositifs d'alerte

La gestion des épisodes de pollution par l'ozone est antérieure à la LAURE puisque, dès 1990, la directive du 7 juin a accordé aux citoyens le droit à l'information en matière d'environnement, et la directive n° 92/72/CE « concernant la pollution de l'air par l'ozone » du 21 septembre 1992 a rendu obligatoire la diffusion des résultats des mesures. Dans cette directive, le Conseil européen définit de nouveaux concepts normatifs compatibles avec la gestion d'un épisode aigu de pollution, et pose les bases d'une information d'alerte obligatoire de la population. Ainsi l'alinéa c de l'article 6 pose que « Les États membres prennent les mesures appropriées pour veiller à ce que des informations sur les dépassements effectifs ou prévus du seuil d'alerte soient fournies dans les meilleurs délais aux organismes de santé et à la population. »

La loi sur l'air (LAURE) pose comme préambule que « chacun a le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé » ; cette loi cadre reconnaît à tout citoyen sur l'ensemble du territoire le droit à l'information sur la qualité de l'air et ses effets sanitaires et environnementaux. L'État est garant de ce droit, de la fiabilité de l'information et de sa diffusion selon l'article 4. La loi précise les modalités de l'alerte et de la communication. Cette loi généralise les notions de seuil d'information de la population et de seuil d'alerte et, depuis 1996, un certain nombre d'arrêtés ont précisé quelle était la définition des alertes dans le temps (définition des seuils) et dans l'espace (zones d'alerte).

La définition des seuils. Pour l'ozone, les seuils de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont une réalité sanitaire expérimentale. Le seuil de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ était utilisé depuis 1998 pour décréter une procédure d'information et de recommandation. Cependant, au moment de la canicule de 2003, sur 66 jours déclarés au niveau de l'information en région PACA, seulement 13 ont donné lieu à des alertes qui n'ont pas déclenché de mesures d'urgence efficaces et spectaculaires. Pour tirer parti de cette expérience, l'arrêté inter-préfectoral du 3 juin 2004, relatif à la procédure d'information et d'alerte du public, met en œuvre des mesures d'urgence graduées en cas de pointe de pollution atmosphérique à l'ozone dans cette région. Le seuil d'alerte est abaissé à $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce dernier seuil est conservé pour les cas extrêmes qui méritent la gratuité des transports en commun ou la mise en place d'un dispositif de circulation alternée. Le décret du 21 octobre 2010 transpose en droit français la directive européenne de 2008. Il reprend les objectifs définis pour l'ozone.

Mais c'est surtout à travers l'arrêté ministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant que les mesures envisagées sont mieux adaptées à l'ozone. En effet, cet arrêté mentionne spécifiquement les dispositions concernant les épisodes d'ozone, les conduites à tenir, mais aussi la définition des caractéristiques spatio-temporelles qui ne reposent plus uniquement sur des dépassements de seuils constatés par station de mesure mais sur l'estimation par modélisation du nombre de personnes ou de la surface du territoire exposé à un épisode d'ozone (Michelot, 2015).

Une information tardive sur constat ne permet pas d'anticiper l'information de la population sensible et ne permet pas non plus aux mesures d'urgence de se mettre en place à l'avance ; de plus ces dernières seraient caduques si l'épisode ne se prolongeait pas le lendemain. L'arrêté de mars 2014 (Michelot, 2015) change fondamentalement ce dispositif puisque les mesures peuvent être mises en place par anticipation à partir de modèles de prévision. Plutôt que de se référer à des informations ponctuelles à partir des analyseurs, la définition adoptée utilise la modélisation qui permet d'introduire des critères d'exposition des populations et des territoires. Cet arrêté propose des dispositions spéciales pour les épisodes liés à l'ozone. En raison des spécificités de ce polluant facilement transporté sur de longues distances, la définition des zones d'alerte est élargie et peut dépasser, le cas échéant, les limites du département, ce qui suppose une négociation entre les préfets des départements voisins. L'arrêté insiste sur la prévision rendue possible par les modèles prévisionnels développés pour que les personnes les plus sensibles aient le temps de prendre leurs précautions, ou que des manifestations sportives puissent être différées.

L'information

En effet, la diffusion de l'information s'impose, à la fois à l'occasion des alertes mais aussi durant chaque été, puisque l'association entre les vacances, le soleil, la chaleur et la pollution souvent invisible ou légèrement perceptible à travers une lumière rougeâtre, n'est pas évidente, elle est même contre-intuitive. Certes, les milieux avertis connaissent depuis longtemps les méfaits de l'ozone et sa dangerosité en termes de santé publique, mais pour les habitants la perception du lien entre le beau temps ensoleillé et chaud de l'été, le risque sanitaire encouru et la restriction dans l'utilisation de leur voiture était très énigmatique. Les épisodes de pollution étaient, dans l'imaginaire, plutôt associés au smog londonien, au brouillard et à l'hiver.

C'est Airmaraix³, aujourd'hui Air PACA, qui, dès les années 1996-1997, a eu la charge de gérer, pour le compte des trois autres associations de la région, le serveur assurant la diffusion des messages d'information et d'alerte, initialement émis sous forme de fax. Ces messages étaient diffusés dès que les seuils étaient dépassés sur 2 capteurs d'une zone. Les Bouches-du-Rhône n'ont pas suivi la même règle : l'information de recommandation est déclenchée

Polluant	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte	Valeurs cibles
Ozone (O ³)	<p>Seuil de protection de la santé, pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 120 µg/m³ pendant une année civile.</p> <p>Seuil de protection de la végétation, AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m³.h</p>	<p>En moyenne horaire : 180 µg/m³.</p>	<p>Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population, en moyenne horaire : 240 µg/m³ sur 1 heure</p> <p>Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence, en moyenne horaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> 1^{er} seuil : 240 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. 2^e seuil : 300 µg/m³ dépassé pendant trois heures consécutives. 3^e seuil : 360 µg/m³. 	<p>Seuil de protection de la santé : 120 µg/m³ pour le max journalier de la moyenne sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans. Cette valeur cible est appliquée depuis 2010.</p> <p>Seuil de protection de la végétation : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m³.h en moyenne calculée sur 5 ans. Cette valeur cible est appliquée depuis 2010.</p>

Tableau 1.

Récapitulatif des principaux seuils adoptés pour la gestion de l’ozone (source : Airparif).
[Summary of key thresholds adopted for the management of ozone.](#)

dès que le seuil des 180 µg/m³ est franchi sur un seul capteur. Ces messages étaient adressés à un certain nombre de correspondants réglementaires : maires, administrations, médias... Les destinataires de ces messages sont considérés comme des « relais d’information privilégiés », qui devaient donc en principe répercuter cette information à l’aval vers d’autres destinataires « secondaires ». Les DDASS étaient des inter-

locuteurs privilégiés ayant la charge de relayer l’information au plus grand nombre d’établissements sanitaires.

L’arrêté du 11 juin 2003 pose les points que doit contenir l’information donnée par le préfet au public en cas de dépassement ou de risque de dépassement des seuils de recommandation ou des seuils d’alerte. Les messages sanitaires

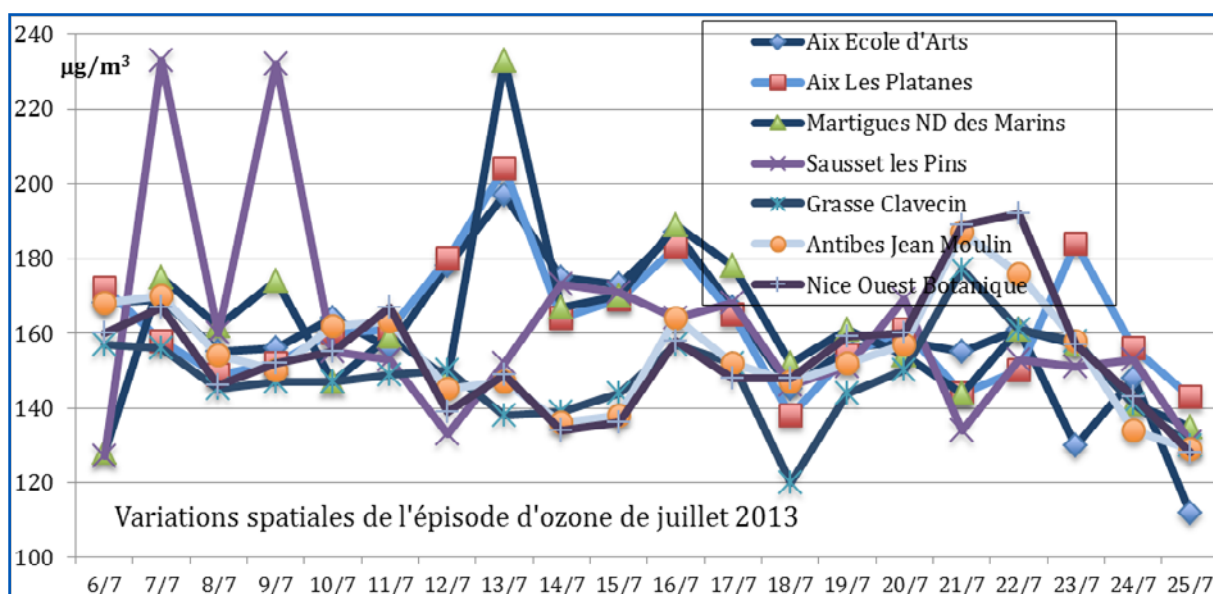


Figure 14.

Les variations spatiales du maximum horaire journalier de l'ozone dans différentes stations de la région PACA en juillet 2013 (source : Air PACA).

The spatial variations of the daily hourly maximum of the ozone in various stations of the PACA region in July, 2013.

à transmettre seront précisés par l'arrêté d'août 2014⁴ (cf. ci-dessous) en fonction des déclarations du HCSP⁵ (Haut Conseil de la Santé Publique) (B. Nader, 2015).

Cependant, si l'ensemble de la population est globalement concernée par ces épisodes d'ozone, il est difficile de définir quelle peut être l'exposition réelle de chaque individu en raison à la fois de son emploi du temps personnel mais aussi du fait que les conditions topoclimatiques très variées se traduisent par une grande hétérogénéité des niveaux d'ozone enregistrés dans la région (cf. ci-dessus). L'information doit donc être prise comme une indication très générale et non comme l'occurrence d'un risque sanitaire individuel avéré, puisque les niveaux d'exposition à l'ozone sont très fluctuants dans l'espace et dans le temps.

La figure 14 montre les différences de niveaux d'ozone que l'on peut relever même sur des stations aussi proches que Sausset-les-Pins ou Martigues. Les stations des Alpes-Maritimes sont plus tardivement atteintes par l'épisode mais, à cette opposition générale entre les Bouches-du-Rhône et les Alpes-Maritimes, on peut aussi déceler des nuances entre les stations urbaines (en vert) et périurbaines (en bleu), celles de l'intérieur ou du littoral.

Donc les messages sanitaires censés être déployés au cours des jours présentant des niveaux élevés d'ozone sont difficiles à « faire passer » aux cibles visées, c'est-à-dire les personnes sensibles ou vulnérables qui peuvent être concernées, au cours d'une même journée, par des niveaux d'ozone très différents au sein d'une même unité administrative.

L'information doit-elle porter sur les risques liés à l'ozone ou sur ceux liés à la canicule qui accompagne souvent les épisodes d'ozone ? En 2003, l'impact sanitaire de l'ozone a été masqué, au moins médiatiquement, par l'effet « canicule » qui a été paradoxalement moins marqué en PACA. Cette maîtrise locale du risque n'est-elle pas le signe d'une meilleure prévention liée à la fréquence plus élevée des canicules dans la région ? Des mesures de prévention en matière de canicule avaient été mises en place très tôt, dès 1983, donc l'impact de la chaleur en 2003 n'a pas été très important dans la région.

Ce souci de prévention se traduit par l'importance de l'information à dispenser non seulement au cours des épisodes mais, de manière préventive, chaque été.

Niveau 1 (Risques de dépassement du seuil de 240 µg/m ³ /h sur 3 heures consécutives)
Niveau 1 renforcé (Constat ou risques aggravé de dépassement du seuil de 240 µg/m ³ /h sur 3 heures consécutives)
Niveau 2 (Constat ou risques de dépassement du seuil de 300 µg/m ³ /3h)
Niveau 3 (Constat ou risques de dépassement du seuil de 360 µg/m ³ /h)

Tableau 2.

Les différents niveaux adoptés pour des mesures d'urgence graduées (source : Air PACA).

[Chart showing different targets used for gradual urgent measures.](#)

Un autre objectif des alertes consiste à sensibiliser la population sur la nécessité d'intervenir pour limiter les émissions des précurseurs de l'ozone.

Les mesures d'urgence

Pour l'ozone, depuis la promulgation de la LAURE, l'efficacité d'une limitation temporaire de la vitesse sur les principaux axes routiers est très décriée. En outre, un certain nombre de médecins ont incriminé, surtout après l'exemple de l'été 2003, l'excès de mortalité plus aux températures élevées qu'à l'ozone. À partir de 2004, l'occurrence d'un dépassement du seuil de 180 mg/m³ sur une ou deux stations peut se traduire par une exhortation préfectorale pour diminuer la vitesse de 30 km/h sur les grands axes. Puis, en 2010, cette obligation, compte tenu des critiques, s'est transformée en recommandation tandis que les mesures préconisées étaient graduées (figure 15).

Néanmoins, seules des mesures pérennes peuvent diminuer le bruit de fond des précurseurs de l'ozone. C'est pourquoi, dans le département des Bouches-du-Rhône, les dispositions

prises dans le cadre du PPA, voté le 17 mai 2013, réduisent la vitesse de 110 à 90 km/h de façon permanente sur les 5 principaux tronçons autoroutiers du département, ce qui rend caduques les mesures d'urgence, sur le trafic routier, préconisées dans ce département.

Les arrêtés récents ainsi que l'instruction technique de septembre 2014 vont dans le sens d'une adaptation des dispositifs au contexte local : « Les mesures d'urgence à déclencher en cas de dépassement du seuil d'alerte sont à adapter, dans la formulation comme dans les modalités de mise en œuvre, au contexte local, en tenant compte, si possible, de leur éventuel impact socio-économique. Vous prendrez donc soin de prévoir des modalités de mise en œuvre dont les impacts seront le plus possible proportionnés à la gravité de l'épisode de pollution afin de limiter l'impact sur le tissu socio-économique des territoires tout en répondant aux impératifs sanitaires ». Ces nouvelles instructions suggèrent, en outre, une meilleure coordination entre les départements et les régions en cas d'épisode recouvrant une large zone, comme c'est souvent le cas pour l'ozone. Elles permettent également de bien dimensionner les actions pour ne pas mettre en

	mesures d'urgence pour trafic automobile et collectivités	mesure d'urgence pour industriels
Niveau 1	<ul style="list-style-type: none"> • report de ses déplacements ou utilisation préférentielle des transports en commun • réduction de vitesse de 30 km/h, avec un minimum de 70 km/h* 	<p>pour les gros émetteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • stabilité des procédés • report des activités émettrices de COV
Niveau 1 renforcé	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de certains travaux de peinture et d'entretien quand ceux-ci nécessitent des moteurs thermiques 	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de chargement de COV • arrêt des torches • report des opérations de maintenance
Niveau 2	<ul style="list-style-type: none"> • interdiction de transit poids-lourds dans les agglomérations • interdiction des compétitions de sports mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> • non redémarrage des installations arrêtées
Niveau 3	<ul style="list-style-type: none"> • action plus contraignante : possibilité de circulation alternée 	<ul style="list-style-type: none"> • baisse d'activités pour réduire la production de COV et NOx

* Mesure pérennisée sur les tronçons de la région le nécessitant

Figure 15.

Les mesures d'urgence décrites par Air PACA⁶ et diffusées sur le site de la DREAL.

[Urgent measures described by Air PACA and available on DREAL website.](#)

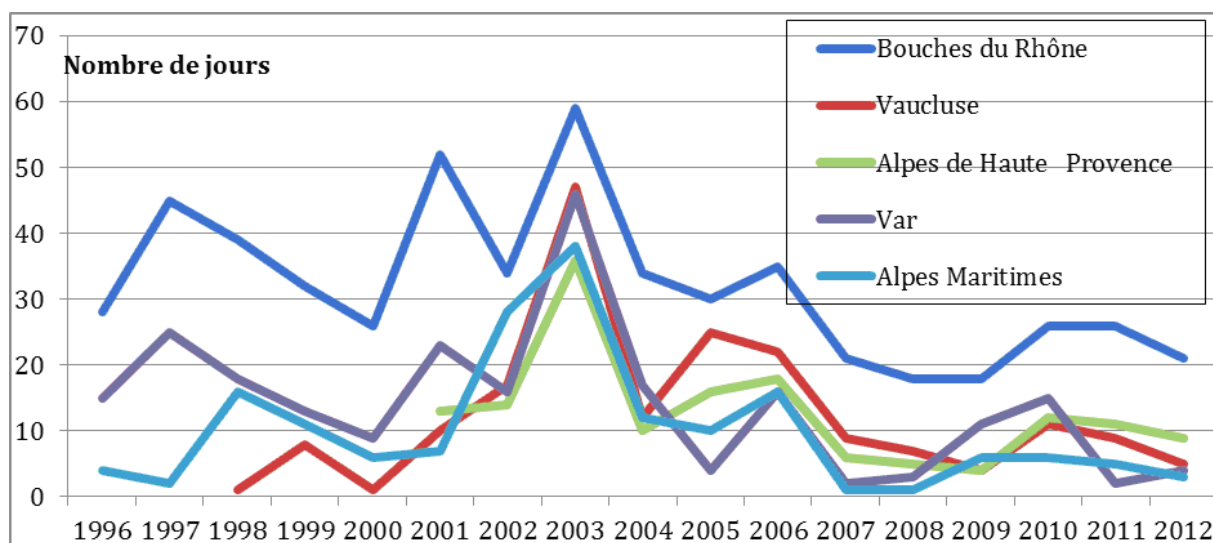


Figure 16.

Nombre de jours de dépassement des seuils d'information par département (source : Air PACA).
 Number of days of exceeded information level by departments.

œuvre des actions locales disproportionnées par rapport aux événements.

d'actions permettant de faciliter cette mise en œuvre dans des délais très courts ».

Ce nouvel encadrement réglementaire des épisodes d'ozone insiste sur la préparation des mesures d'urgence pour garantir leur efficacité⁷ : « Pour garantir la mise en œuvre efficace des mesures d'urgence et leur acceptabilité, il convient d'assurer au préalable, en dehors des épisodes de pollutions, une large concertation avec les parties prenantes, et de définir des plans

On peut constater avec les termes de ce nouvel arrêté l'importance des acquis depuis la LAURE et les progrès effectués dans la connaissance des mécanismes de la pollution. Pour autant, au fil de la vingtaine d'années écoulées, peut-on déceler des améliorations effectives dans la qualité de l'air ?

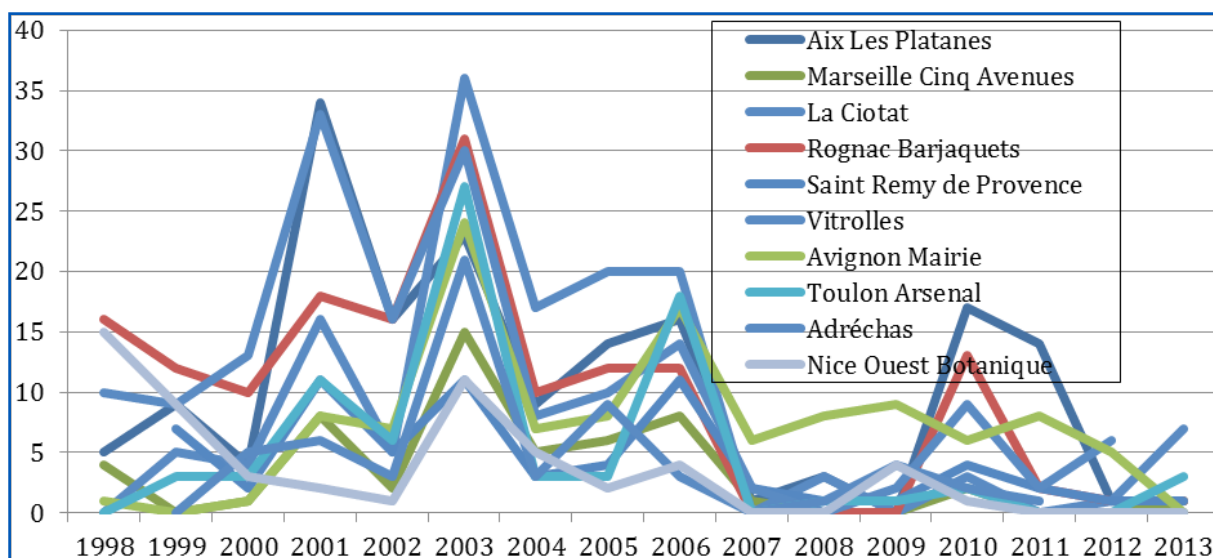


Figure 17.

Nombre de jours de dépassement du seuil d'information d'ozone par an pour quelques stations de la région PACA (source : Air PACA).
 Number of days of overtaking of information level for some stations of PACA region.

L'évolution interannuelle des épisodes d'ozone

La succession interannuelle des épisodes de pollution dépend essentiellement des variations de la météorologie, mais il semble qu'il soit possible de distinguer une légère baisse du nombre des jours présentant un dépassement du maximum horaire journalier de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figure 16 semble traduire cette tendance.

Sur les dix dernières années, 2008 et 2014 sont les années les plus épargnées par les épisodes d'ozone. L'année caniculaire 2003 a battu les records. C'est le département des Bouches-du-Rhône qui, chaque année, a été le plus touché, en raison de l'influence des précurseurs issus de la zone industrielle de l'étang de Berre. La différence entre les stations urbaines et périurbaines n'est pas très discriminante compte tenu du caractère très densément urbanisé de la région (figure 17). Les stations urbaines de Marseille et d'Avignon (en vert) ont une fréquence de dépassements qui n'est que très légèrement inférieure à celle qu'enregistrent les stations périurbaines (en bleu), majoritaires sur ce graphique. Seules des stations d'altitude, plus éloignées des foyers de peuplement, accusent une différence plus sensible. L'Est varois, selon N. Michelot (2014), se situe dans une zone de transition climatique puisque le mistral souffle de façon plus soutenue à l'ouest de la région, compte tenu de la position classique des minimums dépressionnaires en Méditerranée ; ainsi, en marge du flux synoptique, le littoral jusqu'à Menton reste sous un calme relatif, favorable aux jeux des brises ther-

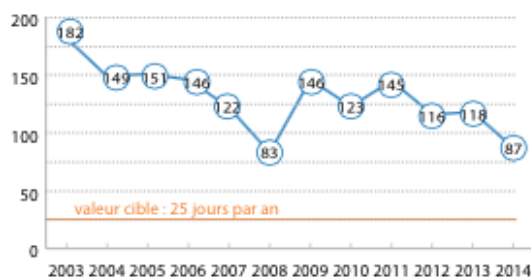


Figure 18.

Nombre de jours avec au moins un dépassement de la valeur cible européenne en PACA enregistré chaque année (Source : Air PACA).

Number of days with at least an overtaking of the European target value in PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur) recorded every year.

miques. Ces mécanismes contribuent à expliquer le découplage de l'évolution des niveaux d'ozone entre les stations occidentales et orientales de la région.

Au moment de la canicule de 2003, l'ozone a atteint des niveaux « record », qui ne se sont pas reproduits depuis, en dépit de l'augmentation de la fréquence annoncée de ce type d'épisode en fonction de l'évolution prévue du climat. Effectivement, l'occurrence d'épisodes d'ozone est liée aux variations du climat d'une année à l'autre. Cependant, on observe une tendance à la baisse, aussi bien en ce qui concerne la fréquence des dépassements de la valeur cible que des seuils d'information ou d'alerte.

Quel que soit le département, la tendance est la même (figure 18). Ce tableau montre la grande variabilité des épisodes dans le temps et dans l'espace et le contrôle de ces épisodes par les situations météorologiques. Néanmoins, la diminution de la fréquence de ces épisodes en dépit de la hausse des températures annoncée peut-elle signifier l'importance de la maîtrise des émissions ? Peut-on également incriminer cette diminution à l'efficacité des dispositifs d'information et d'alerte mis en place de manière récurrente depuis une vingtaine d'années ?

Le dispositif d'alerte a-t-il pu avoir une influence sur cette évolution ?

Les alertes, accompagnées d'un fort retentissement dans la presse, ont contribué à sensibiliser les habitants de la région et ceci d'autant plus que la médiatisation des méfaits de l'ozone s'est déroulée sur le temps long, indépendamment des épisodes. Air PACA a mis en place une vraie stratégie de communication⁸ relayée par la préfecture via le site de la DREAL PACA⁹.

Les connaissances sur les méfaits de l'ozone se sont précisées au fil des ans. On a pu démontrer que la mesure de l'ozone est un indicateur d'un ensemble de polluants photo-oxydants ; que tous ont des effets irritants et néfastes sur l'appareil respiratoire. Les investigations sur les précurseurs de l'ozone se sont aussi multipliées, dénonçant le rôle des oxydes d'azote, des gaz d'échappement et des composés organiques volatils émis par les industries.

Cette acculturation progressive sur les méfaits sanitaires de l'ozone a pu motiver les industriels et les automobilistes pour limiter les émissions

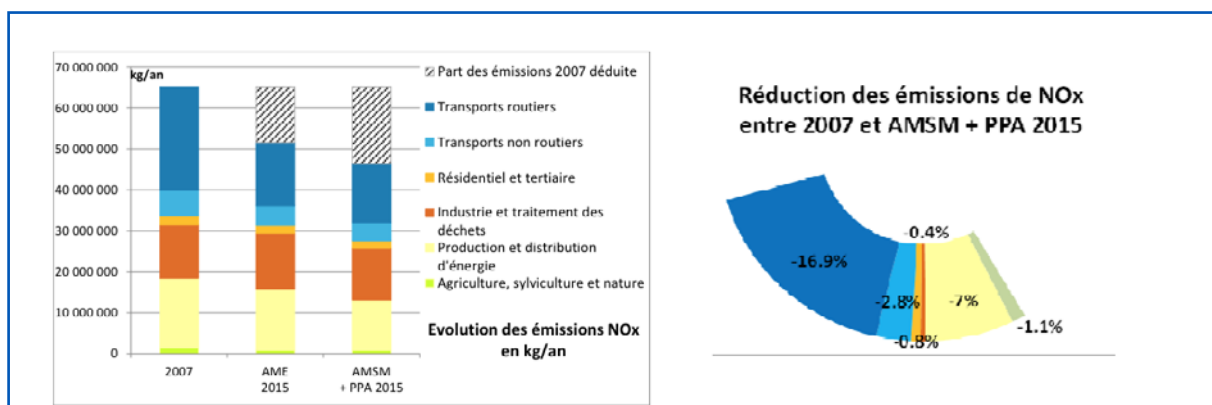


Figure 19.

Les réductions d'émissions préconisées par le dispositif du PPA des Bouches-du-Rhône du 13 mai 2013 (source : Air PACA).

The reductions of emissions, recommended by the PPA of Bouches-du-Rhône of May 13th, 2013.

des précurseurs. Effectivement, au cours des années récentes, les agglomérations ont fait de gros efforts pour s'équiper en transports en commun, et les motoristes ont contribué à faire baisser les émissions unitaires des véhicules. En revanche, la pollution de fond en ozone continue à augmenter légèrement, peut-être en raison de la baisse des oxydes d'azote dans les villes et sur les stations de fond ?

Il est toutefois difficile d'évaluer l'impact direct des mesures d'urgence dans la mesure où l'évolution de la situation météorologique contrôle directement ces épisodes de pollution élevée. Comme pour l'ensemble des pics de pollution, les mesures d'urgence sont surtout efficaces si elles débouchent sur la pérennisation d'un certain nombre de dispositifs permettant la diminution du trafic motorisé et la limitation de la vitesse. En imposant assez régulièrement une limitation de vitesse à 90 km/h sur les autoroutes de la région, sans doute les automobilistes prennent-ils l'habitude d'adopter une conduite plus douce. Air PACA estime qu'en réduisant la vitesse de 110 à 90 km/h sur un certain nombre de tronçons périurbains, on éviterait la production de 12 tonnes d'oxydes d'azote et d'une tonne de PM_{10} par an (figure 19). Ainsi, à compter du 1^{er} juillet 2012, le préfet des Bouches-du-Rhône a décidé de réduire la vitesse sur les cinq principaux tronçons autoroutiers périurbains du département. Le PPA des Bouches-du-Rhône, adopté le 17 mai 2013, préconise un certain nombre de mesures pérennes pour le secteur des transports routiers et non routiers qui devraient se traduire, sur la zone PPA, par une diminution de 4,1 % des émissions totales (tous secteurs confondus) des PM_{10} , 4,3 % des émissions totales (tous secteurs

confondus) des $PM_{2,5}$, et 5,8 % des émissions totales (tous secteurs confondus) des NOx (figure 19). L'adoption de limitations de vitesse pérennes peut donc être un facteur de diminution de la fréquence des niveaux d'ozone. Néanmoins, d'autres facteurs peuvent intervenir : La crise économique actuelle et le mouvement de désindustrialisation contribuent également à la diminution des COV produits par l'industrie. L'évolution du parc automobile a également une influence sur les émissions de NOx.

Dans ce contexte, la recommandation de réduction de vitesse de 30 km/h en cas de pic de pollution à l'ozone est suspendue sur l'ensemble du département des Bouches-du-Rhône puisque les mesures pérennes sont plus efficaces.

Dans le contexte plurifactoriel de la production d'ozone, aucun des leviers d'action ne doit être négligé même si le poids des facteurs météorologiques reste essentiel. En effet, compte tenu de l'évolution du climat et de l'occurrence régulière de périodes de fortes chaleurs estivales, l'apparition d'épisodes d'ozone reste à craindre en dépit des efforts effectués sur la réduction des émissions de précurseurs.

Conclusion

Les alertes ozone dont la région PACA est régulièrement le théâtre n'ont jamais été établies dans la continuité des alertes industrielles ; elles se sont développées et institutionnalisées sur la constatation partagée des méfaits sanitaires de l'ozone, polluant complexe et quasiment invisible. Il a fallu du temps pour vaincre le scepti-

cisme des habitants vis-à-vis de cette pollution liée au beau temps chaud et ensoleillé de l'été. Cette lente acculturation s'est effectuée sous l'influence des efforts de communication effectués par les AASQA regroupées au sein d'Air PACA, et relayés par les services de l'État. Certes, les épisodes de pollution ont permis un relais médiatique régulier mais c'est le travail de fond, les efforts de communication réguliers qui ont permis de faire prendre conscience des effets de la pollution et des possibilités offertes pour limiter les émissions.

La communication sur l'ozone, que ce soit au moment des pics de pollution ou au fil des jours, permet de découvrir la complexité du phénomène, son caractère invisible et le secret des sources, souvent diverses et éloignées. En montrant l'importance des effets sanitaires et la complexité de la prévention, les pics d'ozone sont loin de la simplicité supposée des « pics » liés à des émissions

industrielles. Ils permettent ainsi de faire prendre conscience de l'ampleur de la tâche à accomplir pour obtenir une meilleure qualité de l'air.

La connaissance plus fine des mécanismes de formation de l'ozone a permis de mieux établir le lien entre les émissions urbaines d'oxydes d'azote et la formation de l'ozone. Cette connaissance a contribué à crédibiliser les mesures d'urgence, même si leur efficacité réside surtout à s'inscrire dans une dynamique de la culture de la pollution de l'air qui essaie de maîtriser les sources.

Néanmoins, quelle que soit l'ampleur des efforts accomplis en matière de réduction des gaz précurseur, les perspectives du réchauffement climatique risquent de générer encore de nombreux épisodes d'ozone en dépit de la légère baisse constatée ces dernières années.

1. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029413664&categorieLien=id>
2. www.citepa.org
3. Avant le 1^{er} janvier 2007, il y avait en PACA trois AASQA : Airfobep, Airmaraix et qualité'air06.
4. <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029413664&categorieLien=id>
5. <http://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=392>
6. http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
7. Instruction technique pour la mise en œuvre de l'arrêté de mars 2014
8. http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
- 9 http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Depliant_reductions_de_vitesses_cle6f3563.pdf.

Références

- Billon M. (2004). Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique.
- Carrega P, Martin N. (2010). Zone et flux d'air dans l'arrière-pays niçois : mesures et modélisation à fine échelle spatiale durant un épisode estival (le 10 août 2006) *Pollution atmosphérique*, n° 207, p. 297-313.
- Coll I, Lasry F. Simulation de scénarios de réduction d'émissions. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/060601_LISA_PRIMEQUAL_SCENARIOS.pdf
- Martin N, Carrega P. (2009). La variabilité spatiale de l'ozone en milieu urbain et périurbain : le cas de Nice. *Pollution atmosphérique*, n° 204, p. 461-474. [En ligne] : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=1238>.
- Martin N. (2009). La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes. Thèse, 281 p. [En ligne] : <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/358297/filename/These.pdf>
- Michelot N, Carrega P, Rouil L. (2015). Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique, *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 92.
- Michelot N. (2014). L'influence des topo-climats sur la pollution de l'air aux particules dans le Sud-Ouest des Alpes-Maritimes. Thèse soutenue devant l'université de Nice le 21 février, 416 p.
- Michelot N. (2015). Le nouveau dispositif français de gestion des pics de pollution : l'arrêté interministériel du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisodes de pollution de l'air ambiant. *Pollution atmosphérique*, n° spécial, « Les pointes de pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience ».
- Nader B. (2015). Épisodes de pollution aiguë : quelles réponses sanitaires pour quels enjeux ? *Pollution atmosphérique*, n° spécial, p. 20.
- Robin D. (2015). Valorisation des apports du programme ESCOMPTE pour la surveillance de la qualité de l'air et le développement de supports d'illustrations des résultats. *Pollution atmosphérique*, n° spécial.
- Affiche information lors d'un épisode de pollution à l'ozone : http://www.atmopaca.org/files/ft/information_episode_pollution_ozone.pdf
- Pollution photochimique de fond et de pointe 2014 et historique sur 10 ans. Procédure préfectorale 2014. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ba/141201_bilan_ozone_2014_web.pdf
- Bilan de l'ozone en 2013. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ft/131000_bilan_ozone_2013.pdf
- Surveillance de la qualité de l'air sur la Communauté d'Agglomération de la Riviera Française en 2010. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/110920_Bilan_CARF_VF.pdf
- L'ozone en 2011. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/ft/110616_Dossier_Ozone_2011.pdf
- Surveillance de la qualité de l'air dans la Communauté d'Agglomération Dracénoise – pollution photochimique. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/120119_Draguignan_Pollution_Photochimique.pdf
- Apports du programme escompte pour la surveillance de la qualité de l'air. [En ligne] : http://www.atmopaca.org/files/et/rapport_primequal_valorisation_web.pdf

Les médias se sont emparés de cette inquiétude qui n'avait jamais été aussi vive pour la pollution de l'air, pour traiter le sujet en demandant, à la faveur de la campagne électorale, aux futurs élus, de s'engager sur la maîtrise de ce fléau. Or, le temps de l'élection et surtout celui des promesses électorales n'est pas celui de la prévention. En effet, seules des mesures structurelles, coûteuses et engageantes peuvent faire décroître durablement le niveau des polluants en agissant, de manière concomitante, sur les usines, la fabrication des véhicules, la mobilité, l'urbanisme, l'agriculture et les comportements individuels. Et encore, en agissant sur les sources, le résultat sur la qualité de l'air n'est pas immédiat puisque l'action de la météorologie, de la chimie de l'atmosphère et du transfert de polluants, peut intervenir pour contrecarrer les efforts consentis.

En dépit des confusions possibles et de discordances d'échelle, ces photos rendent palpables la nécessité d'assainir l'air des villes pour ne plus courir le risque de ne plus pouvoir marcher et pédaler dans les rues de Paris sans mettre en danger la santé des habitants...



Pollution, pollen et pollinoses : retour sur l'épisode de pollution de mars 2014 en France

Air pollution, pollen, and pollinosis: another look at the pollution episode of March 2014 in France

Samuel MONNIER,¹ Michel THIBAUDON,¹ Jean-Pierre BESANCENOT,¹

Nicolas MICHELOT²

Résumé

Il est bien connu que la prévalence des allergies en général, et des allergies au pollen en particulier, a fortement progressé durant les dernières décennies dans les pays industrialisés. L'exposition aux polluants de l'environnement peut rendre compte, pour une part, de cette tendance à la hausse. Les polluants atmosphériques agissent de multiples façons sur les aéroallergènes : ils peuvent notamment majorer le contenu en allergènes des grains de pollen et l'aptitude de ces allergènes à être libérés dans l'air, ce qui accroît le potentiel allergisant des pollens. En outre, certains polluants agissent directement ou indirectement sur les allergiques : en irritant les voies aériennes et la peau, ils facilitent la pénétration des allergènes polliniques dans le corps humain. Enfin, les grains de pollen peuvent véhiculer à leur surface différents allergènes environnementaux... L'objectif de cet article était de mettre en relation les scores polliniques, la pollution – gazeuse (NO₂) aussi bien que particulaire (PM₁₀) – et les données cliniques à Lyon et à Paris durant le long et intense épisode de pollution atmosphérique de mars 2014. Les résultats obtenus confirment le fort impact sanitaire des pollens (en l'occurrence principalement de cyprès et de peuplier). Le lien entre pollen et polluants est en revanche plus difficile à appréhender. Il n'empêche que, pour l'information de la population, il est important de toujours faire intervenir l'ensemble des données environnementales disponibles, qu'elles concernent les pollens ou les polluants physico-chimiques.

Mots-clés :

pollen, pollution atmosphérique, pic de pollution, allergie, France, 2014.

Abstract

It is well known that the prevalence of allergic diseases in general and pollen allergies in particular has increased dramatically during the past few decades in industrialized countries. Exposure to environmental pollutants may partially account for this rising trend. Air pollutants exert many actions upon aeroallergens: in particular, they may increase the number of allergens inside pollen grains and their ability to be released in the atmosphere, and thus modify their allergenic potential. In addition, some pollutants have a direct or indirect effect upon the individuals: by irritating the airways and skin, the penetration of pollen allergens into the human body can be facilitated. Lastly, the pollen grains may carry on their surfaces various environmental allergens... The aim of the present paper was to relate pollen scores, gaseous (NO₂) as well as particular (PM₁₀) pollution, and clinical data in the cities of Lyon and Paris during the long and strong pollution episode of March 2014. The results confirm that pollen (in this case, mainly cypress and poplar) has a strong health impact. The link between pollen and pollutants is harder to assess. But this does not alter the fact that public information must always involve all the environmental data with respect to both pollen and physico-chemical pollution.

Keywords:

pollen, air pollution, pollution peak, allergy, France, 2014.

Introduction

Depuis la fin du XIX^e siècle, les allergies au pollen ou pollinoses progressent régulièrement, à un rythme voisin de celui de la pollution globale de l'air. Là où cette pollution physico-chimique apparaît ou augmente, notamment en ville, la prévalence des pollinoses se renforce. Il semblerait donc que d'autres facteurs que la seule présence du pollen soient en cause, dont l'altération de la qualité de l'air. De fait, il est connu (Obtułowicz, 1993 ; Peltre, 1998 ; Laaidi *et al.*, 2002 ; Laaidi *et al.*, 2011 ; D'Amato *et al.*, 2012 ; Annesi-Maesano *et al.*, 2012 ; Shahali *et al.*, 2013) que la pollution urbaine, gazeuse ou particulaire, modifie l'allergénicité des pollens en fragilisant la surface des grains et en permettant la sortie des protéines allergisantes. Elle provoque aussi une augmentation de l'hyperréactivité bronchique, nasale, oculaire et cutanée pouvant entraîner un abaissement du seuil de sensibilité aux pollens allergisants. Enfin, les grains de pollen peuvent véhiculer à leur surface différents allergènes environnementaux.

Or l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) classe les allergies au quatrième rang mondial des maladies chroniques, et considère que ces pathologies représentent « un problème majeur de santé publique en termes de qualité de vie, de perte de jours de travail ou d'enseignement, de coût médicamenteux, voire de mortalité » (WHO, 2003). À elles seules, les allergies dues aux pollens touchent 10 à 15 % de la population globale. On admet aujourd'hui que 20 % des Français sont concernés et que, si rien n'est fait, le taux continuera à progresser dans les années qui viennent. Cela est d'autant plus plausible que, même si le niveau d'émission des principaux polluants atmosphériques a baissé ces vingt dernières années, il demeure une problématique de qualité de l'air dans certaines zones du territoire national et notamment dans certaines agglomérations urbaines. Réduire la pollution atmosphérique constitue donc un objectif impérieux et urgent, compte tenu de l'impact des polluants sur la santé publique. D'après le Service de l'Observation et des Statistiques (Pautard, 2014), les Français voient pour la troisième année consécutive dans la pollution atmosphérique le problème environnemental le plus préoccupant.

Les pollinoses peuvent être provoquées par les pollens des arbres aussi bien que par ceux des herbacées. Le risque dépend de deux facteurs essentiels : la présence d'allergènes dans

le pollen et la sensibilité des allergiques. Or la pollution chimique agit sur les deux.

Dans un rapport récent (ANSES, 2014), qui fait suite à la saisine de la DGS (Direction Générale de la Santé) et du MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie), l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail a dressé un état des connaissances sur les pollens, leurs effets sanitaires et les interactions possibles avec la pollution atmosphérique. Les principales conclusions de ce rapport sont que :

- en irritant les voies respiratoires, les polluants chimiques atmosphériques sont susceptibles d'accentuer les effets de l'allergie pollinique ;
- ces mêmes polluants peuvent déformer ou rompre la paroi des grains de pollen, entraînant la libération de microparticules (<5 µm) dites granules cytoplasmiques ; du fait de leur petite taille, ces granules pénètrent plus profondément dans l'appareil respiratoire que ne le fait le pollen entier, et induisent ainsi des réactions allergiques ;
- les polluants chimiques et physiques agissent de multiples façons sur les grains de pollen, la résultante de ces diverses actions allant presque toujours dans le sens d'un renforcement du potentiel allergisant, même si les études restent assez contradictoires à ce sujet ;
- les arbres exposés à une concentration de CO₂ dépassant de 200 ppm la concentration « ambiante normale » commencent à produire de grandes quantités de pollen à un âge et à une taille où la même espèce est encore normalement stérile, et ils continuent à en produire jusqu'à un âge très avancé.

Dans ces conditions, l'ANSES recommande d'approfondir les connaissances sur les interactions entre pollens et pollution atmosphérique (ozone, dioxyde d'azote, particules...).

À la suite de ce rapport, le MEDDE a confié au RNSA (Réseau National de Surveillance Aérobiologique) la mise en place d'un projet d'étude collaboratif visant à mettre en relation les données polliniques, les données relatives aux polluants atmosphériques et les données cliniques (fournies par les médecins, par les ventes de médicaments spécifiques ou par les patients) pour cinq

villes de France aux climats contrastés : Paris, Lyon, Toulouse, Nice et Strasbourg (Feuermann, 2014). Dans ce contexte, une attention particulière a été portée à l'épisode de pollution de mars 2014.

L'épisode de pollution de mars 2014

Un pic de pollution à la fois long et intense a affecté une bonne partie du territoire français durant le mois de mars 2014, tout spécialement du 7 au 15 (Airparif, 2014). Les conditions météorologiques étaient caractérisées par une situation anticyclonique avec des vents faibles et des nuits froides, suivies de journées bien plus douces. Une forte inversion thermique de basse couche s'est alors opposée à la dispersion des polluants. En situation normale, la température décroît avec l'altitude, si bien que l'air chaud fortement pollué au niveau du sol a tendance à s'élever et à se disperser dans un grand volume d'atmosphère. Mais ici, le sol s'est beaucoup refroidi pendant la nuit, et la température en altitude était supérieure à celle du sol. Une discontinuité thermique bloquait donc toute possibilité d'échange vertical. Les polluants se trouvaient alors piégés dans les basses couches de l'atmosphère, sous une couche d'inversion jouant le rôle de couvercle thermique (figure 1).

Même si les teneurs en NO_2 ont atteint à certains moments des niveaux relativement élevés, c'est avant tout la pollution particulaire qui a caractérisé cet épisode. Des concentrations éle-

vées ($> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en PM_{10} ont été notées sur quasiment tout le pays, tandis que des pics à plus de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont sévi pendant plusieurs jours sur la région francilienne, dans le Nord-Pas-de-Calais, en Haute et Basse-Normandie, en Bretagne, dans les Ardennes et dans le couloir rhodanien. Le jeudi 13, plus de trente départements ont été touchés par des alertes maximales à la pollution particulaire. Les conditions météorologiques peu dispersives et douces étaient favorables non seulement à l'accumulation des polluants sur leurs zones d'émissions (du fait notamment du trafic automobile et des activités industrielles), mais aussi à la formation de particules d'origine secondaire, issues en particulier des émissions d'ammoniac provenant des pratiques agricoles.

La situation n'a cependant pas été uniforme tout au long de l'épisode de pollution. Ainsi, en région parisienne, le vent s'est légèrement levé, pour atteindre un niveau faible à modéré, le mardi 11 et le mercredi 12 mais, étant fortement chargé en polluants, il n'a fait que rajouter un apport important aux niveaux locaux, ce qui a occasionné les premiers dépassements du seuil d'alerte. Puis les jeudi 13 et vendredi 14, les conditions anticycloniques de blocage, empêchant la dispersion verticale aussi bien qu'horizontale des particules, se sont de nouveau mises en place. Le matin, une puissante inversion thermique surmontait l'agglomération, avec un vent très faible et une hauteur de couche de mélange très basse. Une part importante d'émissions locales s'est ajoutée à des niveaux de pollution déjà très préoccupants. Un vent d'ouest, faible à modéré, a commencé à souffler à partir de la mi-journée du samedi 15 et a permis une certaine dispersion des particules.

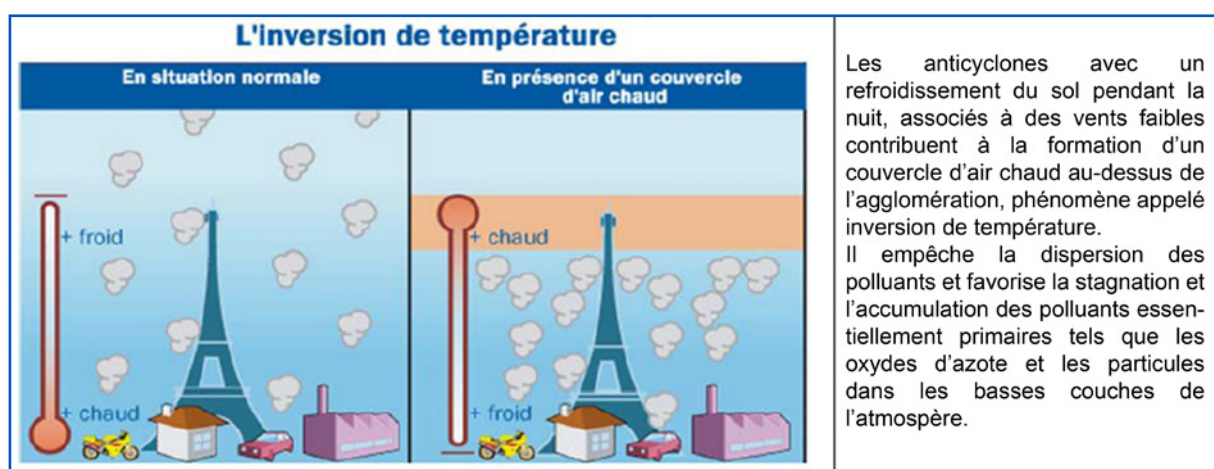


Figure 1.

Schéma explicatif de l'inversion de température (source : Airparif, 2014).

[Diagram explaining temperature inversion.](#)

Une légère « réplique » s'est produite le lundi 17 au matin, avec un vent faible mais une hauteur de couche de mélange basse. En somme, les dépassements de seuils ont débuté avec une pollution essentiellement locale, avant d'être renforcés par un apport exogène important en milieu d'épisode, puis par un ajout de pollution locale en fin de semaine (Airparif, 2014).

Il a été rapporté durant cette période, en Ile-de-France, une augmentation du nombre de passages aux urgences pour asthme entre le 13 et le 17 mars inclus (68 passages pour la journée du 13 mars *versus* 123 pour la journée du 17, contre une trentaine en moyenne annuelle), puis une légère baisse le 18 (91 recours) et une nouvelle hausse le 19, avec 105 recours aux urgences pour asthme, tous âges confondus. L'augmentation du nombre de passages concerne principalement les 15-44 ans (32 recours aux urgences pour la journée du 19, soit un surcroît de 14 par rapport à la veille). Le lien avec le pic de pollution ne peut pas être affirmé avec certitude à ce stade ; néanmoins, l'épisode de pollution particulièrement intense des jours précédents a pu y contribuer.

L'Ile-de-France et la région Rhône-Alpes ayant été tout particulièrement éprouvées par cet épisode de pollution aux PM_{10} , l'étude qui suit a été centrée sur les deux villes de Paris et de Lyon.

Données et méthodes

Les données polliniques utilisées, exprimées en concentration journalière (nombre de grains par mètre cube d'air, gr/m^3), sont celles du RNSA ; elles sont tirées de la base de données EAN (European Aeroallergen Network). Les deux principaux taxons présents sur Lyon et Paris durant l'épisode de pollution de mars 2014 étaient le peuplier (potentiel allergisant « moyen », évalué à 2 sur une échelle de 0 à 5) et le cyprès (potentiel allergisant maximal, évalué à 5 sur 5). Les pollens de bouleau, arrivés seulement fin mars alors que la pollution était revenue à des niveaux « normaux », n'ont pas été retenus. Par souci de simplification, les scores polliniques du cyprès et du peuplier ont été additionnés, de façon à caractériser la concentration de pollen dans l'air par un chiffre unique (Somme Cupressaceae + Populus).

Les données utilisées pour caractériser la pollution de l'air proviennent des stations « de

fond », urbaines ou périurbaines, relativement éloignées de toute source de pollution proche, par opposition aux stations dites « de proximité ». Ces stations de fond ne subissent pas les impacts immédiats d'une source de pollution, et permettent de mesurer un air « moyen » dans le secteur concerné. Les données ont été fournies par différentes AASQA (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air) : Airparif pour la région Ile-de-France, Air Rhône-Alpes pour la région Rhône-Alpes. Il s'agit de données horaires et/ou journalières, exprimées en microgrammes par mètre cube d'air ($\mu g/m^3$). Seules ont été retenus ici le NO_2 et les PM_{10} , car ce sont les deux polluants qui étaient les plus surreprésentés durant l'épisode de mars 2014.

Les données cliniques utilisées sont celles de SOS Médecins, premier réseau d'urgences et de permanence de soins en France. Ce réseau traite la majorité des appels parvenant au SAMU nécessitant un avis médical rapide en zone urbaine ou périurbaine. L'ensemble des associations SOS Médecins reçoivent sur ses plateformes téléphoniques 4 millions d'appels par an, donnant lieu à une réponse médicale adaptée (conseil téléphonique, renseignement, réorientation, intervention) ; plus de 2,5 millions de visites à domicile sont effectuées par environ un millier de médecins. Avec l'aide du secrétaire général de SOS Médecins France, nous avons pu disposer, au pas de temps journalier, des données concernant les motifs d'appels téléphoniques pour des problèmes pouvant être liés à une allergie aux pollens (asthme, rhinite, toux, conjonctivite) dans les agglomérations de Paris et de Lyon.

La démarche retenue repose, de la façon la plus simple qui soit, sur la visualisation des courbes représentant les trois types de données exploitées (polliniques, atmosphériques et cliniques), superposées sur un même graphique afin de permettre la détection d'éventuelles concomitances.

Résultats

Lyon

La figure 2 montre le jeudi 13 mars, jour médian de l'épisode de pollution, un pic assez proéminent de pollens de cyprès + peuplier. Pourtant, SOS Médecins n'a effectué ce jour-là aucune intervention pour l'un des motifs retenus. De même, au lendemain du premier pic de pol-

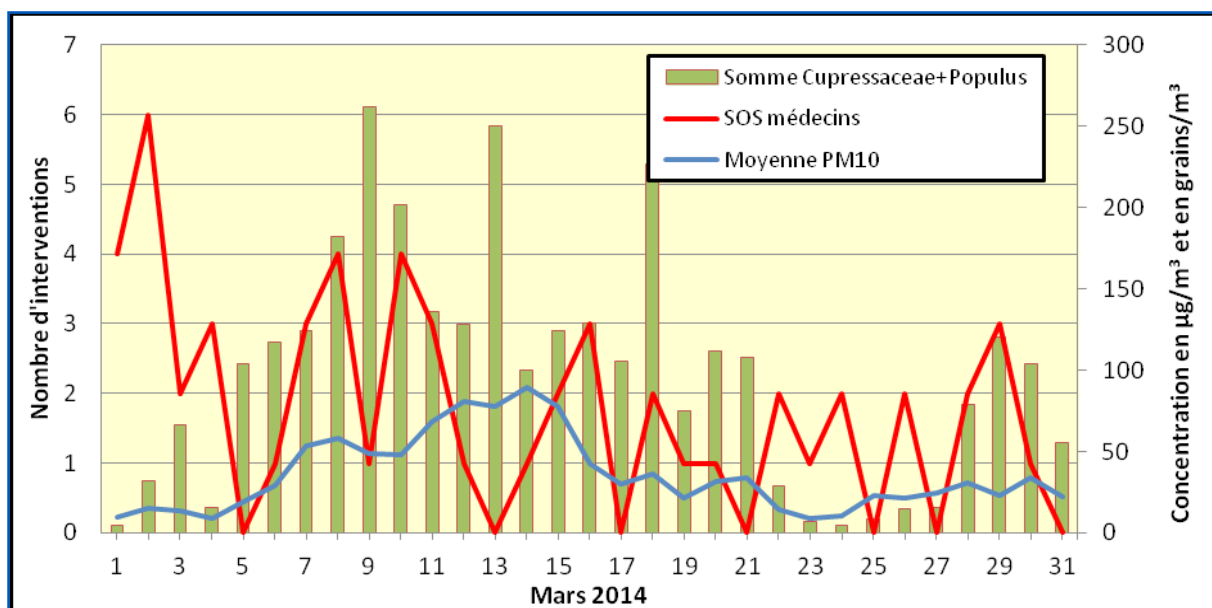


Figure 2.

Scores polliniques, données cliniques et pollution particulaire en mars 2014 à Lyon.

Pollen scores, clinical data, and particular pollution in Lyon in March 2014.

lution (samedi 8), était apparu le dimanche 9 un pic pollinique, au demeurant le plus vigoureux du mois, sans que les consultations de SOS Médecins ne décollent vraiment – résultat d’autant plus frappant que 60 % des actes de ce réseau d’urgence de proximité sont réalisés la nuit, le samedi après-midi, le dimanche ou les jours

fériés. En revanche, le samedi 8 et le lundi 10 ont été marqués par deux pics non négligeables d’activité de SOS Médecins, coïncidant avec des pics de pollens de cyprès-peuplier et avec une pollution aux PM₁₀ supérieure au seuil d’information du public, fixé à 50 µg/m³. Des constats assez voisins peuvent être faits pour le dimanche

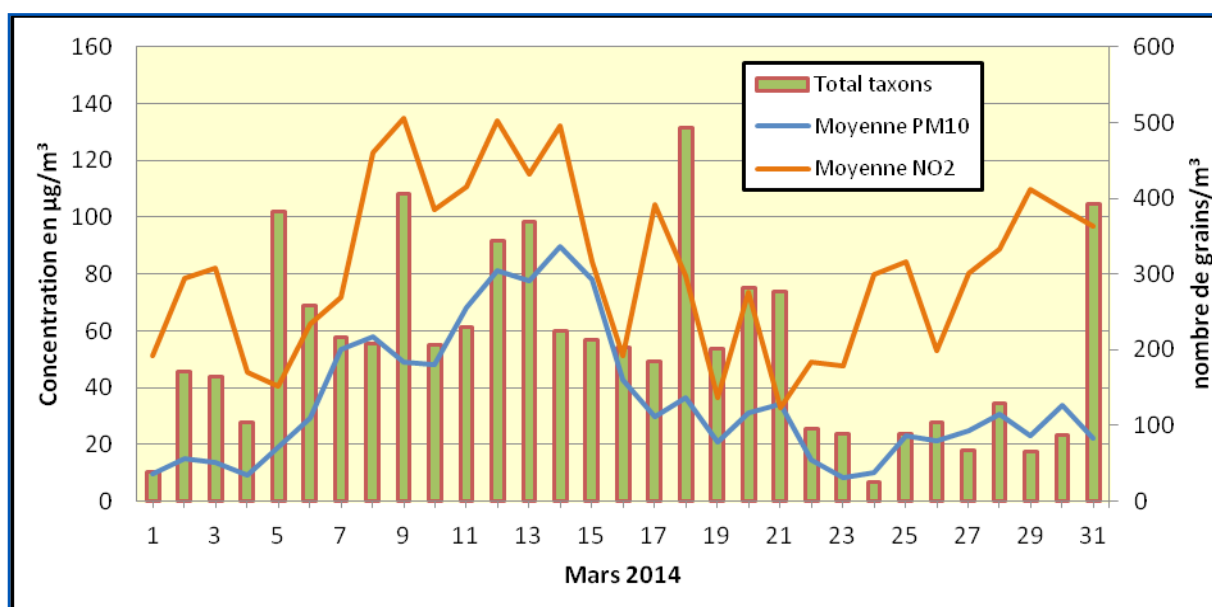


Figure 3.

Scores polliniques (tous taxons), pollution particulaire et pollution par le NO₂ en mars 2014 à Lyon.

Pollen scores (all taxa), particular pollution and NO₂ pollution in Lyon in March 2014.

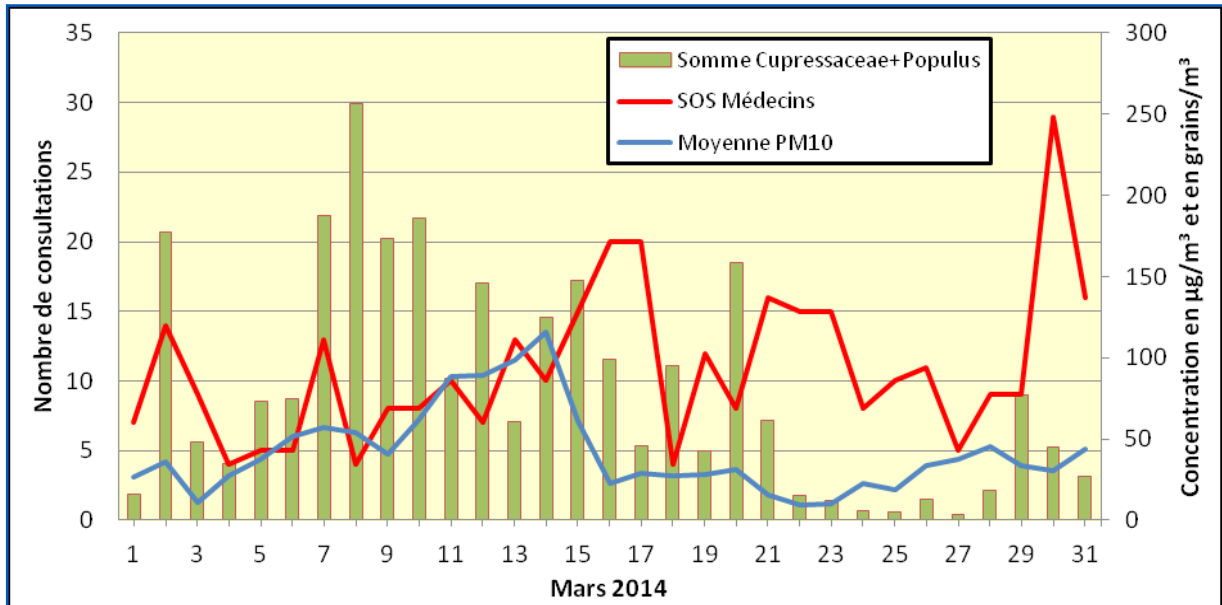


Figure 4.

Scores polliniques, données cliniques et pollution particulaire en mars 2014 à Paris.

Pollen scores, clinical data, and particular pollution in Paris in March 2014.

16 mars, pour le mardi 18 et pour le samedi 29, avec toutefois des niveaux plus faibles de PM₁₀. Il n'est donc pas exclu qu'existe une faible concomitance entre les pics de cyprès-peuplier et de PM₁₀ le samedi 8 mars. La pollution particulaire aurait alors interagi avec les pollens pour provoquer des symptômes qui nécessitent un appel à

SOS Médecins. Il est en revanche plus difficile d'expliquer pourquoi le recours à SOS Médecins a chuté le lendemain (dimanche 9) au moment du pic principal de pollen et alors même que l'épisode de pollution aux particules fines se poursuivait. Cela d'autant plus que ce 9 mars, cyprès et peuplier n'étaient pas les seuls pollens présents

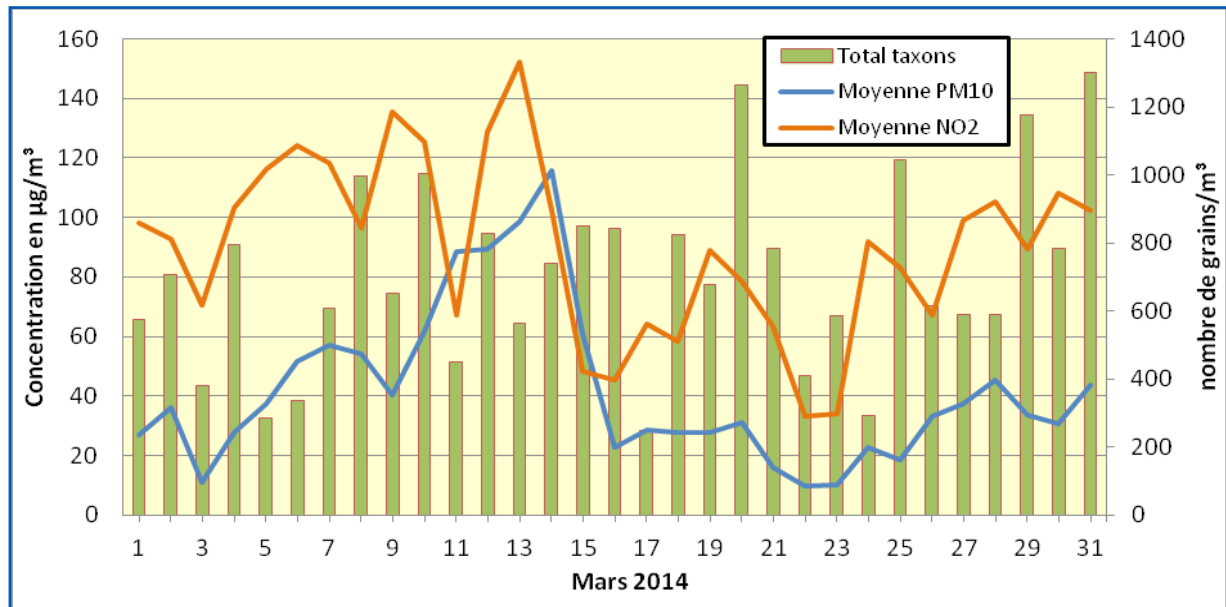


Figure 5.

Scores polliniques (tous taxons), pollution particulaire et pollution par le NO₂ en mars 2014 à Paris.

Pollen scores (all taxa), particular pollution and NO₂ pollution in Paris in March 2014.

dans l'air, et que la pollution particulaire se doublait d'une notable pollution gazeuse (figure 3) : le score pollinique total, tous taxons confondus, a alors présenté un pic à plus de 405 grains/m³, tandis que le NO₂ atteignait sa culmination mensuelle, à plus de 130 µg/m³ alors que l'objectif de qualité se situe pour ce polluant à 40 µg/m³.

Est-ce à dire que les concentrations de pollen ont tendance à augmenter en présence d'une forte pollution aux particules et au NO₂ ? Il serait bien prématuré de l'affirmer, mais l'exemple des 12 et 13 mars plaiderait plutôt en ce sens.

Paris

Les pollens de cyprès + peuplier ont été fortement présents sur la capitale au début du mois de mars, avec une pointe le samedi 8, donc au tout début de l'épisode de pollution, et ils sont restés présents tout au long de cet épisode, en quantité notable jusqu'au 10, en quantité un peu moindre ensuite. Les pics de PM₁₀ sont intervenus immédiatement après, soit du lundi 10 au vendredi 14. Quant aux pics d'activité de SOS Médecins, ils se sont produits du vendredi 7 au lundi 17, ce qui laisse à penser qu'ils sont plutôt liés aux pollens (Figure 4).

À Paris, le total tous taxons est resté dans l'ordre de grandeur des valeurs normales (700 grains/m³ en moyenne) lors de l'épisode de pollution aux particules et au NO₂.

Très peu de pollens étaient présents dans l'air le 17 mars, avec seulement 248 grains/m³ d'air, les polluants se maintenant aussi à un niveau faible. Le pic de pollution aux particules PM₁₀ s'est produit le 14 mars, à un niveau très supérieur au seuil d'alerte aujourd'hui fixé à 80 µg/m³, tandis que le pic de NO₂ l'a précédé d'une journée, mais en restant bien au-dessous du seuil d'alerte, actuellement placé à 400 µg/m³ sur trois heures consécutives. Le score pollinique tous taxons était à 563 grains/m³ le 13 mars, et il est monté à 740 le lendemain.

Ainsi, l'agglomération parisienne a traversé en mars 2014 un épisode de pollution aux particules fines à la fois fort et durable, qui a affecté la santé des sujets les plus fragiles (enfants, personnes

âgés...). La mise en place d'une circulation alternée le lundi 17 mars, couplée à des conditions météorologiques plus favorables, a permis une diminution sensible de la pollution par la suite, qui s'est ensuite prolongée jusqu'à la fin du mois.

Conclusion

Si l'impact sanitaire des pollens ressort clairement des figures 2 à 5, conformément à ce qui a déjà été maintes fois vérifié dans la littérature scientifique, le lien entre polluants atmosphériques et pollens est beaucoup plus délicat à identifier.

On remarquera que, pendant l'épisode de pollution de mars 2014, les quantités de pollens présentes dans l'air n'étaient pas très élevées, tant à Lyon qu'à Paris. Cela n'a cependant pas empêché la survenue de pollinoses, telles du moins qu'on peut les suspecter à travers les données de SOS Médecins. L'explication pourrait résider dans un abaissement du seuil de sensibilité des allergiques à certains pollens, sous l'effet de la pollution chimique qui renforcerait l'allergénicité des pollens, par exemple en déformant ou en rompant la paroi des grains, entraînant la libération de fragments de grains de pollen et de granules cytoplasmiques. Une autre hypothèse, qui n'exclut pas nécessairement la précédente, est que des polluants comme les PM₁₀ et le NO₂ ont pu irriter les voies respiratoires, augmenter la réactivité bronchique et accentuer ainsi les effets de l'allergie pollinique.

La conclusion pratique que l'on tirera de cette étude, en attendant des investigations plus poussées, c'est que, pour l'information de la population, il convient toujours de mettre en relation l'ensemble des données environnementales, concernant les pollens comme les polluants physico-chimiques, afin de proposer des attitudes visant à limiter l'impact sanitaire de ces pollutions sur les allergiques. Les missions de surveillance, d'anticipation et de prévention du risque allergique confiées au RNSA s'inscrivent dans cette perspective ; elles doivent permettre la mise en œuvre par les autorités de santé de politiques adéquates.

1. RNSA (Réseau National de Surveillance Aérobiologique)
2. MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie)

Références

- Airparif. (2014). Dossier de presse : Bilan de l'épisode de pollution et de la circulation alternée. Paris : Association Airparif, 8 p.
- Annesi-Maesano I, Rouve S, Desqueyroux H *et al.* (2012). Grass pollen counts, air pollution levels and allergic rhinitis severity. *Int Arch Allergy Immunol*, n° 158(4), p. 397-404.
- ANSES (2014). État des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant. Maisons-Alfort, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail, 217 p.
- D'Amato G, Baena-Cagnani CE, Cecchi L *et al.* (2012). Climate change, air pollution and extreme events leading to increasing prevalence of allergic respiratory diseases. *Multidiscip Respir Med.*, n° 8(12), p. 1-9.
- Feuermann E. (2014). Interaction entre pollens et polluants atmosphériques : quel impact sur la santé ? Université de Nice, Mémoire de Master-2, 101 p.
- Laaidi M, Laaidi K, Besancenot JP. (2002). Synergie entre pollens et polluants chimiques de l'air : les risques croisés. *Environ Risques Santé*, n° 1(1), p. 42-49.
- Laaidi M, Chinet T, Aegerter P. (2011). Allergies au pollen, pollution et climat : revue de la littérature. *Rev Fr Allergol*, n° 51(7), p. 622-628.
- Obtulowicz K. (1993). Air pollution and pollen allergy. *Folia Med Cracov*, n° 34(1-4), p. 121-128.
- Pautard E. (2014). Opinions et pratiques environnementales des Français en 2013. *Chiffres & statistiques : observation et statistiques*, n° 505, p. 1-9.
- Shahali Y, Poncet P, Sénéchal H. (2013). Pollinose aux Cupressacées et pollution atmosphérique. *Rev Fr Allergol*, n° 53(5), p. 468-472.
- WHO. (2003). Phenology and human health: allergic disorders. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 64 p.

Épisodes de pollution aiguë : quelles réponses sanitaires pour quels enjeux ?

Brigitte NADER

Géographe de la santé, membre associé au Lab'Urba, UPEC

Mots-clés :

dépassement de seuil, persistance, alerte, messages sanitaires, inégalités sociospatiales, effets sanitaires, qualité de l'air, pollution atmosphérique, développement durable

Keywords:

Threshold overrun, persistence, alert, sanitary messages, socio-spatial inequality, sanitary effects, air quality, atmospheric pollution, sustainable development

Les pointes de pollution de 2013 et 2014 s'insèrent dans une évolution législative européenne et nationale concernant les seuils de polluants et les procédures d'alerte à la pollution atmosphérique. Depuis 2014, la notion de persistance a été introduite dans la loi pour enclencher les procédures de précaution et de prévention. Bien que les pointes de pollution ne constituent pas un enjeu de santé publique, elles sont la façade d'une pollution chronique dont les effets sanitaires sont plus importants en termes de santé et de morbidité auxquels s'ajoutent des inégalités sociospatiales d'exposition. Les mesures doivent privilégier le long terme pour diminuer les émissions de polluants et amener la population, dont la prise de conscience est réelle, à modifier ses comportements pour cheminer vers une politique assurant une qualité de l'air pour tous.

Introduction

La disparition de la tour Eiffel sous un voile jaunâtre marqua les esprits lors des derniers épisodes de pollution aiguë qui touchèrent la

France aux mois de décembre 2013 et de mars 2014. Durant ces deux périodes, la concentration des particules PM_{10} a dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures, seuil au-delà duquel on considère que la santé des habitants est mise en danger. Ce dépassement a alors entraîné des procédures d'information et de recommandation puis une procédure d'alerte auprès des habitants lorsque les valeurs ont été supérieures à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures. Les grandes villes comme Paris et Lyon ont appliqué la gratuité des transports, la réduction de la vitesse des voitures, et pour la première fois depuis 1997, les Franciliens ont vu la circulation alternée pendant un jour au mois de mars. Ces deux « pics » et les mesures d'urgence mises en place ont suscité de nombreux débats en France : le premier est lié au risque sanitaire de tels épisodes qui ont ravivé les inquiétudes des Français, déjà évoquées par le baromètre santé de l'INPES en 2007, et confirmées depuis par plusieurs sondages comme ceux de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), ou encore de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), concernant la pollution et ses effets sanitaires. Le deuxième concerne la succession des pointes de pollution et la réactivité des autorités lors du dernier épisode. Enfin, de tels épisodes font ressurgir les polémiques sur les responsabilités individuelles et collectives de la pollution atmosphérique. Ces pointes, épisodiques et fortement médiatisées, sont la partie la plus visible d'une pollution chronique, qui est un véritable enjeu de santé publique. Ces épisodes nous amènent à revenir sur les seuils et leur dépassement qui provoquent des alertes à la pollution, et les réponses sanitaires qui y sont associées, mais aussi sur les enjeux nombreux de ces épisodes aigus et de la pollution chronique sous-jacente.

Évolution des réponses sanitaires aux épisodes aigus de pollution atmosphérique

La mise en place progressive des normes et seuils en Europe et en France pour les différents polluants

Pour lutter contre la pollution atmosphérique, l'Union européenne et la France ont intégré dans leurs législations des normes et des seuils concernant les principaux polluants tels que l'ozone, les particules en suspension PM_{10} et $PM_{2,5}$, le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NOX). Ainsi, la Communauté européenne a introduit dans sa législation, dans les années 80, des normes d'émission et des normes de qualité de l'air donnant des objectifs à atteindre sous forme de valeurs limites d'immission pour chaque pays signataire. Ces normes se sont inspirées des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé de 1987 (Air quality guidelines for Europe, 1987). La France a appliqué en 1996 les directives européennes en promulguant la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie (LAURE) du 30 décembre 1996 qui intègre pour la première fois une dimension sanitaire liée au principe de précaution. Elle définit entre autres « le droit à respirer un air qui ne nuise pas à la santé ». L'OMS a réactualisé en 2005 ses valeurs dites de qualité et a établi, pour chaque polluant, des seuils à atteindre en spécifiant les risques sanitaires d'après les nombreuses études épidémiologiques internationales. L'Union européenne a modifié en abaissant les normes et seuils des polluants par la 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 en Europe. Les directives européennes sont introduites en France dans la loi du 21 octobre 2010 qui modifie la LAURE.

Néanmoins, il existe un décalage entre les normes européennes plus sévères et les normes françaises pour les particules fines et l'oxyde d'azote, ce qui entraîne la France à dépasser régulièrement les seuils autorisés. En effet, le HCSP (Haut Conseil de Santé Publique), dans son rapport de 2012 (HCSP, 2012) sur la pollution par les particules dans l'air ambiant, propose des

valeurs annuelles à atteindre de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2,5}$ et 25 pour les PM_{10} en valeur annuelle. Ces seuils restent supérieurs aux seuils proposés par l'OMS qui recommande la valeur guide de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en valeur annuelle. Les seuils recommandés en valeur journalière sont de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2,5}$ et 50 pour les PM_{10} (entre 25 et 50 pour l'OMS). Le HCSP préconise l'échéance 2015 pour atteindre ces valeurs guides, et 2020 en tant que valeurs impératives à ne pas dépasser. Le bilan de la qualité de l'air de 2013 du ministère du Développement durable et de l'Énergie souligne les dépassements continus des seuils établis pour les polluants comme les PM_{10} , les $PM_{2,5}$ et l'ozone¹. La commission européenne a saisi la cour de justice de l'Union européenne pour contraindre la France à respecter les directives.

Le dépassement de seuil, socle de la définition de l'alerte

Toutes les normes européennes et françaises se fondent ainsi sur la notion de dépassement de seuil pour enclencher des procédures spécifiques en fonction du danger sanitaire encouru. Les valeurs limites et les objectifs de qualité représentent les indicateurs relatifs au « bruit de fond » de la pollution, calculés en moyenne annuelle. Les seuils d'alerte sont quant à eux définis à partir d'indicateurs calculés sur des moyennes horaires ou journalières. Dès que la valeur seuil est dépassée, une procédure d'information auprès du public est lancée, suivie d'une procédure d'alerte, qui ne signifie pas forcément une catastrophe sanitaire. Cette procédure d'alerte a pour origine les plans de préventions industriels des années 70. Elle a été introduite en Europe en 1992 pour l'ozone, et par décret en France le 18 août 1998 concernant la qualité de l'air.

Les directives de 2008 ont entraîné un abaissement des seuils en France, ce qui a conduit automatiquement à une augmentation des procédures d'information et d'alerte. En effet, les seuils d'information et de recommandation et le seuil d'alerte des PM_{10} ont été abaissés respectivement à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par 24 h. Ainsi, dans la région Rhône-Alpes, l'intégration du changement de seuil dès janvier 2011 aurait déclenché 13 fois plus de procédures de recommandation ou d'alerte (Rodriguez, 2012). Ces modifications peuvent faire croire que la pollution est plus importante, et que les pointes de pollution sont nombreuses et plus nocives qu'auparavant. Cette notion de

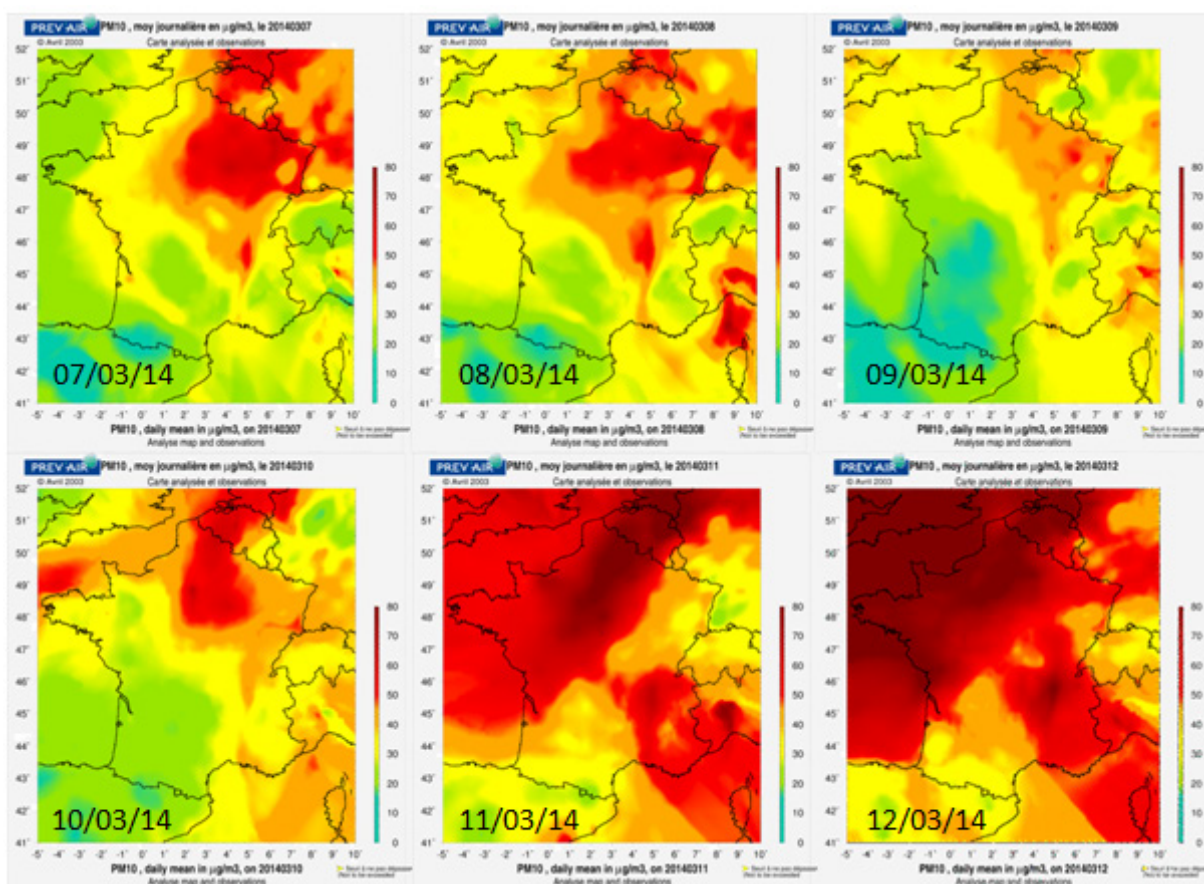


Figure 1.

Évolution des concentrations moyennes journalières de PM₁₀ du 7 au 12 mars 2014. (Source : PREVAIR : www2.prevoir.org/content/analyses-historiques-et-chroniques-de-polluants)

dépassement de seuil interroge car elle n'est en rien une valeur qui permet de protéger la population. En effet, aucune étude ne peut déterminer si un seuil est protecteur ou non. Les valeurs dites de qualité permettent de réduire le risque sanitaire mais ne l'annihilent pas. Le seuil est donc un compromis qui permet d'accepter le risque sanitaire.

Les pics de pollution de 2013 et 2014 et l'accélération législative

L'introduction de la notion de persistance

Lors de ces derniers pics de pollution, cette notion de dépassement de seuil est apparue inappropriée devant la persistance de la pollution atmosphérique. Les pics de décembre 2013 et mars 2014 ont marqué les esprits par le nombre de jours où les seuils des particules PM₁₀ ont été

dépassés et par leur extension géographique. En effet, du 7 au 13 mars, l'ensemble des régions françaises a été affecté, avec une extension et une intensité maximale les 11 et 12 mars, par des concentrations en particules PM₁₀ très élevées (dépassant 80 µg/m³) observées pendant plusieurs jours en Ile-de-France, Nord-Pas-de-Calais, Haute et Basse-Normandie, Bretagne, dans les Ardennes et dans le couloir Rhodanien, ainsi que des concentrations élevées (dépassant 50 µg/m³) sur quasiment la totalité du territoire national, comme le montre la figure 1².

La durée sur plusieurs jours de la pollution atmosphérique a conduit le gouvernement à redéfinir un épisode de pollution aigu. L'arrêté du 26 mars 2014 caractérise un épisode de pollution aux particules PM₁₀ « par constat de dépassement du seuil d'information et de recommandation (modélisation intégrant les stations de fond) durant deux jours consécutifs et prévision de dépassement du seuil d'information et de recommandation pour le jour même et le len-

POPULATIONS CIBLES DES MESSAGES	MESSAGES SANITAIRES
<p>Populations vulnérables :</p> <p>Femmes enceintes, nourrissons et jeunes enfants, personnes de plus de 65 ans, personnes souffrant de pathologies cardio-vasculaires, insuffisants cardiaques ou respiratoires, personnes asthmatiques.</p> <p>Populations sensibles :</p> <p>Personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics (par exemple : personnes diabétiques, personnes immunodéprimées, personnes souffrant d'affections neurologiques ou à risque cardiaque, respiratoire, infectieux).</p>	<p>En cas d'épisode de pollution aux polluants suivants : PM₁₀, NO₂, SO₂ : limitez les déplacements sur les grands axes routiers et à leurs abords, aux périodes de pointe (horaires à préciser éventuellement au niveau local). Limitez les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions), autant en plein air qu'à l'intérieur.</p> <p>En cas d'épisode de pollution à l'O₃ : limitez les sorties durant l'après-midi (ou horaires à adapter selon la situation locale). Limitez les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions) en plein air ; celles à l'intérieur peuvent être maintenues.</p> <p>Dans tous les cas :</p> <p>En cas de symptômes ou d'inquiétude, prenez conseil auprès de votre pharmacien ou consultez votre médecin ou contactez la permanence sanitaire locale (lorsqu'elle est mise en place).</p>
<p>Population générale</p>	<p>Il n'est pas nécessaire de modifier vos activités habituelles.</p>

Tableau 1.

Message à diffuser lors d'un dépassement nécessitant une information

demain (...). En l'absence de modélisation, un épisode est considéré comme persistant s'il se maintient pendant trois jours consécutifs d'après les mesures des stations de fond ».

La notion de persistance devient ainsi une variable modulant les dispositifs d'alerte. Parallèlement, cet arrêté réorganise le dispositif de gestion des pics de pollution sur le territoire national en décrivant le déroulé du dispositif que l'autorité préfectorale doit suivre. Le 7 juillet, chaque préfet de région a mis en œuvre un arrêté interpréfectoral relatif à la procédure d'information-recommandation et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution visant à réduire cette pollution, conformément aux dispositions des articles L.223-1 et R.223-1 et suivants du Code de l'environnement. Il s'agit ici d'harmoniser, à échelle nationale, le panel des mesures à la disposition des préfetures.

Des messages d'information, de recommandation et d'alertes nationaux

Les messages sanitaires permettent une communication pour prévenir et protéger la population. Ces messages sont issus des recommandations du HCSP élaborées en avril 2000, reprises dans l'arrêté du 11 juin 2003 relatif aux informations à fournir au public en cas de dépassement ou de risque de dépassement des seuils d'information ou de recommandation ou des seuils d'alerte. En octobre 2013, le HCSP a modifié les messages sanitaires visant à protéger les personnes dites sensibles ou vulnérables en cas d'épisode de pollution. Ces nouvelles recommandations ont fait l'objet d'un arrêté le 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé. L'article 1 stipule qu'en cas d'alerte, les informations diffusées au public sont les messages sanitaires

POPULATIONS CIBLES DES MESSAGES	MESSAGES SANITAIRES
<p>Populations vulnérables :</p> <p>Femmes enceintes, nourrissons et jeunes enfants, personnes de plus de 65 ans, personnes souffrant de pathologies cardio-vasculaires, insuffisants cardiaques ou respiratoires, personnes asthmatiques.</p> <p>Populations sensibles :</p> <p>Personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics (par exemple, personnes diabétiques, personnes immunodéprimées, personnes souffrant d'affections neurologiques ou à risque cardiaque, respiratoire, infectieux).</p>	<p>En cas d'épisode de pollution aux polluants suivants : PM₁₀, NO₂, SO₂ : évitez les déplacements sur les grands axes routiers et à leurs abords, aux périodes de pointe (horaires à préciser éventuellement au niveau local). Évitez les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions), autant en plein air qu'à l'intérieur. Reportez les activités qui demandent le plus d'effort.</p> <p>En cas d'épisode de pollution à l'O₃ : évitez les sorties durant l'après-midi (ou horaires à adapter selon la situation locale). Évitez les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions) en plein air ; celles peu intenses à l'intérieur peuvent être maintenues.</p> <p>Dans tous les cas : En cas de gêne respiratoire ou cardiaque (par exemple, essoufflement, sifflements, palpitations) : - prenez conseil auprès de votre pharmacien ou consultez votre médecin ou contactez la permanence sanitaire locale (lorsqu'elle est mise en place) ; - privilégiez des sorties plus brèves et celles qui demandent le moins d'effort ; - prenez conseil auprès de votre médecin pour savoir si votre traitement médical doit être adapté le cas échéant.</p>
<p>Population générale</p>	<p>Réduisez les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions). En cas d'épisode de pollution à l'ozone, complétez par : les activités physiques et sportives intenses (dont les compétitions) à l'intérieur peuvent être maintenues. En cas de gêne respiratoire ou cardiaque (par exemple, essoufflement, sifflements, palpitations), prenez conseil auprès de votre pharmacien ou consultez votre médecin ou contactez la permanence sanitaire locale (lorsqu'elle est mise en place).</p>

Tableau 2.

Messages à diffuser en cas d'alerte qui s'adresse à toute la population en ciblant toujours les personnes sensibles et vulnérables

nationaux à adapter en fonction des spécificités régionales et du public visé.

Ces messages se sont particulièrement complexifiés depuis les années 2000, et sont difficilement compréhensibles et applicables par tous. La différence entre personne sensible, vulné-

rable et la population générale est critiquable. Cela suppose de s'identifier à un des types de personnes proposées. Pourquoi la population générale doit-elle prendre moins de précautions pendant les périodes d'information et d'alerte ? Ces messages visent à appliquer le principe de précaution, englobant ainsi la population à risque,

pour éviter des effets sanitaires à court terme qui, *a priori*, touchent moins la population générale. Ces messages ne peuvent pas être formulés de la sorte et doivent être simplifiés dans les dispositifs d'alerte préfectoraux lors des épisodes de pollution atmosphérique pour être compris par tous. Les effets sanitaires sont différents en fonction des polluants et de la saisonnalité, les messages doivent donc s'adapter davantage au contexte, à la temporalité et aux territoires.

Gérer la dimension spatiale de l'épisode aigu de pollution atmosphérique

La loi 26 mars 2014 introduit une dimension spatiale à l'épisode de pollution. Elle caractérise un épisode de pollution « soit à partir d'un critère de superficie, dès lors qu'une surface d'au moins 100 km² au total dans une région est concernée, soit à partir d'un critère de population. Pour les départements de plus de 500 000 habitants, lorsqu'au moins 10 % de la population dans le département est concernée. Pour les départements de moins de 500 000 habitants, lorsqu'au moins 50 000 habitants sont concernés. (...) Les situations locales particulières portant sur un territoire plus limité, notamment les vallées encaissées ou mal ventilées, les zones de résidences à proximité

de voiries à fort trafic et les bassins industriels. (...) En l'absence de modélisation de la qualité de l'air, un épisode de pollution peut-être caractérisé par constat d'une mesure de dépassement d'un seuil sur au moins une station de fond. »

La pollution atmosphérique a la particularité de se retrouver à toutes les échelles du territoire selon des intensités qui peuvent se concentrer dans des lieux précis. Certaines situations météorologiques favorisent une plus forte concentration des polluants au sol. En ville, la pollution se concentre à toutes les échelles avec un gradient d'intensité entre, premièrement, les quartiers résidentiels avec peu de trafic qui représentent la pollution urbaine de fond, et deuxièmement, les quartiers proches des grands axes de circulation, où la pollution est dite de proximité. En outre, à une échelle fine, comme celle du quartier ou de la rue, la pollution peut se concentrer localement selon un effet entonnoir, et créer au quotidien des situations de forte exposition à la pollution atmosphérique. Il s'agit bien ici de la pollution de proximité définie par Isabelle Rousel comme étant « une pollution ambiante qui ne résulte pas majoritairement de transferts atmosphériques à longue distance et qui est déterminée par le voisinage de sources d'émissions fixes ou mobiles ». La carte d'Airparif sur la pollution parisienne par les particules fines PM_{2,5} en 2013

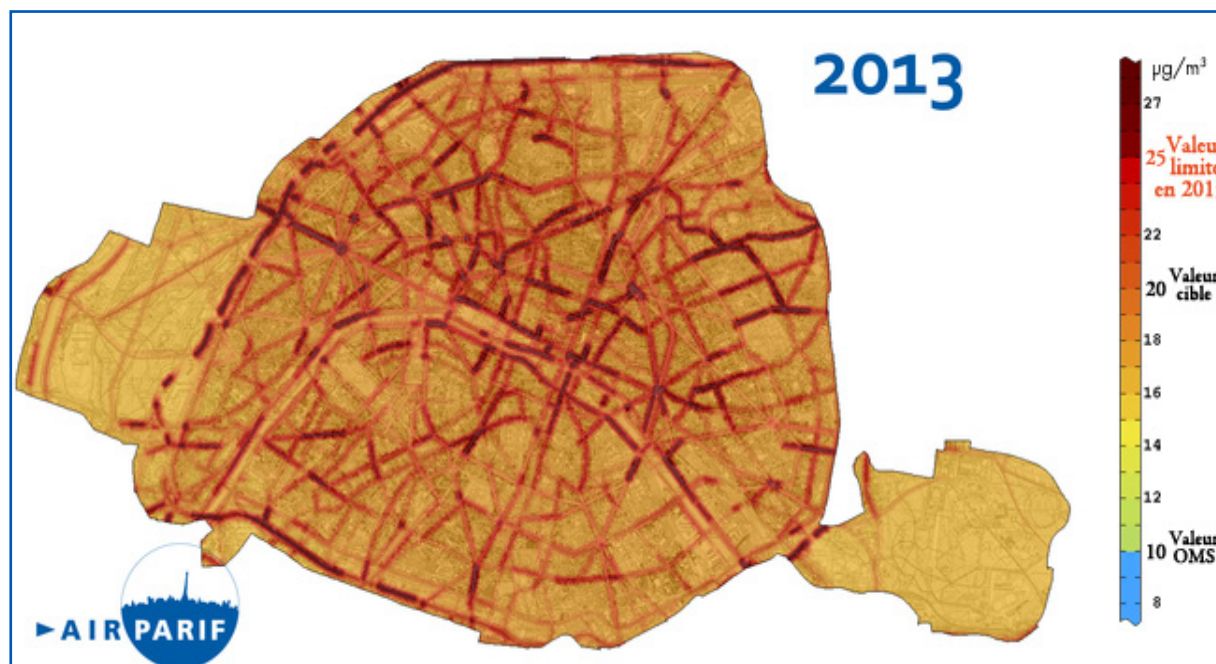


Figure 2.

Carte annuelle de la pollution par les poussières > PM_{2,5} en 2013 à Paris.
 Source AIRPARIF : <http://www.airparif.asso.fr/etat-air/bilan-annuel-cartes>

montre la concentration le long des boulevards et des rues où la circulation automobile est dense (figure 2). Ces espaces sont densément peuplés et la population est donc exposée de façon chronique à la pollution atmosphérique. Les épisodes de pollution apparaissent d'après les mesures des stations de fond, mais dans les grandes villes certaines stations de trafic dépassent les 35 jours autorisés pour les particules fines comme par exemple la station de la porte d'Auteuil avec 63 jours de dépassement en 2013 et 92 pour la station autoroute A1-Saint-Denis. Ces stations sont toutes les deux en bordure d'échangeurs routiers et ont aussi la particularité d'être proches d'espaces densément peuplés. Ainsi, à l'échelle fine, les épisodes de pollutions aigus sont-ils plus nombreux que ceux enregistrés par les stations de fond, la population y étant davantage exposée. Cette complexité spatiale a conduit le HCSP en 2013, à encourager le développement des outils de modélisation à échelle spatiale plus fine en vue de délivrer une information locale sur la pollution.

L'historique des mesures législatives montre que la gestion des pics est complexe car multifactorielle et multiscale. Le principe de précaution sous-jacent aux mesures législatives entraîne une action qui doit davantage privilégier le long terme que le court terme. Le HCSP précise ainsi dans son avis d'octobre 2013 qu'une stratégie jouant uniquement sur l'écrêtement des pointes ne permettra pas de régler les problèmes liés à la pollution chronique.

Des effets sanitaires complexes et multiscales à court terme et à long terme

Effets sanitaires de la pollution atmosphérique : un enjeu de santé publique

Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique sont complexes à caractériser. Si l'ensemble de la population est concernée par la qualité de l'air, il existe une grande variabilité dans l'exposition aux polluants atmosphériques, leur nature et leurs effets, la sensibilité des personnes et enfin les conditions de l'exposition. Il est dif-

ficile d'établir la nocivité respective de chaque polluant atmosphérique, car ils sont inhalés sous forme d'un mélange, et leurs effets sont peu spécifiques d'un polluant. Les polluants agissent sur l'appareil respiratoire et sur l'appareil cardio-vasculaire.

L'arrivée de l'épidémiologie environnementale et des nouvelles méthodes prenant en compte l'évaluation quantitative du risque ont permis une évolution majeure de la connaissance des effets sanitaires de la pollution atmosphérique. La parution des premiers résultats de l'étude européenne multicentrique APHEA (Air Pollution and Health: a European Approach) en 1995, est considérée comme un véritable tournant en ce qui concerne la prise de conscience des pouvoirs publics au sujet des effets sanitaires de la pollution atmosphérique (Festy et Quénel, 2003). Cette étude est à l'origine du développement en Europe des méthodes d'analyse ayant permis de mettre en évidence la persistance d'un impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine à court terme aux niveaux ambiants de pollution mesurés (Pascal *et al.*, 2013). Les résultats de l'étude estiment alors que la pollution serait responsable de 350 décès anticipés pour les villes de Lyon et Paris. Depuis, les études se sont démultipliées et ont privilégié l'étude des effets à long terme de la pollution atmosphérique.

Les effets à court terme

Les effets à court terme surviennent de quelques minutes à plusieurs jours après l'exposition aux polluants. Les symptômes observés sont des irritations nasales, des yeux, de la gorge, des symptômes respiratoires comme la toux, l'hypersécrétion nasale, l'essoufflement et une certaine majoration de crises d'asthmes et d'allergies. Différents indicateurs comme les hospitalisations, l'activité des médecins et des services d'urgences, l'absence au travail pour raisons médicales ou encore le décès permettent de synthétiser les effets sanitaires (Quénel *et al.*, 2003).

Les épisodes de courte durée fragilisent des personnes qualifiées de sensibles ou de vulnérables comme les enfants dont la capacité respiratoire est plus faible, et les personnes souffrant de maladies chroniques. En termes de morbidité, il est difficile d'étudier le rôle à court terme de la pollution sur l'incidence des maladies, mais certaines études comme celle de Pope (Pope,

1996) ont observé une diminution de 50 % des admissions pour affections respiratoires chez les enfants, suite à un arrêt pour fait de grève des émissions d'une usine sidérurgique polluante. D'autres études, comme celle de Jacquemin (Jacquemin *et al.*, 2012) ont montré que les pics ordinaires de pollution atmosphérique aggravent nettement les symptômes des patients asthmatiques et le contrôle de leur maladie. Pour ce qui est de l'exposition chronique, le niveau moyen de pollution locale, lié à la proximité d'une route à haut trafic, favorise une incidence plus élevée de l'asthme chez l'enfant et probablement chez l'adulte (Rochat *et al.*, 2012). En termes de mortalité, les études internationales s'accordent sur un impact significatif de l'ozone et les particules fines ainsi que sur les hospitalisations pour causes respiratoires et cardio-vasculaires (pour les particules) (Larrieu *et al.*, 2007).

Néanmoins, toutes les études montrent que les épisodes aigus de pollution atmosphérique ont moins d'impact qu'une exposition à la pollution chronique. Les pointes de pollution ne constituent pas un enjeu de santé publique contrairement à la pollution chronique. Les informations et recommandations, ainsi que les alertes, sont les outils de stratégies d'évitement destinées à protéger les personnes les plus à risques lors des pointes de pollution. À l'échelle individuelle, ces informations et alertes sont majeures car elles permettent, en partie pour les personnes âgées ou bien pour les nourrissons, de rester dans le logement qui devient un véritable repaire, le lieu sûr, protecteur anti-pollution extérieure. Ce repli intérieur est toutefois paradoxal puisque la pollution intérieure peut y être aussi nocive pour la santé (APPA, 2013), c'est pourquoi il est recommandé d'aérer son logement, y compris en cas de pollution aiguë. Mais ces stratégies d'évitement, officielles ou individuelles, ne permettent pas de lutter contre la pollution chronique et ses effets à long terme.

Les effets à long terme

Les effets sanitaires liés à une exposition chronique aux polluants atmosphériques sont souvent étudiés dans des études de cohortes. En termes de morbidité, une exposition à long terme aux particules entraîne un accroissement des symptômes des voies respiratoires inférieures, des maladies respiratoires obstructives chroniques et une réduction des fonctions pulmonaires chez les enfants et les adultes. En termes de mortalité,

cette exposition chronique diminue significativement l'espérance de vie, augmente les risques de mortalité liés aux maladies cardio-vasculaires et au cancer du poumon. Les études européenne et française permettent d'établir des estimations sur l'espérance de vie. Le CAFE (Clean Air For Europe) estime que 42 000 décès seraient liés à une exposition chronique. L'espérance de vie serait diminuée de 5 à 24 mois en fonction des villes en Europe et de 5,4 mois en moyenne pour des villes comme Marseille, Lille, Lyon ou Paris. L'étude Aphekom3 menée en Europe dans 25 villes européennes a utilisé la méthode d'évaluation d'impact sanitaire (EIS)⁴ classique pour estimer l'impact de la pollution de l'air sur la santé des 39 millions d'habitants. Cette étude estime que selon la ville et son niveau moyen de pollution, si les niveaux moyens annuels de particules fines (PM_{2,5}) étaient ramenés au seuil de 10 microgrammes par mètre-cube (µg/m³) (valeur guide préconisée par l'OMS), le gain d'espérance de vie à l'âge de 30 ans pourrait atteindre 22 mois. En conséquence, le dépassement de la valeur guide préconisée par l'OMS pour les PM_{2,5} se traduit par près de 19 000 décès prématurés chaque année, dont 15 000 causés par des maladies cardio-vasculaires. Les études nord-américaines confirment le lien entre exposition aux particules fines et morbi-mortalité pour des niveaux d'expositions nettement inférieurs aux niveaux observés dans la plupart des villes européennes (Pascal *et al.*, 2013).

En outre, en 2013, Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les particules issues du diesel comme étant cancérogènes. Les effets des expositions prolongées aux PM_{2,5} montrent une association avec la réduction de l'espérance de vie par une augmentation du risque de développer des maladies chroniques cardio-vasculaires respiratoires, et des cancers (Institut national du cancer, 2013). Le rapport REVIHAAP (REVIEW of Evidence on Health Aspects of Air Pollution) de 2013 de l'OMS pour l'Union européenne, qui a établi une revue de la littérature internationale depuis 2005, a confirmé les effets à court et long termes sur la mortalité et la morbidité, mais a aussi mis en exergue des nouvelles recherches mettant en évidence les effets prénatals, cognitifs, neuro-développementaux, l'artériosclérose ou encore le diabète.

Les estimations des recherches scientifiques doivent inciter plus que jamais les autorités compétentes à agir à long terme pour diminuer les facteurs de risque liés à la pollution atmosphérique.

rique mais prendre aussi en considération les conditions locales de l'exposition à la pollution.

Des effets renforcés par les inégalités sociospatiales de santé

Les personnes sensibles et vulnérables plus affectées par la pollution atmosphérique et ciblées par les mesures sanitaires

Les études épidémiologiques montrent que les personnes les plus fragiles, comme les enfants et les personnes âgées, ou encore les personnes souffrant de maladies chroniques sont plus à même d'être touchées par les effets sanitaires de la pollution atmosphérique. Les messages délivrés lors des pointes de pollution s'adressent en particulier aux personnes dites sensibles et vulnérables. Selon l'arrêté du 20 août 2014, les personnes sensibles sont répertoriées comme étant « personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics (personnes diabétiques, personnes immunodéprimées, souffrant d'affections neurologiques ou à risque cardiaque, respiratoire ou infectieux). Les personnes vulnérables sont les femmes enceintes, les nourrissons et jeunes enfants, les personnes de 65 ans et plus, personnes souffrant de pathologies cardio-vasculaires, insuffisants cardiaques ou respiratoires, personnes asthmatiques. » La vulnérabilité cible ici l'âge des plus jeunes et des plus âgés. En dehors de l'âge, la différence entre vulnérabilité et sensibilité en termes de morbidité est bien plus vague dans la définition. Il s'agit ici d'englober une population très large, dans un principe de précaution.

Cette vulnérabilité s'insère dans un contexte de vieillissement démographique, les personnes de 65 ans et plus sont de plus en plus nombreuses et représenteront en 2030, selon le scénario central de l'INSEE, 31 % de la population française, dont 16 % aura 75 ans et plus. Si la maladie chronique n'est pas le privilège de l'âge, il n'en demeure pas moins que l'arrivée au grand âge favorise son installation et accentue le facteur de risque. Le risque sanitaire a des impacts collatéraux sur la mobilité des personnes âgées et leur qualité de vie mais aussi sur leur perte d'autonomie. Au travers du prisme du vieillisse-

ment, la pollution sanitaire est un enjeu de santé publique.

En outre, cette définition de la vulnérabilité est évidemment à prendre avec précaution car en fonction du cadre de vie, de l'âge, de l'origine sociale et du mode de vie des personnes, la notion de vulnérabilité ou de sensibilité peut en être considérablement modifiée. En effet, les inégalités socio-spatiales influent considérablement sur la santé et entrent en considération dans l'exposition à la pollution atmosphérique.

Des inégalités sociospatiales vis-à-vis de l'exposition à la pollution atmosphérique

Des inégalités sociales de santé existent entre différents groupes de population : les catégories socio-économiques les moins favorisées ont une plus faible espérance de vie et sont en moins bonne santé (Leclerc *et al.*, 2000). La France est marquée par de profondes inégalités sociales de mortalité et de morbidité, supérieures à celles observées dans les autres pays de l'Europe de l'Ouest entre les populations manuelles ou non manuelles (Aïch, 2010). Ces inégalités sociales sont aussi spatiales en fonction du territoire de vie. En 1994, le HCSP a souligné les importantes disparités régionales de l'état de santé en France en utilisant l'indicateur de la mortalité standardisé par âge. Les inégalités sociospatiales se retrouvent à toutes les échelles du territoire en termes de mortalité ou de comportements, comme les ont cartographiées G. Salem et S. Rican (Salem et Rican, 2006). On les retrouve aussi à l'échelle du logement dont on a pu voir les effets, lors de la canicule de 2003, pour les personnes âgées habitant des logements mal ventilés ou insérés dans des îlots de chaleur urbain, ou encore dans les résultats de l'étude Large Analysis and Review of European Housing and Health Status (LARES) de l'OMS, portant sur l'habitat et la santé dans huit villes européennes (2005).

Les recherches actuelles portent sur l'influence des nuisances environnementales, en particulier sur l'exposition à la pollution atmosphérique et sur la plus grande vulnérabilité des populations défavorisées vis-à-vis de l'exposition. Sophie Baudet-Michel et Christina Aschan-Leygonie ont mené une recherche pour comprendre les disparités de santé respiratoire entre plusieurs

viles en France (Baudet-Michel et Aschan-Leygonie, 2014). Les inégalités interurbaines de santé ont été évaluées à l'aide d'un indice standardisé relatif de prescriptions de médicaments pour les broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) et l'asthme, permettant de comparer les villes entre elles. Des différences majeures sont apparues entre des villes comme Béthune, Lens, Hagondange-Briey, Morlaix ou Saint-Quentin dont l'indice est bien supérieur à la moyenne nationale, ce qui se traduit par des prescriptions une fois et demie plus élevées que la moyenne française. Les prescriptions pour les BPCO sont plus importantes dans les villes où la part de populations sans diplôme est élevée et dans les villes où les concentrations de polluants atmosphériques sont élevées. Cette étude rejoint des études européennes montrant que les personnes les plus défavorisées sont plus exposées à la pollution atmosphérique liée au trafic ou aux émissions industrielles. L'étude Brainard *et al.* (2002) de la ville de Birmingham a montré que les concentrations de NO₂ et en monoxyde de carbone sont plus élevées dans les zones géographiques défavorisées et présentant une proportion plus élevée de « population de couleur ». En revanche, d'autres études montrent à l'inverse que ce sont les populations les plus favorisées qui sont les plus exposées comme à Rome, à Paris ou à Londres. En Angleterre en 2007, McLeod *et al.* (2000) ont étudié la relation entre les concentrations de PM₁₀, de NO₂ et de SO₂ et des indicateurs socio-économiques. Les populations les plus favorisées apparaissaient plus exposées à la pollution de l'air, quel que soit le polluant ou l'indicateur socio-économique considéré. Ces résultats se retrouvent dans l'étude menée par le programme Equit'area⁵ en France, qui associe la concentration des polluants avec un indice de défaveur appliqué à l'échelle de l'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique), unité territoriale statistique englobant 2 000 personnes. Pour les agglomérations de Lyon, de Lille et de Marseille, les IRIS les plus défavorisés sont ceux qui sont le plus exposés par rapport aux catégories sociales les plus avantagées. Les agglomérations de Marseille et de Lille montrent un gradient de pollution en lien avec l'indice de défaveur. À Paris, ce sont les IRIS du centre et de l'ouest les plus favorisés qui sont exposés à une pollution due au trafic routier.

Si ces études d'équité environnementale ont des résultats contrastés, elles concordent néanmoins pour démontrer que même lorsque les sujets de milieux sociaux défavorisés résident

dans des secteurs urbains moins affectés par la pollution, les conséquences sanitaires de cette exposition sont plus marquées que pour des milieux plus aisés (Deguen et Zmirou-Navier, 2010). La vulnérabilité est plus importante pour les populations défavorisées qui ont souvent un état de santé plus précaire, un moindre recours au soin, et n'ont pas la possibilité de quitter le quartier où ils habitent pour partir en vacances ou pendant un weekend. La vulnérabilité ici dépasse la notion d'âge ou d'état de santé, et est multifactorielle.

Ces études montrent bien la grande complexité de l'exposition à la pollution atmosphérique où les conditions de vie sont autant à prendre en considération que la complexité de la pollution atmosphérique. Or les alertes sont affectées à un territoire administratif, parfois découpé plus finement en zones d'alertes, mais s'appliquent de manière indifférenciée aux fonds de vallées comme aux sites d'altitude.

Les pointes de pollution : un outil de prise de conscience individuelle et collective

Retour d'expérience sur la gestion de l'épisode de mars 2014

Pour la première fois depuis 1997, la circulation alternée a été mise en place en région parisienne pour lutter contre cet épisode aigu. Bien que cette décision ait été prise un dimanche pour le lundi, le dispositif a été respecté par la très grande majorité des automobilistes. Une étude effectuée par Airparif révèle que la circulation alternée du lundi 12 mars a permis de réduire substantiellement les concentrations de dioxyde d'azote (NO₂) et de particules fines (PM) à proximité du trafic. À l'heure de pointe du soir, la réduction moyenne des concentrations de NO₂ grâce aux mesures mises en place a atteint jusqu'à - 30 % sur le boulevard périphérique parisien (- 10 % de particules fines) et atteint en moyenne - 10 % à proximité du trafic (- 6 % pour les particules fines)⁶. L'Ademe a effectué un sondage auprès des Franciliens sur la circulation alternée du lundi 12 mars 2014⁷. Il en ressort que le dispositif a été

« bien accepté et jugé peu contraignant ». 80 % des automobilistes ou motards interrogés disent l'avoir respecté, et 59 % l'estiment justifié. Plus généralement, explique l'Ademe, « les transports alternatifs sont les solutions considérées comme les plus efficaces contre la pollution : 83 % des sondés plébiscitent la gratuité des transports en commun, 73 % le développement de services de partage de vélos ou d'automobiles, 69 % le covoiturage. Ils sont également 68 % à préconiser un accès restreint voire une interdiction des véhicules les plus polluants en centre-ville. »

Le déroulement de l'épisode du mois de mars a pourtant été l'objet de débats passionnés. Si la circulation alternée a été respectée par les Franciliens, elle a été pourtant critiquée car appliquée trop brutalement et trop tardivement. Les prévisions météorologiques et la notion de persistance devraient permettre à l'avenir de mieux gérer la mise en place de telles mesures. D'autres recommandations, comme l'incitation à prendre un vélo ou à marcher, ont aussi alimenté les débats. En effet, l'exposition à la pollution le long des axes de circulation est tout aussi importante à pied ou à vélo. L'étude de l'ORS Ile de France montre que le risque pour les cyclistes lié à la pollution atmosphérique, exposés aux PM_{2,5}, est plus élevé que le risque d'accidentologie (Praznocy, 2012). Faire du vélo le long des grands axes de circulation entraîne des situations d'hyperventilation pendant lesquelles l'exposition à la pollution est la plus forte : le volume d'air inspiré est plus important et la quantité de polluants inhalés plus importante. Cette exposition serait responsable d'une part des maladies chroniques respiratoires.

Une sensibilité plus importante de la population à la pollution de l'air et aux effets sanitaires mais une faible connaissance d'ensemble

Ces épisodes de pollution aiguë contribuent d'une certaine façon à une prise de conscience individuelle et collective de la pollution chronique. Les Français sont de plus en plus soucieux de la pollution atmosphérique. Déjà le baromètre santé de l'INPES en 2007 mentionnait cette préoccupation. En octobre 2014, le sondage réalisé auprès de 501 Franciliens âgés de 15 ans et plus, par l'IFOP pour Airparif, renforce cette prise de conscience. Pour 53 % des sondés, les conséquences d'une dégradation générale de l'at-

mosphère concernent d'abord la santé et la vie quotidienne, avant la mise en danger des écosystèmes et de la biodiversité (44 %). 70 % d'entre eux considèrent d'ailleurs que réduire la pollution de l'air est également bénéfique pour lutter contre le changement climatique. Le sondage montre aussi que 87 % se sentent concernés par l'environnement. 29 % des Franciliens déclarent avoir consulté un médecin, pour eux ou pour des proches, suite à des troubles liés à la pollution de l'air. Si les effets à court terme ne représentent pas un enjeu de santé publique, ils sont ressentis par la population et entretiennent une inquiétude. Ce sondage est à compléter par l'étude Primequal-Prédit qui étudie la perception de la pollution atmosphérique à l'échelle nationale⁸. Elle montre que 92 % des personnes interrogées ignorent les niveaux de pollution locaux, et qu'au moins 2 Français sur 3 n'ont jamais entendu parler de l'indice Atmo. Il y a donc une différence entre la perception de la pollution atmosphérique et la connaissance au quotidien de la qualité de l'air. L'indice ATMO est déterminé à partir des niveaux de pollution mesurés au cours de la journée par les stations de fond, caractéristiques de la pollution générale pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants (il ne prend pas en compte les stations de mesure le long du trafic). Il intègre les principaux polluants atmosphériques, traceurs des activités de transport, urbaines et industrielles comme les poussières, le dioxyde d'azote, l'ozone et le dioxyde de soufre. À chaque niveau correspond un chiffre de 1 à 10, une couleur (vert, orange et rouge) et un qualificatif (de très bon à très mauvais). Sa médiatisation doit être renforcée pour lui donner une meilleure visibilité. Il est plus facile de connaître la météo ou encore l'enneigement des pistes ou la température de la mer que la qualité de l'air. La médiatisation qui accompagne les procédures d'information et d'alerte doit aussi se faire au quotidien. La chaîne France 3, par exemple, a intégré l'indice Atmo dans la météo régionale : cet effort est à étendre lors des météo nationales. Les sites Internet dédiés à la qualité de l'air sont nombreux mais peu connus du grand public, comme la fédération Atmo ou encore le site de Prév'air.

Quelles mesures pour assurer à tous une qualité de l'air durable ?

Des mesures à l'échelle de l'État pour diminuer les émissions

L'État dispose de plans à l'échelle nationale afin de réduire les émissions et d'inciter l'ensemble de la population à modifier son mode de vie. Ces plans existent pour certains depuis la loi de 1996, comme par exemple les plans de déplacements urbains (PDU). Depuis 2010, dans le cadre du Grenelle de l'environnement, le plan particules a comme objectif de réduire de 30 % en 2015 les émissions de particules fines dans tous les secteurs d'activité (domestique, industriel et résidentiel, transports, agriculture). Les plans de protection de l'atmosphère (PPA), déjà présents en 1996, se sont multipliés depuis 2013 : ils définissent les objectifs et les mesures, réglementaires ou portées par les acteurs locaux, permettant de ramener, à l'intérieur des agglomérations de plus de 250 000 habitants et des zones où les valeurs limites réglementaires sont dépassées ou risquent de l'être, les concentrations en polluants atmosphériques à un niveau inférieur aux valeurs limites réglementaires. La France va mettre en place un Plan de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) en 2015 qui s'appuiera sur les Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) créés par la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010. Le Plan d'urgence de la qualité de l'air (PUCA) doit mettre en place des mesures qui permettent d'améliorer la qualité de l'air : favoriser le covoiturage, favoriser les voitures électriques, créer des leviers pour remplacer le parc des voitures polluantes, développer les transports en commun, instaurer la circulation alternée plus systématiquement en cas de dépassement de seuil, ou encore favoriser la marche et le vélo. Ces plans et mesures constituent le socle du futur Plan National Santé Environnement 3 (PNSE3).

Ces mesures se sont accélérées depuis que la commission européenne a saisi la cour de justice de l'Union européenne, et avec les dernières pointes de pollution. Mais ces mesures, prises en urgence, sont déjà travaillées en amont et sont souvent attendues par les spécialistes. La précipitation de leur mise en application après des

épisodes aigus n'apporte pas de crédibilité. Certaines mesures sont contradictoires, comme, par exemple, la loi interdisant les feux de cheminées à foyer ouvert qui doit s'appliquer le 1^{er} janvier 2015 mais qui a été remise en cause par Ségolène Royal en décembre 2014. Pour que la population adhère aux mesures, celles-ci doivent être cohérentes et anticipées.

Une communication et une éducation pour modifier les comportements individuels

Dans l'étude Primequal, 75 % des personnes interrogées considèrent que la population n'a pas de rôle à jouer dans la lutte contre la pollution atmosphérique. La grande majorité de la population compte réduire son exposition individuelle et sa contribution à la pollution grâce au progrès technologique, mais non en modifiant son mode de vie. Ces constats sont importants car ils montrent encore la dichotomie entre l'action individuelle et l'action collective. Les émissions de polluants ont bien changé depuis les années 50. Aujourd'hui, ce sont principalement le trafic routier, les activités résidentielles et tertiaires qui sont à l'origine de la pollution urbaine. William Dab rappelle que le pollueur, le pollué et le contribuable ne forment qu'une seule et même personne (Dab et Roussel, 2001).

L'alerte apparaît plus que jamais comme une stratégie d'évitement pour prévenir les risques sanitaires. La communication réalisée lors des pointes de pollution permet, d'un côté, de mieux informer la population et d'assurer, de l'autre, le principe de précaution. Cependant, elle n'est pas suffisante pour que les comportements se modifient. Il est donc indispensable que la population puisse adhérer aux mesures en connaissances de cause. L'information doit responsabiliser les habitants, condition nécessaire pour une adhésion et un changement de comportement.

Conclusion

Les épisodes aigus de pollution atmosphérique récents ont apporté des modifications dans les mesures sanitaires : la notion de persistance de l'épisode a été introduite, permettant à l'avenir de déclencher des alertes à la pollution atmosphérique. Ces alertes, exprimant un dépassement de seuil de la concentration des polluants, sont la partie visible de la pollution chronique

qui est un véritable enjeu de santé publique. La pollution atmosphérique est complexe et s'insère à toutes les échelles du territoire, touchant principalement les personnes dites sensibles ou vulnérables d'un point de vue sanitaire mais aussi d'un point de vue économique et social. La gestion des pointes de pollution doit s'intégrer à une politique de long terme qui vise à réduire les émissions durablement et à limiter la pollution chronique. Cela sous-entend une communication à long terme, pour informer sur la qualité de l'air

mais aussi inciter à modifier ses habitudes de vie et ses comportements. L'instauration d'une politique durable de préservation de la qualité de l'air s'insère en parallèle avec la question du réchauffement climatique. Les canicules à venir contribueront à l'augmentation des pointes de pollution. Il est donc important de conjuguer les deux et d'instaurer des politiques qui permettent à long terme de conserver une qualité de l'air saine en ville.

1 Bilan de l'air 2013 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Publication-du-bilan-2013-de-la.html>

2 www.pév'air.org

3 <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Environnement-et-sante/2012/Impact-sanitaire-de-la-pollution-atmospherique-dans-neuf-villes-francaises>

4 Selon l'OMS, l'évaluation d'impact sanitaire (EIS) est « une combinaison de procédures, méthodes et outils utilisés pour évaluer les effets potentiels sur la santé d'une politique, d'un programme ou d'un projet. Utilisant des techniques quantitatives, qualitatives et participatives, l'EIS vise à produire des recommandations pour aider les décideurs et autres parties prenantes à faire des choix sur des solutions et améliorations pour prévenir les maladies et promouvoir activement la protection de la santé ».

5 <http://www.equitarea.org/index.php/fr/>

6 <http://www.airparif.asso.fr/actualite/detail/id/122>

7 <http://www.presse.ademe.fr/2014/05/la-circulation-alternee-pedagogique-et-peu-contraindante.html>

8 <http://www.primequal.fr/files/rapport-final.pdf>

Références

- Aïch, P. (2010). *Les inégalités sociales de santé*. Paris, Économica, 280 p.
- Air quality guidelines for Europe. (1987). Copenhague, Bureau régional de l'Organisation Mondiale de la Santé pour l'Europe, Publications régionales de l'OMS, European Series, n° 23.
- APPA. (2013). L'air intérieur. *Pollution atmosphérique* n° 218. [En ligne] : <http://www.appa.asso.fr/national/Pages/article.php?art=696>
- Baudet-Michel, S. ; Aschan-Leygonie, C. (2014). Les inégalités de santé respiratoire entre les villes. Dimensions socio-économiques et environnementales. *Métropolitiques*. [En ligne] : <http://www.metropolitiques.eu/Les-inegalites-de-sante.html>.
- Brainard, J.S. *et al.* (2002). Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England. *Environ Plan A*, n° 34(4), p. 695-716.
- Crouse, D. L. *et al.* (2012). Risk of nonaccidental and cardiovascular mortality in relation to long-term exposure to low concentrations of fine particulate matter: a Canadian national-level cohort study. *Envr Health Perspect*, n° 120 (5), p. 708-714.
- Dab, W., Roussel, I. (2001). *L'air et la ville*, Hachette littérature, 219 p.
- Deguen, S. ; Zmirou-Navier, D. (2010). Expositions environnementales et inégalités sociales de santé, *ADSP*, n° 73, p. 27-28.

- Festy, B. ; Quénel, P. (2003). Pollution atmosphérique et épidémiologie en France : une longue maturation, *Pollution atmosphérique*, numéro spécial, p. 23-29.
- Haut Comité de Santé Publique. (2012). Rapport 2012 sur la pollution par les particules dans l'air ambiant. [En ligne] : <http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=265>
- Institut national du cancer. (2013). Particules fines, dont diesel, et risque de cancer, collection fiche repère. [En ligne] : <http://www.e-cancer.fr/rss-prevention/8264-fiche-repere-particules-fines-dont-diesel-et-risque-de-cancers>
- INVS. (2012). Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. [En ligne] : <http://www.invs.sante.fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Environnement-et-sante/2012/Impact-sanitaire-de-la-pollution-atmospherique-dans-neuf-villes-francaises>
- Jacquemin, B. ; Kauffmann, F. ; Pin, I. *et al.* (2012). Air pollution and asthma control in the *Epidemiological study on the Genetics and Environment of Asthma*. *J Epidemiol Community Health*, n° 66, p. 796-802.
- Larrieu, S. *et al.* (2007). Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight french cities: the PSAS program. *Sci Total Environ*, n° 387 (1-3), p. 105-112.
- Leclerc, A. *et al.* (2000). *Les inégalités sociales de santé*, Inserm, Paris, La découverte, 448 p.
- McLeod, H *et al.* (2000). The relationship between socioeconomic indicators and air pollution in England and Wales: implications for environmental justice. *Reg Environ Change*, n° 1(2), pp. 78-85.
- Pascal, L. *et al.* (2013). Effets sanitaires de la pollution de l'air : bilan de 15 ans de surveillance en France et en Europe. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*. INVS, n° 1-2. [En ligne] : <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Environnement-et-sante/Pollution-de-l-air-et-effets-sur-la-sante>
- Pope, C.A. (1996). Adverse health effects of air pollutants in a nonsmoking population. *Toxicology*, n° 111, p. 149-155.
- Praznocy, C. (2012). Les bénéfices et les risques de la pratique du vélo. Évaluation en Ile-de-France, ORS. [En ligne] : <http://www.ors-idf.org/index.php/component/content/article/642-les-benefices-et-les-risques-de-la-pratique-du-velo-evaluation-en-ile-de-france>
- Quénel, P. *et al.* (2003). Environnement et santé publique-fondements et pratiques, dans Gérin, M. *et al.* *Qualité de l'air ambiant*. Edisem, p. 291-315.
- Rochat, T. *et al.* (2014). Quel est le rôle de la pollution atmosphérique dans l'asthme ? *Rev Med Suisse*, n° 8, p. 2233-2236. [En ligne] : <http://rms.medhyg.ch/numero-363-page-2233.htm>
- Rodriguez, D. (2012). Une multiplication des alertes à la pollution aux particules fines PM₁₀ : l'air de nos villes serait-il plus pollué ? *Pollution atmosphérique* n° 213-214, Janvier-Juin, p. 11-14.
- Salem, G. ; Rican, S. (2006). *Atlas de la santé en France*, tomes 1 et 2, John Libbey Eurotext.

Analyse de l'impact sanitaire d'un épisode de pollution : retour d'expérience sur la surveillance syndromique lors de l'épisode de mars 2014 et difficultés méthodologiques

Sabine HOST,¹ Noëlla KARUSISI,² Marie FIORI,³ Anne FOUILLET⁴ et Céline CASERIO-SCHÖNEMANN⁵

Résumé

Les études épidémiologiques menées depuis plusieurs décennies ont mis en évidence des relations à court et à long terme entre des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique et des indicateurs de santé. Ces études ont notamment permis de démontrer que c'est l'exposition chronique à des concentrations moyennes de polluants atmosphériques qui pèse le plus en termes d'impact sanitaire, en intervenant dans le développement de diverses pathologies et en particulier des maladies cardio-respiratoires chroniques. À court terme, l'exposition à la pollution de l'air exacerbe les symptômes de pathologies (causées ou non par la pollution atmosphérique) et cela même en dehors de tout épisode ou « pic » de pollution de l'air. Toutefois, lorsque la population est confrontée

à un tel épisode, elle peut à la fois ressentir certains symptômes plus fortement que d'accoutumé (irritation des yeux, du nez et de la gorge, etc.), et manifester des questions et inquiétudes concernant l'impact sur la santé proprement lié à ces pics de pollution. Par ailleurs, ces situations entraînent le déclenchement d'une procédure d'information et de recommandation, ou d'une procédure d'alerte par les préfets. Ces mesures qui visent en particulier à agir sur les sources de pollution et les comportements des individus, *via*, par exemple, la diffusion de recommandations sanitaires⁶, ont pour but final de limiter l'impact sanitaire, notamment chez les personnes les plus fragiles (nourrissons et jeunes enfants, etc.). Or les répercussions sanitaires de ces épisodes de pollution sont difficiles à quantifier, et jusqu'à présent n'ont pas fait l'objet d'études en France.

1. Retour d'expérience sur l'épisode de mars 2014

1.1 Une surveillance syndromique renforcée

En France, suite aux conséquences sanitaires de la canicule de 2003, les dispositifs de veille et d'alerte sanitaires ont été renforcés avec pour objectif de développer une capacité à détecter de nouvelles menaces pour la santé publique, d'origines aussi diverses qu'un phénomène environnemental ou une pathologie infectieuse émergente. Il s'agit de la surveillance syndromique, basée sur le recueil et le suivi d'indicateurs de recours aux soins, analysés en temps réel ou proche du temps réel (Caserio-Schönemann *et al.*, 2014).

En mars 2014, la France a connu un épisode de pollution par les particules, remarquable de par sa durée (du 6 au 15 mars), son étendue géographique et son intensité. En effet, sur plus d'une semaine, des dépassements du seuil d'alerte⁷ fixé pour les particules PM₁₀⁸ ont été observés dans la plupart des régions métropolitaines, ainsi qu'au Royaume-Uni (Smith *et al.*, 2015). Si l'on considère les relations exposition-risque connues, les excès d'événements sanitaires attendus à ces niveaux d'exposition restent *a priori* faibles. Toutefois, lors de cet épisode, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a mis en place, en plus de la surveillance syndromique effectuée chaque jour en routine, un suivi spécifique de plusieurs indicateurs en lien possible avec la pollution atmosphérique afin de s'en assurer. Ainsi, outre les indicateurs d'activité globale remontés quotidiennement par les réseaux de surveillance coordonnée des services d'urgences (Oscour) et de médecine d'urgence de ville (SOS Méde-

cins), il a été instauré un suivi d'indicateurs relatifs à certaines pathologies respiratoires (asthme, dyspnée/insuffisance respiratoire aiguë, bronchite chronique) et cardio-vasculaires (insuffisance cardiaque, ischémie myocardique), ainsi que les malaises et les céphalées. Sur la base de ces éléments, des bulletins de situation ont été établis quotidiennement et communiqués aux autorités nationales et régionales.

Le bilan de cette surveillance montre qu'au niveau national et à l'échelle des régions métropolitaines hors région Ile-de-France, il n'a pas été mis en évidence d'évolution notable ni des passages aux services d'urgences hospitalières, ni des appels à SOS Médecins, en comparaison des valeurs observées sur la même période en 2013. Les éventuelles variations observées pour des pathologies possiblement liées à la pollution atmosphérique (asthme, bronchite chronique...) sont restées dans des valeurs attendues. Il est cependant à noter une incertitude pour certaines régions compte tenu de faibles effectifs.

À l'échelle de l'Ile-de-France, l'analyse réalisée par la Cellule de l'InVS en Régions (CIRE) Ile-de-France et Champagne-Ardenne a mis en évidence une augmentation modérée des recours aux urgences hospitalières pour des diagnostics d'asthme à compter du 14 mars 2014, avec un maximum le 20 mars où le niveau a atteint trois fois celui enregistré au début de l'épisode de pollution. Les motifs d'appels à SOS Médecins pour asthme ont également augmenté sur la période mais dans une moindre mesure.

1.2 Interprétation des résultats obtenus

De nombreux facteurs peuvent déclencher une crise d'asthme (phénomènes infectieux, allergènes...). Ainsi, il n'est pas possible d'attribuer l'augmentation des recours aux urgences pour asthme observée en mars 2014 en Ile-de-France au seul facteur pollution atmosphérique. Néanmoins, on peut supposer qu'une partie de cette augmentation était due à l'épisode de pollution par les particules. En effet, il est reconnu que l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique favorise le déclenchement de crises d'asthme (Chatignoux et Host, 2013) chez les asthmatiques. Par ailleurs, les effets à court terme de la pollution de l'air sont généralement plus marqués chez les enfants qui représentent la classe d'âge majoritairement touchée lors de l'épisode de mars dernier.

Cependant, lors de cet épisode, la CIRE a établi, sur la base des données de surveillance aérobiologique du RNSA, que les Franciliens ont également été exposés à d'importantes quantités de pollens. Ainsi, l'augmentation observée des recours aux soins pour asthme pourrait être également liée à l'exposition aux pollens, de manière directe du fait de leur potentiel irritant respiratoire, mais aussi de manière indirecte avec des effets synergiques entre pollens et pollution atmosphérique. En effet, des études montrent que certains polluants chimiques peuvent moduler la réaction allergique de différentes manières : soit en abaissant le seuil de réactivité bronchique et/ou en accentuant l'irritation des muqueuses nasales ou oculaires chez les sujets sensibilisés, soit en modifiant l'allergénicité des grains de pollen, par modification de leur paroi et de leur contenu protéique⁹.

Les liens entre pollution atmosphérique et santé sont caractérisés par des risques individuels relativement faibles. À titre d'illustration, selon les résultats de l'étude menée par Chatignoux et Host (2013), il a été estimé que le dépassement des valeurs de qualité de l'air de l'OMS en PM_{2,5} (concentrations inférieures à 10 µg/m³) était responsable annuellement d'une centaine de recours aux urgences pour asthme chez les enfants de 2 à 14 ans, répartis sur l'année entière. Seul un faible pourcentage de ces cas est attribuable aux épisodes de pollution. Ainsi, l'impact sanitaire sur une courte période, telle qu'un épisode de pollution, apparaît difficilement mesurable en temps réel ou quasi réel grâce aux outils classiques de surveillance syndromique basés sur le recours aux soins, même étendus à des indicateurs spécifiques. En effet, à ce jour, l'analyse en routine de ces indicateurs ne s'appuie pas sur des modèles statistiques prenant en compte les expositions à la pollution atmosphérique et les autres facteurs environnementaux. Une telle analyse pourrait en revanche être menée *a posteriori*, ce qui a été amorcé au sein de l'ORS Ile-de-France.

2. Réflexion sur la réponse épidémiologique en cas d'épisode de pollution

L'objectif de la réflexion menée par l'ORS Ile-de-France est de déterminer s'il existe un impact

sanitaire spécifique lié à l'exposition à des niveaux élevés de pollution sur une courte période. Plus précisément, le but est de tester l'hypothèse d'un effet différentiel potentiellement lié à l'exposition à des niveaux élevés de pollution atmosphérique, cumulés sur plusieurs jours.

Pour étudier cela, il est envisagé de transposer deux stratégies d'analyses développées, d'une part, au niveau national par une équipe de l'Inserm, dans le cadre du doctorat d'Anne Fouillet, pour évaluer la surmortalité liée aux vagues de chaleur, et appliquées par l'ORS Ile-de-France (Fouillet, 2007 ; Chatignoux *et al.*, 2009). D'autre part, il est envisagé d'utiliser la méthode développée par Alain Le Tertre dans le cadre du PSAS pour étudier l'impact de la canicule de l'été 2003 (Le Tertre *et al.*, 2006).

2.1 Démarche méthodologique

Il est envisagé de mener ce travail exploratoire sur les données de mortalité, qui sont *a priori* statistiquement plus robustes que les données de morbidité. Ainsi, l'objectif, dans un premier temps, serait de valider la transposabilité de la méthode d'estimation des risques de surmortalité liés aux vagues de chaleur à ceux liés aux épisodes de pollution particulaire. La méthode mise en œuvre a été développée dans le cas de la canicule, alors que les excès de décès observés durant ces périodes sont relativement importants. Or les risques de mortalité liés à l'exposition à court terme à la pollution atmosphérique urbaine étant très faibles, les excès de décès attendus sont *a priori* très faibles, même en cas d'épisodes de pollution atmosphérique particulièrement marqués tels qu'observés ponctuellement en Ile-de-France.

Ainsi, il pourrait être envisagé dans un second temps d'appliquer cette méthode à des indicateurs sanitaires plus sensibles aux effets de la pollution de l'air tels que les hospitalisations (Programme de médicalisation des systèmes d'information), les recours aux urgences (Oscour) ou encore les appels à SOS Médecins. Les indicateurs construits à partir de ces données peuvent présenter certaines limites en termes de spécificité (absence de distinction entre hospitalisations programmées et en urgence) et être soumis à certains biais (liés à l'offre de soin concernant les recours à SOS Médecins et aux urgences). Ainsi, faudra-t-il porter une attention particulière à la faisabilité et à la pertinence d'utiliser ces différents indicateurs.

Ces approches devraient permettre d'établir s'il existe une surmortalité liée aux épisodes de pollution à Paris et proche couronne, en comparant la mortalité observée pendant l'épisode à la mortalité attendue calculée sur la base de la mortalité observée pendant une période de référence. Le choix de cette période de référence, ainsi que la définition d'un épisode de pollution, constituent une première étape déterminante de cette démarche. Par ailleurs, le modèle développé par Fouillet *et al.* nécessite d'être adapté afin de permettre la prise en compte des facteurs de confusion tels que les comptes polliniques, les phénomènes épidémiques liés aux pathologies hivernales. Cette réflexion venant d'être initiée, ne sont présentées ici que quelques pistes de réflexion.

2.2 Zone et période d'étude

La zone d'étude est déterminée de telle sorte que les variations de l'exposition d'un jour à l'autre de la population à la pollution urbaine puissent y être considérées comme homogènes. Ainsi, la zone d'étude comprendra Paris et les trois départements de proche couronne (92, 93 et 94). La période d'étude s'étendra du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2011.

2.3 Indicateur d'exposition à la pollution atmosphérique et définition d'un épisode de pollution

L'indicateur sera construit selon la méthode mise en œuvre dans les analyses de séries temporelles réalisées dans le cadre des précédentes études Erpurs (moyennes sur 24 h estimées à partir des niveaux mesurés sur les stations de fond situées à l'intérieur de la zone d'étude).

D'un point de vue épidémiologique, il n'est actuellement pas possible de mettre en évidence de seuil de niveau de particules en dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sanitaire.

La définition d'un épisode de pollution répond à des critères réglementaires dans le cadre du déclenchement de procédures d'information et de recommandation, et d'alerte, qui sont pour l'Ile-de-France définis dans un arrêté inter-préfectoral¹⁰ datant du 7 juillet 2014. Ces critères correspondent actuellement à des dépassements de seuils (respectivement d'information et de recommandation, et d'alerte) d'un ou plusieurs

polluants atmosphériques pour une superficie donnée ($> 100 \text{ km}^2$) et/ou un pourcentage de la population potentiellement concernée ($> 10 \%$). Intervient également la notion de persistance de l'épisode lorsqu'il est lié aux particules PM_{10} (~ 4 jours de dépassement consécutifs du seuil d'information et de recommandation). La combinaison de ces différents critères définit l'intensité de l'épisode de pollution et permet de définir des mesures proportionnées.

Dans le cadre de ce travail, un épisode de pollution pourrait correspondre au dépassement du seuil d'alerte pour les particules PM_{10} et/ou intégrer la notion de persistance pour des seuils moins élevés.

2.4 Stratégie 1 : utilisation du modèle développé par une équipe Inserm pour évaluer la surmortalité liée aux vagues de chaleur

Construction du modèle et détermination de la période de référence

Comme mentionné précédemment, ce travail exploratoire sera mené sur des données de mortalité.

Nous supposons que le nombre quotidien de décès survenus au cours de notre période d'étude suit une distribution de Poisson surdispersée. Or le nombre de décès observé un jour donné présente une forte corrélation avec le nombre de décès observé le jour qui précède. Il semble donc pertinent d'utiliser un modèle GEE (équations d'estimation généralisées) pour l'analyse temporelle, qui permet de tenir compte de la forte corrélation de la mortalité d'un jour sur l'autre dans les calculs de variance.

L'analyse spécifique d'un effet sanitaire (mortalité) pendant un épisode de pollution atmosphérique sera abordée à l'aide d'une approche comparative de la mortalité observée pendant l'épisode de pollution à la mortalité attendue sur la même période. La mortalité attendue doit être estimée sur une période de référence proche de l'épisode de pollution, afin de refléter au mieux le niveau général de mortalité de l'année. Le choix de la période de référence est une étape importante de ce travail et fait partie de la réflexion. Il est en effet nécessaire de choisir une période proche de l'épisode de pollution en s'affranchis-

sant des excès de mortalité liés à d'autres événements (épidémies hivernales, périodes de grand froid, canicule, etc.). Cependant, ce choix de période de référence, inspiré du choix utilisé pour étudier l'impact sanitaire de la canicule, présente certaines limites. D'une part, les risques liés à la chaleur étant isolés à une période de l'année (été) permettent de disposer du reste de l'année pour estimer une période de référence. D'autre part, les épisodes de pollution pouvant s'observer tout au long de l'année interrogent sur la méthodologie à adopter pour déterminer la mortalité de référence. Par ailleurs, les séries de mortalité, indépendamment des niveaux de pollution, sont sujettes à des variations à court et moyen termes (variations saisonnières, du fait des départs en vacances, par exemple, conditions météorologiques, pollens, etc.) souvent importantes, qui sont susceptibles d'induire une estimation biaisée de l'effet de la pollution atmosphérique. Il convient donc en premier lieu de construire un modèle de référence qui prenne en compte ces différentes composantes, avant d'expliquer par la suite les variations résiduelles de mortalité par la pollution atmosphérique.

À partir des coefficients estimés, le modèle permet de calculer deux types de nombre de décès attendus : le nombre de décès attendus un jour donné selon les niveaux de pollution atmosphérique observés ce jour et/ou les jours précédents, et le nombre de décès attendus un jour donné selon les niveaux de pollution habituels de référence. À partir de ces estimations, il sera possible de quantifier la surmortalité liée à un épisode de pollution, en calculant pour une période donnée l'écart entre le nombre de décès observés et attendus par le modèle ainsi que l'écart à une situation de référence.

2.5 Stratégie 2 : utilisation du modèle développé par l'InVS dans le cadre du PSAS

L'objectif de cette stratégie est, comme la première, de quantifier l'impact de l'épisode de pollution sur la mortalité. Les liens entre les niveaux de pollution et le nombre de décès seront analysés à l'aide de modèles additifs généralisés (GAM), selon le protocole développé dans le projet européen APHEA (Katsouyanni *et al.*, 1996) et utilisé dans le cadre du programme Erpurs en Ile-de-France ou du PSAS au niveau national. Ces modèles permettent de prendre en compte d'éventuels effets non linéaires des variables,

par l'utilisation de fonctions splines pénalisées (Härdle, 1991). Ces modèles seront par ailleurs ajustés sur un ensemble de covariables susceptibles de confondre la relation entre le nombre de décès et les expositions aux polluants, à savoir les indicateurs météorologiques, les épidémies de grippe et les expositions aux pollens, les jours de la semaine et jours fériés ou encore les vacances scolaires. Pour capturer l'effet de l'épisode de pollution, il sera utile d'introduire dans le modèle une fonction spline pénalisée des jours de cet épisode, ce qui devrait permettre de déterminer l'excès de mortalité (s'il existe) lié à l'épisode de pollution. Cette fonction spline permettra de capturer l'effet indépendant de l'épisode de pollution par rapport à l'effet attendu pour un modèle de base, dont la variable tendance exclut la période de l'épisode de pollution.

Discussion

L'enjeu sanitaire de la lutte contre la pollution atmosphérique réside dans l'action contre la pollution atmosphérique chronique, tel qu'il est souligné par le HCSP dans son avis rendu en 2012 : « [...] une politique centrée sur la gestion des « pics » a peu d'impact sur l'exposition au long cours de la population, et [...] la priorité doit être

donnée à la réduction des expositions chroniques » (Haut Conseil de la santé publique, 2012). Ainsi, l'impact des épisodes de pollution ne constitue pas tant un enjeu sanitaire qu'un enjeu de communication, dans des circonstances où la pollution de l'air devient « visible ». En réponse à cela, des moyens très coûteux sont déployés au cours des épisodes de pollution de l'air tels que gratuité des transports publics, du stationnement, ou encore mise en place de la circulation alternée. Il apparaît pertinent d'évaluer le rapport coût/bénéfice de ces mesures. La réflexion portant sur l'évaluation de l'impact sanitaire des épisodes de pollution constitue une première étape pour mener de telles analyses. Elle se heurte cependant à de nombreuses difficultés et renvoie à d'autres questionnements. L'impact sanitaire d'un épisode lié à la pollution particulaire peut-il être généralisé à tous les épisodes compte tenu des variations de composition chimique des particules d'un épisode à l'autre ? Comment rendre compte des éventuels effets synergiques de l'exposition conjointe aux polluants atmosphériques et aux pollens ? En quelle mesure les messages de prévention diffusés lors des épisodes influencent-ils l'exposition et les comportements des individus et peuvent-ils influencer la relation entre pollution de l'air et la survenue d'événements sanitaires ? Tant de questionnements qui font de cette démarche une approche exploratoire visant *a minima* à se poser les bonnes questions.

1. ORS Ile-de-France.
2. ORS Ile-de-France.
3. Direction générale de la santé.
4. Institut de veille sanitaire.
5. Institut de veille sanitaire.
6. Recommandations sanitaires basées sur l'arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé.
7. Seuil fixé par l'article R. 221-1 du code de l'environnement.
8. PM10 : particules en suspension de taille inférieure à 10 micromètres.
9. Cf. Rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) sur les pollens. [En ligne] : <http://www.anses.fr/fr/documents/AIR2011sa0151Ra.pdf>
10. Arrêté inter-préfectoral n° 2014-00573 relatif à la procédure d'information-recommandation et d'alerte du public en cas d'épisode de pollution en région Ile-de-France.

Références

- Caserio-Schönemann, C ; Bousquet, V ; Fouillet, A ; Henry, V. (2014). Pour l'équipe projet SurSaUD. La surveillance syndromique en France en 2014. *Bull Epidemiol Hebd.*, n° 3-4, p. 38-44.
- Chatignoux, E ; Host, S. (2013). Expositions à la pollution atmosphérique et recours aux urgences pour pathologies respiratoires chez les enfants en Ile-de-France, Paris : Observatoire régional de santé Ile-de-France, 8 p.
- Chatignoux, E ; Cazenave, A ; Pépin, P. (2009). Surmortalité liée aux vagues de chaleur en Ile-de-France : les risques ont-ils changé depuis 2003 ? Paris : Observatoire régional de santé Ile-de-France, 8 p.
- Fouillet A. (2007). Surmortalité liée aux vagues de chaleur : modélisation des variations spatio-temporelles de la mortalité générale en fonction des caractéristiques climatiques. Thèse de doctorat en épidémiologie, 246 p.
- Härdle, W. (1991). *Smoothing techniques: with implementation*, S. Springer.
- Haut Conseil de la santé publique. (2012). Pollution par les particules dans l'air ambiant. Recommandtions pour protéger la santé. 238 p.
- Katsouyanni, K ; Schwartz, J. ; Spix, C. *et al.* (1996). Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *Journal of Epidemiology and Community Health*. Apr., n° 50 (Suppl 1), p. S12-S18.
- Le Tertre, A ; Lefranc, A ; Eilstein, D. *et al.* (2006). Impact of the 2003 Heatwave on All-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology*, n° 17(1), p. 75-79.
- Smith, G.E. ; Bawa, Z. ; Macklin, Y. *et al.* (2015). Using real-time syndromic surveillance systems to help explore the acute impact of the air pollution incident of March/April 2014 in England. *Environmental research*. Elsevier, n° 136, p. 500-504.

Le regard du *Progrès de Lyon* sur les épisodes de pollution 1997-2013

The looks of the *Progrès de Lyon* on air pollution peaks, 1997-2013

Isabelle ROUSSEL

Ce travail fait suite à celui de Julien LANGUMIER¹ qui avait dépouillé « un corpus » d'articles de la presse quotidienne régionale, relatif à la pollution de l'air à Lyon (1974-2000). Son travail était moins centré sur les alertes issues de la loi sur l'air puisqu'elles n'ont été opérationnelles qu'à partir de 1998. Il avait constaté : « les articles des quotidiens se construisent à partir d'une temporalité plus complexe mais relativement invariante. Le premier temps est le plus proche de l'alerte, au cours duquel la presse rapporte les informations relatives à la nature et au niveau de pollution. Le ton est dominé par l'urgence et l'irruption d'un danger nouveau qu'il faut décrire avec le plus de détails possible. Rapidement, les journalistes se détachent de l'alerte en elle-même pour s'intéresser à la gestion de la crise par les responsables institutionnels et les experts. Ce deuxième temps est riche en discours et dévoile au public certains conflits entre acteurs dont les intérêts divergent. Enfin, la fin du phénomène de pollution annonce le dénouement de cette crise, au cours duquel le danger est relativisé et même effacé par un salvateur « retour à la normale ». Au terme de ce cycle, le phénomène-pollution et l'événement-alerte entrent dans le domaine du quotidien et de l'ordinaire qui signifie aussi le domaine de l'acceptation et de la résignation. Ainsi, paradoxalement, le traitement médiatique consiste en une dramatisation des événements et aboutit à une banalisation du phénomène ».

Résumé

Les épisodes de forte pollution ont un fort retentissement médiatique. Un regard sur la manière dont le *Progrès de Lyon* a relaté ces événements depuis 1997 montre l'importance de l'évolution des connaissances sur la pollution de l'air. Les effets des polluants sur la santé sont mieux connus et les mesures contraignantes sont mieux acceptées. Néanmoins, la question de la pérennisation des mesures transitoires reste toujours posée.

Mots-clés :

pointe de pollution, pollution urbaine, mesures réglementaires d'urgence.

Abstract

The episodes of high pollution have a strong impact in the media. The analysis of the daily newspaper *Le Progrès de Lyon* since 1997 shows the importance of the evolution of air pollution knowledge. The effects of pollutants on health are better known and the regulation is better accepted. Nevertheless the question of the sustainability of transitory measures always remains.

Keywords :

air pollution peak, urban air pollution, emergency regulation.

Introduction

Les épisodes de pollution présentent l'avantage d'être fortement médiatisés puisque les communiqués de la préfecture sont transmis à la presse pour être portés à la connaissance des lecteurs. Souvent les journalistes, comme François Samard, profitent de l'opportunité qui leur est offerte par ces mesures préfectorales pour informer plus largement le public sur la pollution atmosphérique et sur ses conséquences ; ces articles légitiment ainsi les mesures prises en montrant leur bien-fondé. Le recueil et l'analyse de ces articles sur une période relativement longue (1997-2014) permettent de constater que le contexte dans lequel le dispositif d'alerte se situe a beaucoup évolué au fil des ans. Un regard porté sur la manière dont ces épisodes de forte pollution sont relatés dans la presse rend compte de l'évolution des connaissances sur les effets sanitaires des polluants et la constance avec laquelle les conseils sont prodigués à ces occasions.

Le sondage effectué par Airparif en 2014² auprès d'un échantillon représentatif de Franciliens souligne le rôle important que jouent les pics de pollution dans la diffusion de l'information sur la qualité de l'air. Ces résultats montrent également combien le nombre de Franciliens touchés

par ces informations a augmenté depuis 2008 puisque si 27% des enquêtés déclaraient ne jamais s'informer sur la pollution en 2008, ils ne représentaient plus que 12 % six ans plus tard. En remontant davantage dans le temps, jusqu'à 1997, il est possible de mieux rendre compte de l'évolution de l'amélioration de la diffusion de l'information au fil des ans.

Méthodologie

C'est à partir de l'année 1997 que les archives ont été consultées puisque le dispositif d'alerte et sa médiatisation en cas de forte pollution datent de la loi sur l'air de décembre 1996. Cette investigation a été effectuée à partir de la recherche du mot-clé « pollution atmosphérique », ce qui a permis de constater que les pointes, si elles font l'objet de la majorité des articles, ne sont pas les uniques sujets traités par le journal. Certes, les alertes décrétées par le préfet font l'objet de communiqués de presse assez concis et réduits à une brève information, mais les journalistes utilisent souvent l'occurrence d'un pic de pollution pour signer un article relayant une information plus fondamentale sur les dispositifs mis en œuvre, sur les méfaits de la pollution et sur les sources qu'il convient de limiter ou d'abandonner. Effectivement, lorsque la rédaction du jour-

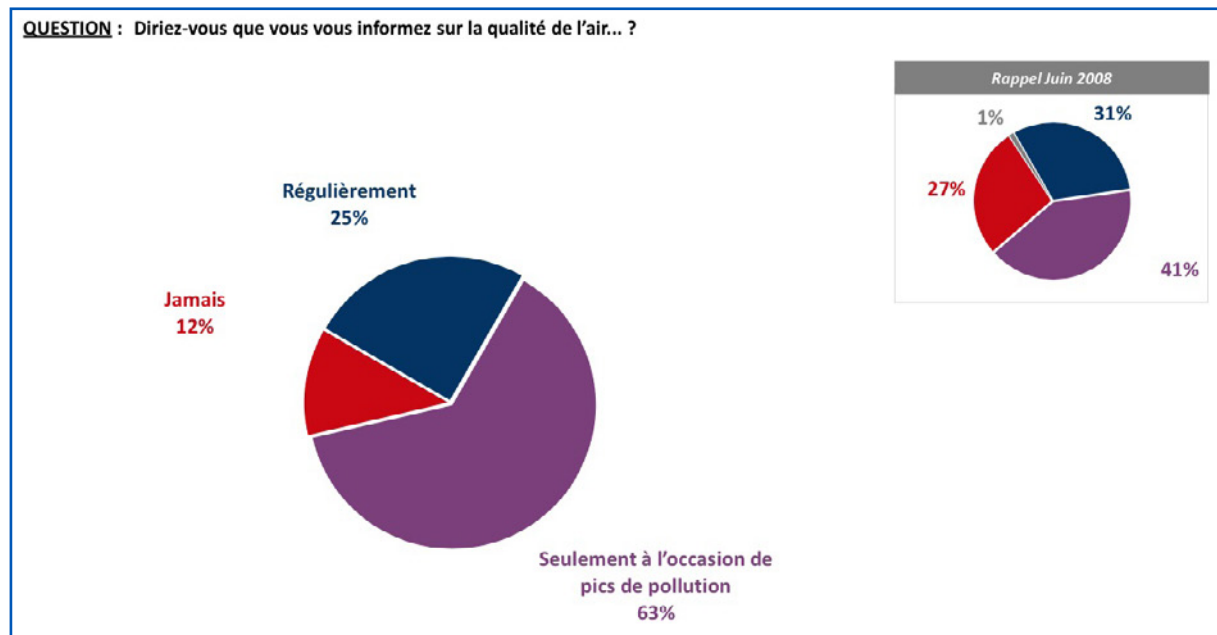


Figure 1.

L'importance de l'information des Franciliens au moment des pics de pollution en 2014 (sondage Airparif).

The importance of the information of the inhabitants of the Ile-de-France during air pollution peaks.

nal reçoit régulièrement des télécopies émanant de la préfecture pour rendre compte de situations préjudiciables à la bonne santé des habitants, elle peut inciter les journalistes à se documenter pour mieux diffuser l'information sur ce type de problème. Néanmoins, le journal peut évoquer la pollution atmosphérique à d'autres moments que pendant ces alertes ; il le fait à travers des communiqués de presse émanant de COPARLY³ ou lorsque le sujet fait l'objet d'une polémique locale ou d'une revendication des Verts au moment d'une élection. Par exemple, en janvier 2009, à l'occasion d'une pointe de pollution, les Verts s'étonnent que le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) ne se traduise pas par plus de mesures contraignantes. Ces articles n'ont pas été retenus dans l'analyse focalisée sur les pointes. Mais, au fil des ans, la montée en puissance du service de communication de l'AASQA, COPARLY ou Air Rhône-Alpes, a permis au journal de rendre compte régulièrement de communiqués de presse qui font état des progrès de la surveillance et du déploiement des dispositifs. Les dispositifs mis en place dans le Grand Lyon pour lutter contre la pollution de l'air ont pu également faire l'objet d'articles dans la presse, comme celui sur les débats à propos du péage urbain le 6 octobre 2003.

Seuls les articles s'appuyant sur les pointes ont été sélectionnés et analysés de manière qualitative pour mettre en évidence l'évolution du contexte dans lequel les dispositifs d'alerte ont été mis en place : les premières alertes estivales suscitées par des niveaux élevés d'ozone ont été accueillies avec scepticisme et étonnement. Leur médiatisation, discrète, avait une vocation pédagogique ; en revanche, les alertes récentes, correspondant à des niveaux élevés de particules, ont un fort retentissement médiatique qui se fait l'écho des attentes criantes des habitants.

Une difficulté géographique : le choix effectué en faveur de l'édition de Lyon du *Progrès* interdit une investigation sur la variabilité spatiale de l'épisode. Or, les épisodes de pollution signalés à Lyon peuvent déborder plus ou moins largement de la zone urbanisée centrale. C'est pourquoi, si 49 articles abordent uniquement l'agglomération lyonnaise, le corpus retenu a pris en compte une dizaine d'articles traitant du département de l'Ain. En revanche, la Loire a été laissée de côté, à regret, car les analyses sur les pointes de pollution paraissaient plus fréquentes et mieux documentées.

Soulignons qu'en ce qui concerne les épisodes d'ozone, il est difficile de limiter l'investigation au centre de l'agglomération lyonnaise. Dans la présentation de ces épisodes, l'échelle spatiale est élargie, l'extension des zones affectées couvre l'ensemble de l'Europe. Même dans une édition lyonnaise, il est difficile de se limiter à l'agglomération lyonnaise, souvent moins affectée que les zones périphériques. Dans l'édition du 27 octobre 2003, le journaliste Stéphane Morel établit un bilan des niveaux d'ozone mesurés au cours du mois d'août sur l'agglomération lyonnaise : il constate que la pollution a aussi affecté les zones rurales en raison de la capacité de l'ozone à se déplacer facilement avec les masses d'air, et que des apports d'ozone ont été observés à grande échelle en provenance de l'agglomération lyonnaise et même de plus loin, notamment d'Allemagne et du Benelux. Il constate également que la région Rhône-Alpes compte parmi les régions françaises les plus touchées par la pollution à l'ozone, juste après la Provence-Alpes-Côte-d'Azur (soixante-dix-huit jours de dépassement), le Languedoc, l'Île-de-France et l'Alsace.

En effet, à partir de 2010, le découpage de la région en « zones d'alertes » (figure 2) se traduit par un commentaire plus détaillé géographiquement, comme celui du 8 février 2010 : « Le niveau d'alerte a été activé sur la zone industrielle du sud lyonnais, l'agglomération lyonnaise et l'agglomération de Cluses-Sallanches. Le niveau d'information et de recommandations a lui aussi été activé sur le bassin lyonnais, bassin grenoblois, bassin stéphanois et sur l'agglomération de Roanne. Enfin, le niveau d'information et de recommandations a été activé hier sur l'agglomération de Bourg-en-Bresse, mais sans être reconduit pour ce jeudi ». De même, le 1^{er} février 2011, le journal mentionne l'existence d'un pic de pollution atmosphérique dans toute la région Rhône-Alpes.

L'édition de Lyon du *Progrès* peut ainsi se faire l'écho des dispositifs appliqués dans plusieurs zones d'alerte. Ce sont les zones numérotées 1, 11 et 9, dont il est souvent question dans cette édition du journal, qui mentionnent souvent la variabilité géographique de la pointe et les différences dans l'application du dispositif d'alerte. Comme en décembre 2013 : « Et surtout, il a concerné toute la région. On croyait l'Ouest lyonnais préservé : il n'en est rien. Ici comme ailleurs, on trouve d'importantes concentrations de polluants à côté des voiries saturées. Et pas seulement. » En mars 2014, le dispositif préfectoral

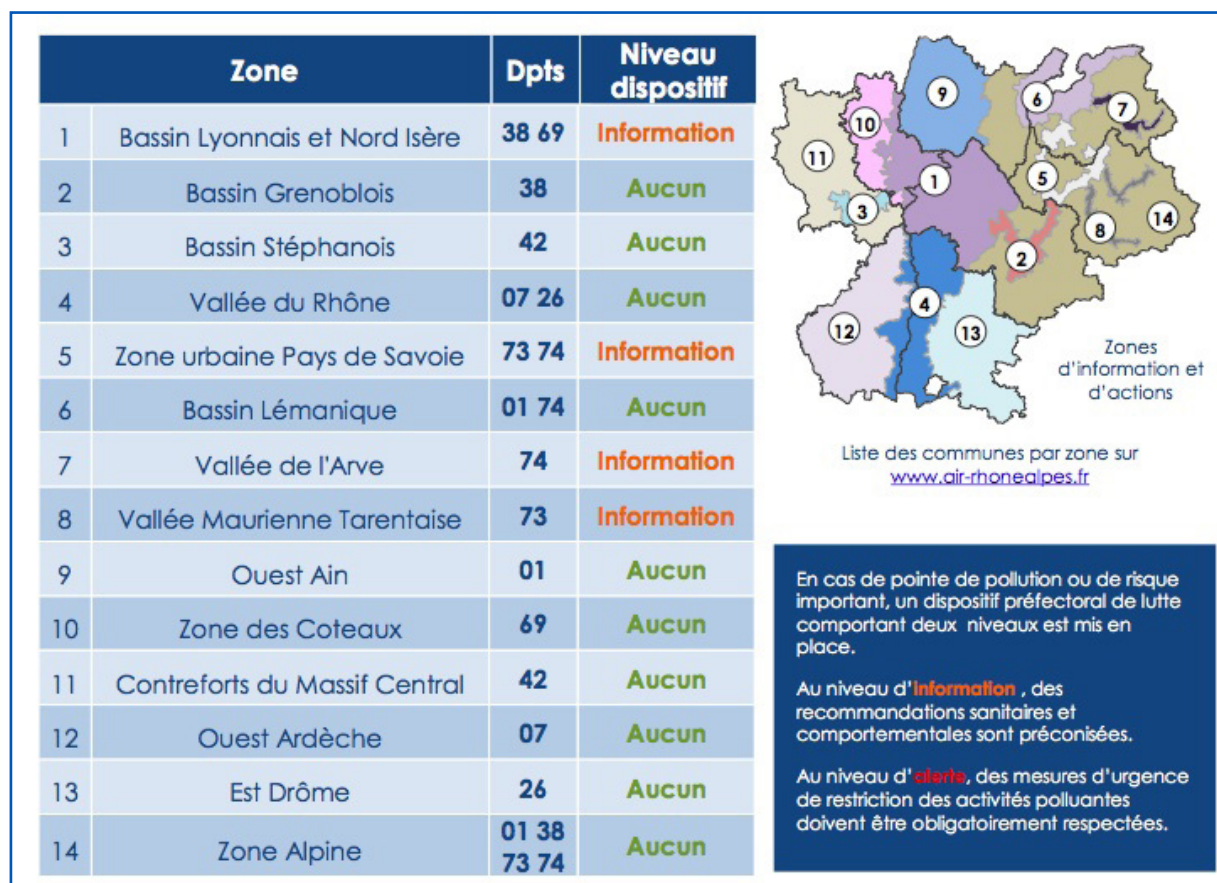


Figure 2.

Les zones d'application du dispositif d'information et d'alerte.
 The application areas of information and alert proceedings.

présenté est décliné selon les différentes zones d'alerte : « bassin lyonnais et le Nord-Isère, le bassin stéphanois, la vallée du Rhône, l'Ouest de l'Ain, ainsi que les contreforts du Massif Central ».

Au fil des ans, les épisodes de pollution se banalisent, leur impact sur la santé est mieux connu, même dans les campagnes comme le montre l'article relevé en avril 2013 : « La pollution atmosphérique, principalement celle aux particules fines, a encore fait parler d'elle hier puisque l'Ouest de l'Ain a été placé au niveau alerte. Même dans nos campagnes, cela fait quelques années qu'on la découvre. Pas parce que c'est une nouveauté, mais parce qu'elle est mieux suivie ».

Entre l'alerte et l'épisode de pollution : un certain flou. La grande différence entre les alertes industrielles antérieures à la loi et les alertes issues de la loi sur l'air est l'émergence d'un nouveau marqueur de la pollution : l'ozone, qui déplace la saison de l'occurrence des pointes

vers l'été. Les précurseurs de ce polluant secondaire sont liés à la circulation automobile et produisent de l'ozone grâce à une alchimie complexe qui fait intervenir la température et l'insolation. Les premiers épisodes de cette pollution invisible ont déconcerté le public, les articles du journal ont alors une fonction pédagogique évidente. Or, dès le mois d'août 1997, au lendemain de la loi sur l'air de 1996, Lyon a été concernée par des dépassements de niveau d'ozone.

La distinction entre épisode de forte pollution et alerte préfectorale peut prêter à confusion. La presse retransmet plus souvent le communiqué venant de la préfecture que la description d'épisodes n'ayant pas donné lieu à un dispositif d'alertes. La distinction entre l'information sur les épisodes de pollution et celle sur les alertes est difficile à décrypter. Autant *Le Progrès*, dans la mesure du possible, communique sur les dispositifs d'alerte mis en place par la préfecture, autant il ne recense pas systématiquement tous les épisodes au cours desquels les seuils ont pu être dépassés.

Analyse du contenu du corpus utilisé

Même à travers un corpus très largement dominé par une information institutionnelle, la teneur des articles analysés souligne le paradoxe que constituent ces épisodes fortement médiatisés car ils ont pour objectif de motiver la population pour réduire les émissions, mais leur occurrence est liée à la persistance de situations météorologiques bien particulières et défavorables à la dispersion des polluants. En outre, les alertes liées à l'ozone présentent un caractère contre-intuitif pour la population qui a du mal à voir le lien entre l'ozone, la circulation automobile et les belles journées ensoleillées de l'été. Ces alertes répondent à des normes imposées pour des polluants invisibles ; elles déconcertent la population habituée à saisir l'inconfort lié à la pollution de l'air à travers les fumées et les odeurs.

Les caractéristiques de ces alertes. La recherche de la responsabilité partagée entre météorologie et émissions anthropiques

Alors que les alertes industrielles antérieures à la loi sur l'air mettaient l'accent sur les conditions climatiques défavorables, les alertes issues de la loi sur l'air ont pour objectif d'attirer l'attention des habitants sur les émissions liées à leur utilisation de la voiture. Dès 1997, un article du *Progrès* se fait l'écho du message préfectoral rappelant que « ce ne sont pas les conditions météorologiques qui créent la pollution mais bel et bien les activités humaines comme la production industrielle ou le trafic routier. En revanche, pour des émanations équivalentes, les taux des polluants présents au-dessus d'un site peuvent varier, en fonction de critères climatiques ». Cette double origine, à la fois anthropique et climatique des épisodes fortement pollués, constitue le paradoxe essentiel de la médiatisation des pointes au moment de situations météorologiques défavorables, alors que les émissions de polluants sont, le plus souvent, chroniques, sauf exceptions. En février 2007, cependant, au cours d'un épisode d'accumulation de dioxyde d'azote, le journal rappelle le poids des facteurs naturels dans l'explication de l'occur-

rence de niveaux de pollution élevés : « la situation géographique de l'agglomération lyonnaise contribue à faire de Lyon une ville atmosphériquement sensible. Les conditions de dispersion des polluants sont influencées par une topographie particulière avec la présence du Rhône, de la Saône et de nombreux reliefs (collines de la Croix-Rousse, de Fourvière, de Sainte-Foy). Par ailleurs, les vents dominants orientés nord-sud et sud-nord favorisent l'arrivée de masses d'air en provenance de la « vallée de la chimie » implantée au sud de l'agglomération. En outre, la région lyonnaise est souvent le siège, en hiver, d'inversions de température (température plus élevée en altitude qu'au sol) favorisant la stagnation des polluants ».

À partir de 2007, les alertes ont concerné les particules et sont donc devenues plus fréquentes et de nouveau hivernales : le 10 janvier 2009, au moment de la pointe hivernale, le journal croit bon de préciser : « On savait que les chaleurs estivales rimaient très souvent avec pollution. On sait maintenant qu'en hiver aussi la qualité de l'air n'est pas garantie, loin de là. Air frais n'est pas forcément synonyme d'air pur, contrairement à ce que l'on pourrait penser ».

En outre, à partir de 2007, l'abaissement des seuils d'alerte se conjugue avec la modification de la méthode de mesure des particules qui, désormais, prend également en compte leur fraction volatile. La fréquence des pics de pollution augmente mais elle ne se traduit pas par une augmentation de l'importance des articles expliquant le détail de cette pollution ; bien souvent, le journal se contente d'insérer le communiqué préfectoral sans ajouter de commentaires. La précision n'est publiée que le 19 février 2011 : « l'abaissement du seuil va entraîner une hausse du nombre d'alertes dans la région Rhône-Alpes très touchée par la pollution atmosphérique ».

En juillet 2007, *Le Progrès*, à travers les propos du président de COPARLY, veut sensibiliser les lecteurs à l'élargissement de la notion de pointe de pollution ; il présente deux types de « pics de pollution » d'origine différente : « le 15 mars, une teneur inhabituelle et importante de nitrate d'ammoniac est constatée en Allemagne, Alsace, à Genève, Lyon et dans la vallée du Rhône. On pense que le fait générateur de cette pollution pourrait être corrélé avec des périodes d'épandage massif d'engrais aux Pays-Bas. Quant à la pollution du 25 mai (pluie de sable), grâce aux photos satellites, on peut découvrir que le 19 mai

il existait une tempête de sable dans le Nord de l'Afrique. Ces particules de sable ont été transportées par des vents favorables vers le Sud de la France ».

Mais le 21 décembre 2007, le communiqué transmis à la presse insiste de nouveau sur la double origine de ces épisodes. En outre, la présence de particules est mentionnée dans le dispositif d'alerte, conformément à l'évolution de la réglementation. « La préfecture a déclenché hier le niveau « d'alerte » pour la pollution atmosphérique sur le bassin lyonnais. Le maintien de conditions anticycloniques reste propice à l'accumulation des polluants – particules et oxydes d'azote – et la journée de vendredi s'annonce difficile, notamment à cause d'émissions inhabituelles liées au week-end de Noël et au fort trafic routier qu'il devrait générer ».

Le rappel en janvier 2008 est identique : « De plus, un excès de dioxyde d'azote a été recensé dans la matinée dans le Sud de l'agglomération déclenchant pour ce type de pollution le premier niveau d'alerte qui a été levé en fin d'après-midi. Cette situation était prévisible compte tenu du maintien des conditions anticycloniques de ces derniers jours et de l'accumulation de polluants émis notamment par le trafic routier, le chauffage domestique et certaines industries. » Encore le 17 juillet 2010, le journal souligne l'influence de la circulation autoroutière désignée comme coupable, alors que d'habitude la responsabilité incombait à la raffinerie de Feyzin : « Depuis quelques jours, la pollution atmosphérique dans l'agglomération lyonnaise a atteint le niveau 2. La ville de Feyzin se trouve également touchée, non pas à cause de la raffinerie, mais de la circulation autoroutière. Les prochains jours, la situation menace même de s'aggraver en raison du trafic du 15 août et en raison de la chaleur qui devrait être toujours aussi persistante ».

Au cours des 17 années analysées, les épisodes se sont succédé, mais leurs caractéristiques et leurs conséquences ont été présentées différemment au fil des années.

Quelques remarques sur le style et la méthode des journalistes

Comme souvent quand il s'agit de la retrans-

cription d'un événement par les médias, l'emphase est de mise, chaque événement est qualifié d'exceptionnel comme en janvier 2009 : « Taux record de pollution aux particules depuis dix ans sur Lyon... le phénomène est exceptionnel puisqu'il faut remonter dix ans en arrière pour retrouver des taux de pollution aux particules aussi élevés que ceux relevés hier. Résultat, l'indice ATMO qui mesure la qualité de l'air a atteint 10. Des mesures de limitation de vitesse sont décrétées par la préfecture ». En novembre 2011 : « L'épisode de pollution aux particules qu'a connu l'agglomération lyonnaise a été exceptionnel par sa durée : dix-sept jours. Le dispositif d'alerte (taux de particules supérieur à $80 \mu/m^3$) avait, lui, été déclenché le 17 novembre. L'agglomération compte déjà près de 70 jours de pollution aux particules fines contre 48 pour l'année 2010. » Ces records, enregistrés postérieurement aux évolutions du dispositif depuis 2007, sont-ils des records en valeur absolue ou bien peuvent-ils s'expliquer par l'abaissement des seuils retenus pour déclencher des alertes ? En revanche, en décembre 2013, l'épisode est minimisé : « Quinze jours consécutifs de pollution aux particules en décembre. L'épisode est long, mais n'a rien d'exceptionnel. »

L'humour accompagne souvent l'emphase. Est-ce le signe du manque de sérieux avec lequel le problème est traité ? « Lyon retient son soufre », calembour par lequel le journal intitule l'article de janvier 1997. Il révèle la présence des derniers pics liés au dioxyde de soufre. Les suivants seront plutôt liés à la présence de dioxyde d'azote et d'ozone. L'article du Progrès du 17 juillet 2010 mentionne que « La pollution atmosphérique due aux fortes chaleurs, c'est un peu comme la série des « Gendarmes » de Saint-Tropez. On est habitués à la voir tous les étés, et les épisodes sont plus ou moins longs et réussis. Hier, l'ozone, qui tient le rôle principal dans ce feuilleton météo à succès, en a remis une couche. Dans le Sud du bassin lyonnais, les concentrations de ce gaz ont fortement augmenté, et ont dépassé à 16 heures le seuil d'information. La préfecture a donc renouvelé sa liste de recommandations à destination des personnes sensibles. »

Au cours des épisodes de forte pollution, le journal donne largement la parole aux AASQA auxquelles il confie la description scientifique du phénomène. Même lorsque le journaliste signe lui-même un article à travers lequel il souhaite aborder le fond du problème, il donne souvent la parole aux ingénieurs de l'AASQA ou à d'autres

spécialistes comme Guy Blanchet, sollicité en février 2009. Les communiqués de presse de la préfecture, comme celui d'août 2004, s'appuient sur la crédibilité scientifique de l'AASQA pour donner le détail des niveaux de pollution ou des informations plus techniques. En août 2004, le communiqué publié conclue de la manière suivante : « Pour connaître l'évolution de la situation, consulter le site Internet de Coparly : www.atmo-rhonealpes.org ou son serveur vocal : 0 810 800 710. L'arrêté préfectoral est affiché aux portes de la mairie. » L'AASQA est même sollicitée pour donner des conseils de gestion, comme en janvier 2009 : « Pour la spécialiste de l'air, il faudrait arrêter la tolérance pour ces feux chez les particuliers » ; ou encore en juillet 2010 : « Il faudra lever le pied de l'accélérateur », prédisait Mario Duval car « la vitesse augmente la pollution ».

Le journal se fait l'écho de l'évolution des procédures réglementaires : puisque le journal relaie bien souvent le communiqué de la préfecture, il est normal que la procédure réglementaire dont il est issu soit mentionnée. Alors que la loi sur l'air est entrée en application le 1^{er} janvier 1997, dès le mois de janvier, un épisode de pollution atmosphérique dont l'ampleur n'avait pas été atteinte depuis 1990 a pris de court les autorités publiques qui se devaient d'expliquer les nouvelles procédures réglementaires préfectorales mises en place avant la publication du décret d'application de la loi, qui n'interviendra que le 24 juin 1999. La loi fixe en effet des obligations, mais beaucoup de ses mesures demandent une préparation afin de pouvoir être déclenchées en cas d'urgence. Or, dès janvier 1997, un épisode de pollution a précipité la mise en œuvre de la loi et imposé des prises de décision, considérées à l'époque comme courageuses, comme celle d'interdire aux poids lourds de traverser l'agglomération lyonnaise.

Le 4 août 1999, c'est l'arrêté du 15 juillet 1999 des préfets de l'Ain et du Rhône qui est mentionné : il a institué une procédure d'alerte sur les épisodes de pointe de pollution atmosphérique dans l'agglomération de Lyon, qui comporte trois niveaux. Niveau 1 : mise en vigilance, niveau 2 : information et recommandations, niveau 3 : alerte. Pour décliner les réglementations, le journal rappelle, le mercredi 8 décembre 1999, l'épisode de mise en place de la pastille verte en 1996.

En 2000, la question de la prévision des pointes se pose : « prévenir plutôt que guérir ».

À long terme, Supaire (AASQA du Sud de l'agglomération lyonnaise) voudrait pouvoir prédire 24 heures à l'avance les pics de pollution, mais pour ce faire : « il faut faire des études complémentaires et inventer des programmes informatiques qui soient capables de prédire, avec 80 % de fiabilité, le taux de pollution. Ces études et programmes informatiques sont actuellement en cours sur Grenoble. Le but de ces prédictions serait de pouvoir déclencher le dispositif avant le pic de pollution afin que la population prenne les dispositions nécessaires ».

Le journal, le 1^{er} août 2000, se fait également l'écho de l'élargissement du dispositif qui, auparavant, n'était appliqué que dans les grandes villes. Cependant, aucune restriction de conduite automobile n'a été prévue dans la vallée du Rhône, car il serait trop difficile de faire respecter la circulation alternée sur l'autoroute A7.

Le 6 août 2004, *Le Progrès* évoque l'arrêté préfectoral du 28 juillet expliquant la diffusion, le 30 juillet, d'un message de niveau « d'information et de recommandations » pour « pollution atmosphérique à l'ozone sur le secteur de l'Ain et de l'agglomération lyonnaise ». « En raison des fortes chaleurs, l'arrêté préfectoral en date du 28 juillet instituait le dispositif de communication de cas d'épisode de pollution atmosphérique qui serait activé selon deux types de cas : risque ou constat de dépassement des seuils de pollution correspondant au niveau dit d'information et de recommandations ; risque ou constat de dépassement des seuils de pollution correspondant au niveau dit d'alerte.

Selon la nature et l'étendue de l'épisode de pollution, ce dispositif serait activé sur un périmètre variable : secteur de proximité industrielle, zone rurale, zone urbaine ou périurbaine ».

Le 11 janvier 2006, le préfet décide d'imposer une réduction de la vitesse de 20 km/h. Cette disposition s'est appliquée au cours des épisodes de juillet 2006 et de décembre 2007.

Le 27 décembre 2007, le journal se fait l'écho de la mise en œuvre de cette mesure et donne la parole à la préfecture qui assure « que depuis que le préfet du Rhône, Jacques Gérard, a décidé de réduire de 20 km/h la vitesse maximum autorisée sur les routes et autoroutes du Rhône, là où les vitesses normalement autorisées sont supérieures à 70 km/h, la police et la gendarmerie ont renforcé les contrôles de vitesse organisés

au moyen de jumelles. La préfecture du Rhône soulignait hier que la vitesse surveillée par les radars fixes situés dans le Rhône n'avait pas été modifiée depuis le 21 décembre », jour du début de l'épisode. Le 28 décembre 2007, le journal indique que : « la mesure de réduction de 20 km/h de la vitesse maximale autorisée, mise en place le 21 décembre, a donc été levée hier soir sur tout le département du Rhône ». Et ce même article souligne que le préfet avait renforcé les contrôles de vitesse.

La réglementation est rappelée en janvier 2008 : « La préfecture précise que 'sur l'ensemble des routes et autoroutes du département du Rhône, les véhicules doivent respecter aujourd'hui une vitesse maximale inférieure de 20 km/h à la vitesse maximale autorisée si cette dernière est supérieure à 70 km/h' ». Cependant, le 31 janvier, on constate : « Hier, les automobilistes étaient invités sur des panneaux lumineux à limiter leur vitesse de 20 km/h en dehors de l'agglomération. Mais le message semblait bien peu respecté sur les boulevards périphériques. Ce qui pose le problème de l'efficacité de ce type de mesures non contraignantes mais aussi du dispositif d'alerte dans sa globalité ».

Et en janvier 2009, il convient de préciser que le préfet du Rhône, Jacques Gérard, a décidé de prendre des mesures drastiques : « Il a engagé le niveau d'alerte et réduit de 20 km/h la vitesse maximum autorisée de tous les véhicules, lorsque celle-ci est supérieure à 70 km/h ».

Le 2 juillet 2009, *Le Progrès* rappelle le fonctionnement de la procédure d'alerte : « les associations de surveillance de la qualité de l'air sont tenues, par arrêté préfectoral, d'informer la population et de diffuser des recommandations en cas de constat ou de prévision d'un pic de pollution. Le niveau d'information et de recommandations s'applique quand l'ozone atteint une concentration de 180 microgrammes par mètre cube en moyenne sur une heure. Il a pour vocation d'informer les personnes les plus sensibles à la pollution. Le niveau d'alerte est atteint pour une concentration de 240 microgrammes par mètre cube. Il a pour objectif la préservation de la santé de l'ensemble de la population : la préfecture peut alors prendre des mesures de restriction de circulation et des émissions industrielles. Depuis 2006, on est passé d'une logique de constat à une logique de prévention. La notion de 'risque de dépassement' pour le lendemain, basée sur des outils de prévision et l'expertise humaine, permet

désormais d'activer le dispositif préfectoral sans que les valeurs du jour aient franchi un seuil ».

Le 19 février 2011, les règles changent : « Pourtant, les conditions météo ne sont pas plus favorables à l'accumulation des polluants (grand froid et absence de vent) que la semaine dernière où l'alerte a été maintenue cinq jours consécutifs. Mais depuis, les règles ont changé... En effet, mercredi est entré en vigueur en Rhône-Alpes un nouvel arrêté pour les principaux polluants – SO₂, NOx, ozone et particules. Comme annoncé (voir *Le Progrès* du 11 février), les seuils de dépassement ont été abaissés. Désormais, le seuil d'information est fixé à 50 microgrammes par mètre cube en moyenne sur 24 heures, et le seuil d'alerte à 80 µg/m³ contre respectivement 80 µg/m³ et 125 µg/m³ auparavant. Ces nouveaux seuils ont pour but de se rapprocher de la réglementation européenne. Selon cette dernière, les pays membres ne doivent pas enregistrer sur un an plus de trente-cinq jours dépassant la moyenne de 50 µg/m³ sur 24 heures. Problème : l'abaissement du seuil va entraîner une hausse du nombre d'alertes dans la région Rhône-Alpes très touchée par la pollution atmosphérique. D'autant que le dispositif préfectoral peut être activé non seulement sur le constat du dépassement mais aussi en prévision de celui-ci, et l'activation du niveau d'alerte se fait dès que le seuil d'information a été franchi durant deux jours consécutifs. Mais le but est aussi de prendre plus rapidement des mesures destinées à diminuer le taux de polluants et ainsi réduire le risque sanitaire qui s'accroît avec leur persistance. Pour augmenter la réactivité des services, c'est la préfecture de région qui pilotera désormais les mesures qui seront identiques sur tous les territoires de la région. Parmi ces mesures, on compte : la réduction de la vitesse de 20 km/h par rapport à la vitesse maximale autorisée si cette dernière est supérieure à 70 km/h. Il n'y aura plus besoin d'arrêté préfectoral pour la déclencher : cette mesure sera maintenant automatique dès le déclenchement de l'alerte ».

Lors de la mise en place de cette procédure issue de la loi de 1996, les articles analysés reflétaient un certain scepticisme, mais, actuellement, on observe un mouvement inverse et une certaine impatience transparaît dans les articles, comme en mars 2013. En effet, à la faveur d'un nouvel épisode de pollution, le 6 mars 2013, la ministre de l'Environnement, Dephine Batho, trouvait les mesures d'urgence insuffisantes : « Reconnaisant qu'actuellement, ce qui est mis en œuvre

'n'est pas suffisant', la ministre de l'Écologie en appelle à des 'mesures structurelles'. 'D'où la question du diesel et la nécessité de réexaminer le fait d'avoir encouragé son développement sachant, en outre, qu'il est classé cancérigène depuis juin'. La ministre a pointé aussi les feux de cheminée et les foyers ouverts, responsables, eux aussi, de cette pollution aux particules ».

Le journal ne se contente pas d'exposer les procédures, il diffuse régulièrement, à la faveur des pointes observées, trois types de message : l'un concerne les mesures réglementaires prises, ayant pour objectif d'écrêter les pointes ; l'autre consiste à donner des conseils et des recommandations pour protéger la santé de la population, et le troisième a pour objectif d'inciter la population à modifier ses habitudes de mobilité ou de chauffage. Cependant, la crédibilité des mesures prises et des contraintes imposées repose sur des considérations sanitaires puisque la motivation des habitants pour participer à la maîtrise des polluants s'appuie sur leur désir d'améliorer leur environnement et donc leur santé. C'est pourquoi on retrouve régulièrement dans la presse l'état des connaissances sur la relation entre la santé et la pollution atmosphérique. Or l'analyse des articles du *Progrès* fait état de l'évolution de ce domaine : au début de la période retenue, la presse se fait l'écho du scepticisme des pneumologues qui considèrent que seule l'éradication du tabagisme est un enjeu de santé publique. Puis, peu à peu, les connaissances sur le sujet se sont amplifiées grâce aux grandes études épidémiologiques dont *Le Progrès* a rendu compte, parfois en dehors de la période des pointes. Ce sont souvent les ingénieurs des AASQA qui sont les porte-parole des épidémiologistes, comme si la surveillance, la métrologie et les perceptions des habitants sur le sujet étaient « en avance » sur les découvertes sanitaires. Cependant, au fil des ans, les méfaits de la pollution atmosphérique se sont imposés, non pas en concurrence avec le tabac mais en appui avec la lutte contre cet autre fléau. Il est intéressant de constater que la stratégie de communication utilisée par les découvertes récentes sur les niveaux de particules fines à Paris les a, par souci pédagogique, assimilées au tabagisme passif.

Les effets sanitaires des polluants font l'objet d'une communication régulière.

Seules les informations diffusées au moment des épisodes de pollution ont été retenues dans ce travail, alors qu'à l'occasion des stratégies de

communication des grandes études épidémiologiques, le journal a pu retranscrire leurs résultats.

Les premiers articles sur les pointes, qu'elles soient hivernales ou estivales, reflètent un certain scepticisme quant à la justification sanitaire des dispositifs mis en œuvre. L'appropriation par la société de la nécessité de prendre la qualité de l'air au sérieux est sûrement à mettre en relation avec l'affirmation progressive du lien entre les niveaux de pollution et la dégradation de la santé. Les réactions d'un certain nombre de médecins à l'égard des effets de la pollution seraient inaudibles et impubliables actuellement.

La crainte des pneumologues vis-à-vis de l'amplification médiatique d'un sujet sans objet sanitaire avéré a fait place aux travaux qui ont précisé quel peut être l'impact sanitaire des particules mesurées de plus en plus finement et de leur responsabilité vis-à-vis d'une mortalité prématurée.

Au cours de l'hiver 1997, lors d'un épisode présentant des niveaux élevés de dioxyde d'azote, *Le Progrès* ouvre ses colonnes aux propos d'un pédiatre qui a été assailli par les appels : « Des parents inquiets qui lisent trop le journal ou écoutent trop la radio », plaisante le médecin qui affirme : « En tout cas, je n'ai pas examiné dix cas sérieux par jour, depuis le début de l'alerte... Certes, j'ai vu des petits nez qui coulent et j'ai diagnostiqué quelques otites. Mais pas beaucoup plus que d'habitude. Les bronchites n'ont pas davantage augmenté que les bronchiolites. En revanche, certains de mes petits patients fragiles ont eu des crises d'asthme. Les plus atteints d'entre eux sont d'ailleurs des enfants qui étaient nés prématurément ». Il conclue son propos par une interrogation : « L'épidémie de grippe qui a frappé durement en décembre petits et grands, aurait-elle rendu ses victimes plus perméables aux conséquences de la pollution atmosphérique ? »

Dans l'édition lyonnaise du 6 mars 1999, un pneumologue déclare, en faisant preuve d'un certain scepticisme quant aux effets de la pollution atmosphérique : « s'il existe un parallélisme évident entre pollutions urbaines et maladies respiratoires, la saison en cours n'aura pas été plus dramatique que les hivers précédents. Et malgré les apparences, il n'a pas constaté jusque-là d'augmentation significative de cas relevant de la faculté. De là à penser que le citoyen s'habitue... »

Les premières alertes au moment des épisodes d'ozone sont accueillies avec un scepticisme évident par les médecins et spécialement les pneumologues auxquels le journal donne la parole le 10 septembre 1997 : « Des cas extrêmes », selon Raoul Harf, pneumologue, qui pense qu'il n'y a pas là de quoi « terroriser les foules – On est en train de créer un problème qui n'existe pas ». À l'instar de la plupart de ses confrères, le docteur Raoul Harf, praticien hospitalier à Lyon, n'est pas loin de penser que la pression médiatique concernant la pollution de l'air est tout à fait démesurée. « Le débat est intéressant sur le plan politique, mais il doit être relativisé sur le plan scientifique. La chaleur a tué sans doute plus de monde cet été, à commencer par Jeanne Calment, que la pollution. Il n'y a eu, ni en consultation, ni en hospitalisation, un seul cas qu'on puisse attribuer aux pics de concentration d'ozone constatés à Lyon en août. Même si la pollution est effectivement un facteur de morbidité dans certaines situations extrêmes, elle reste un phénomène marginal qui ne joue guère sur la durée de vie. Elle constitue à ce titre un danger sanitaire modéré, qui n'a rien à voir par exemple avec l'effet du tabagisme », affirme le pneumologue.

Une étude, menée entre 1985 et 1990 à Lyon, estime ainsi à une cinquantaine le nombre de victimes annuelles qu'on peut lui attribuer ! Elle conclue que : « la pollution atmosphérique ne tue pas mais elle peut aggraver l'état de santé de personnes déjà fragilisées ».

Dès 1997, la DDASS entreprend une étude pilote avec une vingtaine de pédiatres qui sont sollicités pour répondre aux questions portant sur 2 000 enfants de la région lyonnaise. L'objectif consiste à comparer l'état de santé de ceux qui sont particulièrement exposés à la pollution atmosphérique avec l'état de ceux qui ne le sont pas à l'intérieur comme à l'extérieur de la Communauté urbaine de Lyon.

Les hésitations du monde médical sont en discordance totale avec un sondage IFOP dont *Le Progrès* a rendu compte le 18 août 1997. En effet, 82 % des personnes interrogées pensent que la pollution atmosphérique constitue « une menace plutôt grave ou très grave » pour leur santé. Ce sondage IFOP a été réalisé par téléphone les 21 et 22 août auprès de 953 personnes représentatives de la population âgée de 18 ans et plus. « Plus de huit Français sur dix pensent que la pollution atmosphérique constitue 'une

menace plutôt grave ou très grave' pour leur santé, selon un sondage IFOP réalisé pour le dernier numéro de *L'Évènement du Jeudi*. Les Français sont aussi 64 % à faire confiance au ministre de l'Environnement, Dominique Voynet, pour 'proposer des solutions afin de lutter contre la pollution' de l'air. Sur une palette de propositions, 29 % des personnes interrogées préfèrent donner 'la priorité absolue aux transports en commun' et 25 % privilégient le développement du 'feroutage' (transport des camions par rail sur de longues distances). L'interdiction des voitures dans le centre des villes arrive en troisième position (18 %), suivie à égalité (12 %) de la circulation alternée (plaques paires un jour, impaires le lendemain) et de la restriction de l'utilisation du Diesel. »

En 2009, le discours a changé, comme le montre cet article du 16 janvier 2009, les connaissances sur les effets des particules sur la santé ont progressé : « Il y a dix ans, on parlait beaucoup du dioxyde de soufre et de l'ozone mais aujourd'hui on sait qu'ils sont plutôt moins nocifs que les particules », explique le Pr Jean-François Cordier, chef du service de pneumologie de l'hôpital Louis-Pradel. Les particules représentent « la moitié des décès anticipés dus à la pollution atmosphérique, soit 380 000 décès anticipés en Europe et dix mois d'espérance de vie en moins pour un Européen », explique Marie-Blanche Personnaz. Néanmoins, les pneumologues restent méfiants par rapport à un usage abusif des statistiques dans la mesure où, selon eux, les particules ne tuent que les personnes fragiles : « Le risque peut être mis en évidence à l'échelle des populations mais il est difficile au niveau de l'individu ou même d'une agglomération comme Lyon », précise le Pr Cordier. « Ainsi, si les urgences de l'hôpital Edouard-Herriot ont connu un pic de fréquentation en raison du froid, il ne s'agissait pas de pathologies liées à la pollution. Les décès interviennent pour l'essentiel chez des patients souffrant déjà de maladies cardio-vasculaires et en premier lieu de BPCO (ndlr : broncho-pneumopathie chronique obstructive) », explique Jean-François Cordier. « Selon l'Institut de veille sanitaire, le risque relatif de décès pour causes cardio-vasculaires est augmenté de 8 % dans l'agglomération lyonnaise pour une augmentation de 10 microgrammes par mètre cube des niveaux de particules grossières. Cette pollution peut aussi avoir des effets néfastes chez les enfants asthmatiques. En tout cas, « ce n'est pas le moment de ne pas suivre un traitement au long cours si on en a un », observe le pneumologue.

Pendant ce même épisode de janvier 2009, dans un autre article, M.-B. Personnaz souligne combien la surveillance de la qualité de l'air s'appuie sur des arguments sanitaires : « Les associations de mesures de l'air de la région mènent actuellement un programme pour mieux connaître la composition de ces particules fines. À même taille, elles peuvent avoir des effets très différents car certaines combustions sont associées à des cancérigènes ».

La réticence exprimée par les médecins s'est atténuée, et le lien entre la pollution chronique et les excès de décès prématurés n'est plus à démontrer depuis la publication, non pas au moment des pointes, des résultats des grandes études épidémiologiques internationales, APHEA et APHEKOM.

Lors de l'épisode de mars 2014, un article du *Progrès* du 12 mars rappelle les indications données par le CIRC : « Reconnue cancérigène par le Centre international de recherche sur le cancer, la pollution atmosphérique serait responsable de 223 000 décès par cancer du poumon dans le monde en 2010. En France, la pollution serait responsable de 42 000 décès prématurés chaque année, selon l'OMS (Organisation mondiale de la santé). Les particules sont considérées comme le polluant atmosphérique le plus nocif pour la santé humaine par l'Agence européenne de l'environnement. En pénétrant dans les ramifications les plus profondes des voies respiratoires, les particules fines peuvent provoquer des crises d'asthme, des allergies, des maladies respiratoires ou cardio-vasculaires. Cette pollution expose à un risque accru d'infarctus chez les personnes prédisposées. À Lyon, l'espérance de vie serait augmentée de six mois si les seuils recommandés par l'OMS étaient respectés pour les particules fines, selon l'étude Aphekom. L'exposition aux particules pendant la grossesse augmenterait également le risque de faible poids (moins de 2,5 kg) à la naissance. L'exposition maternelle aux particules fines et au dioxyde d'azote, en particulier au 3^e trimestre de la grossesse induirait par ailleurs un déficit en vitamine D. Cette exposition combinée au dioxyde d'azote et aux particules pendant la grossesse et la première année de vie serait aussi un facteur de risque d'autisme. »

La plupart des articles analysés diffusent les trois grandes catégories de messages identifiées. Ceux-ci s'appuient largement sur des considérations sanitaires ; ils ne s'adressent pas unique-

ment aux personnes sensibles auxquelles il est recommandé de prendre des précautions au cours de ces jours particuliers.

Les messages diffusés par la presse au cours de ces épisodes de forte pollution

Les alertes issues de la loi sur l'air introduisent les épisodes d'ozone que la population découvre avec étonnement. Ce scepticisme est en phase avec le discours des pneumologues présenté ci-dessus ; en revanche, lorsque les alertes liées aux épisodes de particules se multiplient, les allusions au chauffage, au froid et à la circulation automobile paraissent mieux comprises.

Les premiers épisodes de pollution par l'ozone surprennent, les articles ont alors une vocation pédagogique. En effet, le lien entre la santé, la circulation automobile et la persistance de l'épisode n'est pas toujours bien compris par les habitants. Dès 1997, l'alerte urbaine est critiquée par un pneumologue interviewé : « Ce système d'information, premier pas vers une responsabilisation du public, n'est pour l'instant accompagné d'aucune mesure concrète destinée à lutter efficacement contre la pollution. Il présente surtout deux inconvénients : d'une part, il focalise l'attention sur les milieux urbains, laissant ainsi croire que la campagne bénéficie d'une atmosphère plus saine, alors qu'elle n'est en réalité pas à l'abri des caprices de la météo : 'on trouve la pollution en ville parce qu'on la cherche' », ironise l'interlocuteur. D'autre part : « il accentue l'idée de catastrophe tout en camouflant d'autres problèmes ».

La présentation des alertes liées à l'ozone est toujours difficile car ce polluant ne répond pas au discours habituel sur les sources de pollution : l'ozone est un polluant dont la répartition spatiale étonne. Le 3 juillet 2010, « L'ozone est un polluant à part », explique Mario Duval, ingénieur d'étude à l'Air de l'Ain et des pays de Savoie, « il se forme lorsqu'un important rayonnement solaire provoque des réactions chimiques complexes avec les masses d'air polluées. »

En outre, les niveaux d'ozone, polluant secondaire, n'ont pas de relations directes avec les émissions de pollution : « Les Lyonnais l'ignoraient, mais ils ont de la chance. Alors que la ville était cet été écrasée sous la chaleur, avec des

températures oscillant entre 30 et 35°, soit les plus importantes relevées dans l'hexagone, Lyon était alors la seule grande ville de la région où les pics de pollution à l'ozone restaient inférieurs au seuil d'information et de recommandations malgré la présence d'une autoroute traversant la ville avec son lot de bouchons aux entrées sud et nord du tunnel de Fourvière et de nombreuses entreprises situées dans la vallée de la chimie. Alors que les départements limitrophes affichaient des taux extrêmement importants comme en Isère ou dans la Drôme, tant en milieu urbain que rural. Que le taux était limite dans les départements alpins, dans le Chablais ou le massif des Aravis. Le premier dimanche du mois d'août, la pollution a pourtant atteint un maximum de 196 microgrammes par mètre cube au cœur de Lyon, il était de 191 à Ternay, au sud de l'agglomération lyonnaise. Un jour où la circulation est moins intense, l'activité économique ralentie. Au début du mois d'août, la chaleur était constante, le vent inexistant et malgré tout, la pollution semblait diminuer. Alors qu'elle augmentait partout ailleurs ».

Les interdictions prises ne paraissent pas s'imposer : en juillet 2004, en annonçant les recommandations d'usage indiquées par la préfecture, le journaliste se permet ce commentaire : « Donc, dur dur, pendant ce week-end de grand chassé-croisé des juilletistes et des aoûtistes sur les routes des vacances. »

En août 2004, un commentaire sur la levée du dispositif préfectoral insiste sur le soulagement des populations et va à l'encontre de la pérennisation des bons gestes adoptés au cours des épisodes de forte pollution : « la situation s'est améliorée durant la journée d'hier, grâce à l'activité orageuse... Du coup, le niveau d'information et de recommandations n'est plus atteint ». Selon un communiqué de la préfecture, « les personnes sensibles peuvent reprendre une activité normale » et l'on peut « de nouveau utiliser solvants et peintures ». On peut enfin « circuler comme d'habitude », le communiqué rappelant toutefois « qu'une utilisation citoyenne de son véhicule peut largement contribuer à limiter les risques d'apparition d'une nouvelle période de pics de pollution ».

Le discours sur la pollution liée à l'ozone est encore mal approprié, il reprend souvent un discours sur les particules hivernales ou sur l'ambroisie. En août 2004, l'attention est attirée sur les pollens qui « parlent » sans doute plus aux

populations que l'ozone : « Par chance, il y a actuellement peu de pollens dans l'atmosphère, ce qui amplifierait le phénomène ». Ce type de pollution invisible, survenant au cours des belles journées ensoleillées et chaudes, est contre-intuitif ; les journalistes essaient de le relier à des éléments plus sensibles : canicule, ambroisie, pollens.

Les précautions à prendre au cours d'un épisode d'ozone peuvent être confondues avec celles qui encouragent à résister à la canicule : le 25 juin 2005, le journal, en complément du signalement de la communication préfectorale sur le dépassement des seuils d'ozone, ajoute que : « la cellule du plan canicule n'a pas eu à déplorer hier de conséquences sanitaires graves, les pompiers du département ont néanmoins enregistré un plus grand nombre d'interventions pour venir en aide à des personnes en difficulté à cause de la chaleur ».

Un des arguments pour présenter les mesures contraignantes liées à l'ozone consiste à assurer que « la plupart des grandes villes européennes sont concernées par ce type de pollution » (23 août 1997).

Certains articles détaillés, comme celui du 13 juillet 2010, font état de l'étendue de la pointe : « Concrètement, un pic de pollution atmosphérique a débuté dans le sud et l'ouest de la région Rhône-Alpes et s'est étendu jeudi. En ville, mais aussi à la campagne. L'ozone n'est en effet pas directement émis par les activités humaines, et n'est donc pas nécessairement plus présent dans l'air urbain : avant que le rayonnement solaire ne provoque la transformation chimique de polluants en ozone, les masses d'air pollué se déplacent et les taux d'ozone les plus élevés sont donc relevés en périphérie des villes ».

L'article continue en insistant sur la dimension spatiale de l'épisode et sur les différences entre la ville et la campagne : « Ainsi Bourg, ses alentours et la Dombes sont victimes du déplacement de la pollution lyonnaise et on y observe des concentrations importantes d'ozone. Le pays de Gex est moins exposé, la pollution de Genève se déplaçant majoritairement vers la Haute-Savoie ».

Si les dispositifs imposés au moment des épisodes liés à l'ozone ont du mal à s'imposer, les communiqués, issus de la préfecture et souvent relayés par les AASQA, formulent des recommandations.

Des dispositifs d'urgence sont mis en place : les restrictions imposées à la circulation au cours des épisodes de pointe ont progressivement monté en puissance. Alors qu'en 1997, la presse se fait l'écho d'une certaine réticence vis-à-vis des contraintes, progressivement la limitation généralisée s'impose, même si elle n'est pas toujours respectée.

En janvier 1997, Paul Bernard, le préfet de Région, en liaison régulière avec Corinne Lepage, ministre de l'Environnement, a pris pour la première fois en France des mesures restreignant la circulation. Il a décidé d'interdire aux poids lourds de plus de 7,5 tonnes en transit d'emprunter l'axe A6/A7 via le tunnel de Fourvière entre Anse et Ternay. Cette décision est qualifiée de courageuse, mais l'article s'empresse d'ajouter « qu'elle ne présage en rien de celle qui sera prise à titre définitif sur la traversée de la région lyonnaise par ces fameux poids lourds mais qu'elle irrite d'ores et déjà les usagers de la rocade Est ».

Dès octobre 1997, alors que Paris a mis en place une première application des mesures d'urgence avec une journée de circulation alternée, Lyon se positionne par rapport à cette décision qui, selon les élus et techniciens, ne s'impose pas dans le contexte lyonnais, bien différent de celui de Paris. « Le principe même de cette mesure n'est pas décidé entre Rhône et Saône. Qui payerait alors la gratuité. Si une pollution d'intensité identique survenait prochainement à Lyon, il est assez peu probable que le préfet décrète la mise en action d'une mesure similaire. L'agglomération lyonnaise ne dispose toujours pas de plan arrêté de lutte contre la pollution atmosphérique. Ce qui ne veut pas dire pour autant qu'elle se désintéresse du problème... La gratuité des transports en commun qui est associée à cette mesure demeure par ailleurs toujours posée. En effet, la France entière paie pour la gratuité des transports en commun à Paris. Mais en province, et donc dans l'agglomération lyonnaise, qui financerait les pertes de recettes ? L'État, les collectivités locales, l'exploitant du réseau ? Le débat est toujours ouvert ».

Le plus souvent, les articles dépouillés transfèrent des recommandations

Les recommandations diffusées dans les

articles : souvent les conseils prodigués sont accompagnés d'une description de l'événement en pensant qu'une meilleure compréhension de la situation est nécessaire pour que les habitants s'approprient les recommandations et les mettent en œuvre : en décembre 2007, l'agglomération de Lyon connaissait un épisode intense de pollution par les particules en suspension, l'article du *Progrès* précise que : « les polluants provenaient en majorité du chauffage, de l'industrie et du trafic automobile. Leur formation et leur accumulation ont été favorisées par un temps anticyclonique froid et stable ».

Cependant, dans les recommandations citées, la distinction entre les messages destinés aux personnes sensibles ou fragiles qui doivent se préserver et adopter une stratégie d'évitement et les recommandations destinées à l'ensemble de la population pour participer à la maîtrise des émissions, n'est pas claire. Cette intrication des recommandations est particulièrement nette en août 1999, lorsque COPARLY fait passer des messages classiques : « L'usage du tabac, de produits irritants des voies respiratoires comme les solvants et les peintures est plus que jamais déconseillé pour les personnes sensibles, qui doivent suivre par ailleurs rigoureusement leur traitement médical... Il est recommandé d'éviter d'utiliser son véhicule personnel, de réduire sa vitesse, de pratiquer le covoiturage, d'utiliser les transports en commun et de réduire l'usage professionnel et domestique des solvants et des peintures ».

À partir de 2009, les recommandations sur le chauffage accompagnent les alertes prononcées lors des épisodes liées aux particules. Le 10 janvier 2009, au cours d'un épisode présentant des niveaux de particules « qui n'avaient pas été enregistrés depuis 10 ans », les recommandations dépassent le simple discours devenu classique sur la voiture pour attirer l'attention sur le chauffage et, en particulier, sur le chauffage au bois : « La principale d'entre elles est d'éviter au maximum de prendre sa voiture et de privilégier les transports en commun. Pour les particuliers, il est vivement conseillé de ne pas chauffer son domicile à plus de 19 degrés, et d'éviter le chauffage au bois. Réputé plus écologique, il rejette plus de particules dans l'air et pollue plus que les autres types de chauffage ».

Le 13 janvier 2009, un autre article souligne la responsabilité du chauffage au bois car « apparaissant à la faveur du froid, la pollution aux parti-

cules provient à 60 % du chauffage dans l'agglomération lyonnaise dont 85 % est lié au chauffage au bois, selon COPARLY. Il s'agit de chauffages individuels peu performants, et le développement anarchique de ce type de chauffage devient inquiétant », note Marie-Blanche Personnaz qui dénonce d'autres coupables : « Le reste provient du trafic routier, surtout de poids lourds roulant au diesel. Mais les feux de déchets de jardins peuvent aussi provoquer localement une hausse importante de cette pollution ».

Les recommandations sanitaires. Il faut attendre avril 2000 pour que le Haut Conseil de Santé Publique définisse des messages sanitaires à diffuser aux personnes sensibles et vulnérables en cas de pic de pollution. Cependant, dès 1997, François Samard, journaliste, rapportait les recommandations du préfet : « Le préfet de région a d'autre part rappelé que l'arrêt des activités sportives de plein air dans les établissements scolaires restait d'actualité. Une mesure qui devrait inciter les parents à ne pas emmener, de leur côté, leurs enfants gambader dans les allées du parc de la Tête d'Or, comme on a pu le constater notamment mercredi. Les enfants, les personnes âgées et celles souffrant de maladies respiratoires ou cardio-vasculaires sont en effet, à des titres divers, les plus exposés aux risques de la pollution atmosphérique ».

En juillet 2004, voici quelles sont les recommandations diffusées par la préfecture : « notamment éviter l'utilisation de la voiture et réduire la vitesse de 20 km/heure. Attention aux répercussions sur les personnes sensibles, âgées, présentant des pathologies chroniques cardiaques ou respiratoires, petits en bas âge ».

Parfois, comme le 1^{er} février 2011, le journaliste accompagne les recommandations de commentaires plus goguenards : « éviter les cheminées à bois (sauf en cas de chauffage principal), limiter l'usage des véhicules, et réduire les vitesses sur autoroute. Plus facile à dire qu'à faire... D'autant que, hier soir, l'information n'était pas relayée sur les panneaux à messages variables des voies rapides (A47, RN88 ou A72). Ni sur les sites Internet officiels de la préfecture et de la direction interdépartementale des routes... »

Ces recommandations paraissent plus crédibles si elles s'appuient sur des éléments sensibles : le chimiste Gautier, membre de l'Académie de médecine et du Conseil d'hygiène de la Seine, en 1901, pointe le décalage entre la per-

ception du public et celle du savant : « Je sais bien que le public, la presse et l'Administration elle-même se préoccupent toujours davantage de ce qui est immédiatement sensible, de ce qui ajoute visiblement aux inconvénients de la vie en commun, de ce qui fait crier, en un mot, que de ce qui ne se voit pas, de ce à quoi nous sommes habitués depuis longtemps. Les plaintes du public et des journaux se produisent à propos des fumées intermittentes, noires et prolongées, bien plus qu'en raison du dégagement continu dans l'air qu'on respire directement de doses énormes de gaz toxiques dont les effets sur la santé publique ne sont pas immédiatement appréciables^d. » Contrairement à cette situation, la médiatisation des alertes décrétées dans le cadre de la loi sur l'air, veulent communiquer sur l'invisible, et c'est sans doute ce qui explique leur difficile médiatisation.

Pourtant, les personnes asthmatiques ressentent physiquement les effets de la pollution au sein même de la ville : « C'était irrespirable. Je ne pouvais pas sortir en ville sans mon broncho-dilatateur. » Certains parleront peut-être d'une réaction psychosomatique aux annonces faites dans les médias. Mais la souffrance physique était bien réelle » en août 2004. D'autres communiqués mettent l'accent sur l'apparition d'un voile de pollution.

La présence de symptômes physiques légitime les dispositifs, comme en janvier 2008 : « Des odeurs nauséabondes et des picotements dans les yeux. Hier, les Lyonnais ont ressenti à des degrés divers un nouveau pic de pollution atmosphérique. Le niveau d'alerte a même été activé par la préfecture sur toute l'agglomération pour une pollution aux particules fines ».

Ou bien, lors d'un épisode de pollution par l'ozone, le 3 juillet 2010, *Le Progrès* recommande : « il est conseillé de limiter les activités sportives, les inhalations de solvants et tabac, spécialement pour les personnes sensibles (enfants, personnes âgées, asthmatiques, allergiques, cardiaques). Chacun est également appelé à restreindre ses déplacements, à préférer les transports en commun, la marche à pied ou le vélo. » Au cours des périodes de dépassements de seuils, comme le 3 avril 2013, le mélange entre les informations sanitaires et les prescriptions à respecter en cas de persistance de niveaux de particules élevés, est évident et souligne combien l'appel à la protection de la santé est un levier sur lequel les autorités s'appuient pour présenter

le bienfait des mesures à prendre contre la pollution atmosphérique : « Ses conséquences sur la santé sont parfois graves : irritation des voies respiratoires, bronchites chroniques, maladie cardio-respiratoire pouvant entraîner des décès. Les personnes les plus sensibles sont les enfants, les personnes âgées, asthmatiques, allergiques, insuffisants respiratoires et cardiaques. Mais elle (la pollution) reste pourtant difficilement visible et seuls les appels à réduire sa vitesse en rappellent la dangerosité... 50 % de cette pollution aux particules fines ont pour origine le chauffage, celui au bois d'abord ; 25 % sont dus à l'industrie, le reste est lié au trafic routier et particulièrement au diesel. »

L'alerte ne se contente pas de diffuser un message pour préserver les personnes sensibles, elle est utilisée également pour diffuser des recommandations qui pourraient être pérennisées.

Les élus s'expriment peu

Les articles analysés au moment des pointes de pollution mettent davantage en scène la préfecture, qui donne souvent la parole aux AASQA, que les élus. Rares sont les interventions d'élus, dans la presse, pour profiter de l'occasion offerte par ces épisodes pour faire passer des messages permettant d'encourager des modifications pérennes. Pourtant, en 1997, Raymond Barre constatait : « L'important n'est pas de prendre des mesures contraignantes les jours les plus difficiles, il est d'éviter de se trouver dans de telles conditions ». Les pics de pollution peuvent servir de prétexte pour encourager et accélérer la mise en œuvre d'outils de planification destinés à réfléchir sur des mesures qui seraient efficaces sur le long terme. On peut lire, en 1999 : « dans le cadre de la lutte contre la pollution sur le long terme, le préfet a récemment installé la commission du Plan régional pour la qualité de l'air. Car il ne faut pas se méprendre : si les pics de pollution sont spectaculaires, c'est bien la pollution de fond quotidienne qui représente le mal le plus insidieux qu'il convient de combattre ».

D'ailleurs Raymond Barre avait déclaré précédemment que : « la ville de Lyon doit participer, aux côtés de l'État, à la commission chargée d'élaborer un plan opérationnel de lutte contre la pollution atmosphérique, dans le cas de situations anormales ». Ce positionnement de Lyon par rapport à Paris se retrouve dans la gestion de la crise liée à la pollution du mois de mars 2014.

Dès 1997, à Lyon, on retrouve l'utilisation par les élus, Raymond Barre en l'occurrence, de la loi sur l'air pour faire accepter les travaux déjà élaborés, avec pour objectif de promouvoir les transports en commun en site propre ; l'amélioration de la qualité de l'air n'étant qu'un corollaire : le 22 janvier 1997, *Le Progrès* rend compte du dernier conseil municipal au cours duquel Raymond Barre a expliqué qu'il estimait que l'élaboration du Plan des déplacements urbains et un réseau de transports en commun attractif devaient être les priorités pour lutter contre la pollution. Il a affirmé le rôle prépondérant que peuvent jouer les transports en commun pour « modifier les comportements » et estimé que le Plan des déplacements urbains en voie d'élaboration doit être plus que jamais « la priorité ». « Cette démarche fera de Lyon la première grande agglomération à adopter un tel plan après le vote de la loi sur l'air ».

En 1999, Philippe Ritter, directeur des services d'écologie urbaine de la ville de Lyon, dans un colloque sur l'alerte le 11 juin 1999⁵, déclarait : « les alertes servent à sensibiliser les Lyonnais à l'acuité du problème de la pollution atmosphérique, et à les préparer à accepter les aménagements nécessaires » ; il pensait que la « répétition des situations anormales, défavorables, pénalisantes en termes d'image... constitue une puissante incitation (pour les décideurs) à développer une action pour y remédier ». Il était conscient de l'ampleur de la tâche à accomplir pour améliorer la qualité de l'air à Lyon. Or, des progrès considérables ont été accomplis sur les transports en particulier mais la relation avec la qualité de l'air n'a pas été mise en valeur à l'occasion des pics de pollution ; la sensibilisation des populations a porté sur les aménagements entrepris par la ville de Lyon pour les vélos ou les tramways, par exemple.

Il faut attendre le mois d'août 2005 pour que la ville de Lyon s'exprime sur les dispositifs préfectoraux dont la mise en œuvre ne peut s'appliquer que si elle est reprise dans les plans de circulation de la ville de Lyon. Or cette présentation ne fait pas allusion ni au PPA ni au PDU. Jean-Pierre Forest, responsable du stationnement à la direction des déplacements urbains de Lyon, répond aux questions concernant les mesures d'urgence décrétées par le préfet :

« – Au mois d'août, le stationnement est gratuit sur 2 zones à Lyon. Cette gratuité est remise en cause en cas de pic de pollution ? Effectivement le stationnement est gratuit en dehors de la

Presqu'île. En revanche, la mise en place de loi sur l'air en 1996, pour lutter contre la pollution, impose des dispositions particulières. Si le seuil d'alerte de pollution – de niveau 3 – est atteint, non seulement le stationnement n'est plus gratuit mais le prix horaire est multiplié par 2 pour les 22 000 places de Lyon. Cette mesure implique par conséquent la gratuité du stationnement résident ce jour-là.

- Quelles sont les autres mesures de régulation de la circulation en cas de seuil d'alerte dépassé ? Il y a également la mise en place de la circulation alternée. Les véhicules dont le 1^{er} groupe de chiffres de la plaque d'immatriculation est pair peuvent circuler les jours pairs et vice-versa pour les chiffres des jours impairs. Il existe une dérogation pour les véhicules détenteurs de la pastille verte. L'accès aux transports publics est gratuit ».

Toutefois, le 14 avril 2007, Jean-Louis Touraine, interrogé par François Samard sur les mesures d'urgence, affirme : « Il est évident qu'il faut se préoccuper de la dizaine de pics que l'on peut avoir dans l'année, mais il est avant tout essentiel de faire chuter le niveau de pollution au quotidien ». Cependant, il répond, dans les colonnes du journal, aux questions posées :

« - En cas de pic de pollution, peut-on envisager que la Ville de Lyon décide, comme Paris hier, de rendre gratuit le stationnement résidentiel ?

- Nous avons la chance de ne pas être dans ce cas actuellement mais nous avons connu des pics de pollution l'été. À Lyon, ce type de décision ne pourrait se faire que de manière conjointe avec la préfecture si des seuils critiques étaient atteints justifiant des mesures concernant le stationnement et les transports en commun. Mais le contexte de Lyon est très différent de celui de Paris et la gratuité du stationnement résidentiel n'aurait absolument pas le même impact.

- Pour quelles raisons ?

- Le stationnement résidentiel sur voirie, en raison de son coût attractif de 14 euros mensuels, a beaucoup de succès à Lyon, et le quart, et dans certains arrondissements 40 %, des places est occupé par des résidents. Par ailleurs, à Paris, la totalité des places disponibles en surface sont payantes. Sur l'ensemble de Lyon, trois quarts de celles-ci sont encore gratuites. La mesure ne concernerait donc que 25 % des places dis-

ponibles. Il faut aussi savoir que chaque jour circulent dans Lyon 200 000 voitures d'habitants de la ville mais aussi 400 000 automobiles originaires d'autres communes.

- Quelle est la priorité pour lutter contre la pollution atmosphérique ?

- Il est évident qu'il faut se préoccuper de la dizaine de pics que l'on peut avoir dans l'année, mais il est avant tout essentiel de faire chuter le niveau de pollution au quotidien. Et on peut se féliciter d'avoir réussi à faire baisser, pour la première fois depuis 1945, la part de l'automobile dans les déplacements en 2005 et 2006. C'est un tournant. Nous allons aussi interdire la circulation des camions de livraison les plus anciens, donc les plus polluants dans la ville ».

Le mois d'août 2003 a connu des records de niveaux d'ozone, non pas dans le centre de l'agglomération mais en périphérie, ce qui a justifié la gratuité des transports en commun à Vienne. Ainsi, selon *Le Progrès* du 8 août 2003 : « Nouveaux pics de pollution hier après-midi à Vienne avec 242 microgrammes d'ozone par mètre cube d'air. Face à ce nouvel épisode atmosphérique, la communauté d'agglomération du pays viennois a décidé d'offrir la gratuité des transports en commun pour inciter à laisser sa voiture au garage ».

Conclusion

Ce rapide survol qualitatif de la médiatisation des épisodes fortement pollués permet de mieux saisir quelle a été l'évolution des dispositifs d'alerte mis en œuvre à partir de la loi sur l'air de 1996. L'introduction, par la loi sur l'air, de l'ozone comme polluant susceptible de déclencher des alertes a beaucoup déconcerté les habitants qu'il a fallu convaincre du lien, contre-intuitif, entre les belles journées ensoleillées et la pollution de l'air attribuée aux émissions automobiles. Le lien entre le froid persistant de l'hiver et les particules paraissait plus évident, et les alertes industrielles, en écrêtant les pointes par une réduction des émissions de SO₂ avaient montré leur efficacité.

Les articles examinés rendent compte des messages délivrés, le plus souvent, par la préfecture, relayée pour les explications scientifiques par les ingénieurs des AASQA. Ces messages ont trois objectifs : imposer des mesures temporaires pour limiter les pointes, diffuser les pré-

cautions à prendre par les personnes sensibles et encourager la population à adopter certains comportements vertueux. Les mesures temporaires, imposées par le préfet, consistent essentiellement à limiter la vitesse sur les grands axes. D'après les articles analysés, on sent que l'observation de cette prescription induit un certain scepticisme, et le passage à des dispositifs plus contraignants, tels que la circulation alternée, est très critiqué car « Lyon n'est pas Paris ». Les messages à faire passer pour la protection des personnes sensibles sont hésitants, et le récent arrêté d'août 2014 montre combien ces recommandations sont difficiles à uniformiser, à synthétiser et à stabiliser. Ces incitations qui relèvent d'une stratégie d'évitement sont souvent confondues avec les conseils donnés à l'ensemble de la population pour adopter des comportements plus conformes à la maîtrise des émissions polluantes. Cependant, le passage à des mesures pérennes n'est que rarement évoqué, même par les élus qui n'utilisent pas les alertes pour montrer aux habitants les aménagements effectués pour maîtriser les émissions. Depuis Raymond Barre, qui avait évoqué les PDU, les élus interrogés réagissent sur les mesures d'urgence et ne communiquent pas sur les décisions d'aménagement efficaces sur le long terme.

Les dispositifs d'alerte, comme toutes les politiques en faveur de la maîtrise des pollutions atmosphériques, s'appuient sur des considérations sanitaires. Aux articles teintés de scepticisme des premières années succède une volonté de prendre la question de la pollution atmosphérique au sérieux. Cette transformation de l'opinion publique semble être liée au développement des connaissances sur les effets sanitaires des polluants et spécialement des particules fines ; la pollution atmosphérique ayant été déclarée, en octobre 2013, cancérigène probable par le CIRC (Centre International de Recherche sur

le Cancer), lié à l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Les résultats des grandes études sanitaires font l'objet d'une médiatisation, selon le rythme de la publication des résultats, le plus souvent en dehors des épisodes de pollution. On peut alors se poser la question de l'efficacité des alertes dans le rôle qu'elles ont pu jouer en tant que « lobbying » vis-à-vis de l'opinion publique pour faire changer les comportements. En effet, les sondages effectués à la fin du XX^e siècle montraient déjà l'importance que la population accordait à la pollution atmosphérique comme un problème environnemental complexe majeur en regard duquel les recommandations assez faibles prodiguées par la préfecture pouvaient paraître dérisoires par rapport aux attentes. La politique axée sur les épisodes fortement pollués présente un caractère paradoxal car les recommandations prodiguées pourraient être pérennisées, dans la mesure où les données sanitaires insistent sur le poids de la pollution de fond dans les dommages sanitaires causés par la pollution atmosphérique. Or, les dispositifs mis en place pour écrêter les pointes ne suffisent pas à maîtriser la pollution s'ils ne sont pas repris quotidiennement. Ce paradoxe est renforcé par deux ambivalences des alertes : d'une part, les messages diffusés ne distinguent pas clairement le mal-être sanitaire provoqué par ces niveaux élevés qui doivent attirer l'attention des personnes fragiles sur les précautions à prendre, des actions à mettre en œuvre pour lutter durablement contre la pollution. D'autre part, les alertes provoquées par des causes météorologiques peuvent-elles être levées par des dispositifs permettant la maîtrise temporaire des pollutions ? Cette distinction entre les stratégies d'évitement à encourager pour les personnes sensibles et les « bons gestes » que la population doit s'approprier pour agir sur la pollution, est-elle pertinente ? Tous les individus ne sont-ils pas à la fois victimes et acteurs de la mauvaise qualité de l'air ?

1. Langumier J., La pollution de l'air dans la presse: une représentation « dramatique », Etude de la production des quotidiens régionaux de l'agglomération lyonnaise, *Pollution Atmosphérique* n° 176 , 2002 p. 503-512
2. Sondage IFOP réalisé pour Airparif en octobre 2014 auprès de 500 Franciliens.
3. AASQA (Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) qui a précédé Air Rhône-Alpes.
4. Armand Gautier, « Les fumées de Paris. Influence exercée par les produits de combustion sur l'atmosphère de la ville », *Revue d'hygiène et de police sanitaire*, février 1901, p. 101.
5. *Air pur*, n° 56, 1999, « L'alerte dans le domaine de la qualité de l'air correspond-elle à un risque sanitaire, physique ou médiatique ? »



Adhésion à l'APPA

Commande de la revue *Pollution Atmosphérique*

Climat, Santé, Société

Soutenez la démarche d'ouverture au numérique et à l'accès libre pour tous !

Accès en ligne à l'ensemble des articles parus depuis 1993 :

<http://irevues.inist.fr/pollution-atmosphérique>

*On line access to all papers published 1993 :
<http://irevues.inist.fr/pollution-atmosphérique>*

Commande des numéros spéciaux : www.appa.asso.fr

→ **Je choisis d'être membre de l'APPA et à ce titre je reçois gratuitement le numéro spécial « Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience » :**

je soutiens l'activité éditoriale en ligne en adhérant à l'APPA et je verse :
to promote on line diffusion:

45€ 100 € 250€

Dans le cadre de son activité reconnue d'utilité publique, l'APPA n'est pas assujettie à la TVA et un reçu fiscal vous sera envoyé pour déduire 65% de cette somme de vos impôts

Monsieur, Madame / *Mister, Madam*
Société ou organisme / *Company or Organisation*
Adresse / *Address*
Code postal / *ZIP code* Ville / *City*
Pays / *Country* Tél
Mail@.....

→ **Je commande le numéro spécial 2015 de la revue : " Les épisodes de forte pollution des années 2013 et 2014 : un retour d'expérience "**

♦ France métropolitaine..... 35,00 euros	♦ European Union..... 35,00 euros
♦ Union Européenne..... 35,00 euros	♦ Foreign Countries..... 50,00 euros
♦ Étranger et TOM..... 50,00 euros	

Nombre de numéros commandés, / *Number of subscriptions* :

Adresse où la revue doit être expédiée / *Address where to send the journal* :

.....
.....

(les frais de port sont inclus)

Règlement joint / *Payment enclosed* €

Par chèque en euros à l'ordre de l'APPA / *Cheque (euros) to « APPA »*

Par virement / *Bank transfer* :

IBAN : FR76 4255 9000 1241 0200 3390 184

BIC/SWIFT :

CCOPFRPPXXX

Signature :

Bulletin de commande et/ ou d'adhésion à adresser à :

Ordering Form and Payment to be sent at this Address:

APPA, 10 rue Pierre Brossolette, 94270 Le Kremlin-Bicêtre, FRANCE

Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique
10 Rue Pierre Brossolette – 94270 LE KREMLIN-BICÊTRE
Tel. : + 33 1 42 11 15 00 – Fax : + 33 1 42 11 15 01 – E-mail : revuepa@appa.asso.fr
N° SIRET : 784 361 834 00103

Consultez la revue en ligne :
irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/

I-Revues | Accès rapide aux publications | Contact | Lara | INIST | CNRS

POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Climat, Santé, Société



accueil >

Pollution atmosphérique

Depuis 1958, la revue « Pollution atmosphérique, climat, santé, société » a contribué à l'élargissement des connaissances scientifiques sur la qualité de l'air, ses conséquences sur le changement climatique, ses effets sur la santé et sa prise en compte par la société. Numérisée depuis 1992, plus de 1000 articles sont ainsi disponibles en ligne...

La revue, classée de rang A par l'AERES, est dotée d'un [Comité de rédaction](#) et d'un [Conseil scientifique](#).

Les articles sont publiés en français ou en anglais avec un résumé, des mots-clés et les légendes des figures disponibles dans les deux langues.

Since 1958, the « Pollution atmosphérique, climat, santé, société » journal has been active in the circulation of scientific knowledge concerning air quality, its consequences on climate change, its impacts on health and a growing social awareness. Digitized since 1992, more than 1.000 articles are available on-line... The journal, ranked A by the AERES (Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur), has an editorial board and a scientific committee. Articles are published in English or French. Summaries, key words and illustrations captions are available in both languages.

Recherche

Votre recherche
Rechercher avancée

Index

[Index auteurs](#)
[Index de mots-clés](#)
[Index by keyword](#)

Numéros spéciaux

[Consulter les numéros spéciaux](#)

Numéros en ligne

2014


2013


2012


2011


2010


[Consulter tous les numéros](#)

Informations sur la revue

[Comités](#)
[Recommandations aux auteurs](#)
[Contact](#)

Suivez la vie du site

[Fil RSS](#)

Derniers numéros en ligne

N° 221 Janvier-mars 2014


N° 220 Octobre-décembre 2013


Avec le soutien de



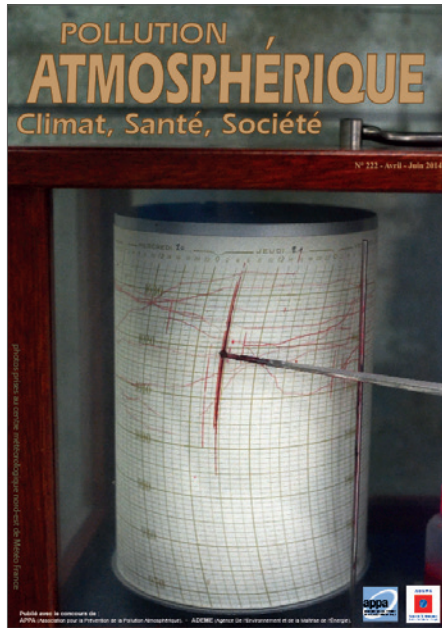
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie | CITEPA | RNSA

Issn électronique 2268-3798
Plan du site | Mentions légales | Édité par Lodel | Accès réservé

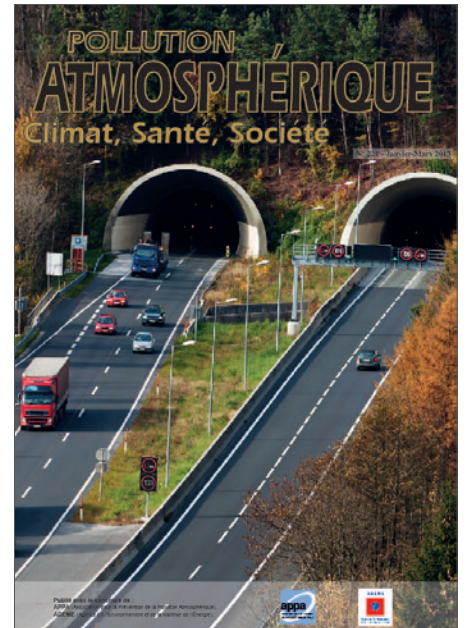
NUMÉROS TRIMESTRIELS



Juin - Décembre 2014



Avril - Juin 2014



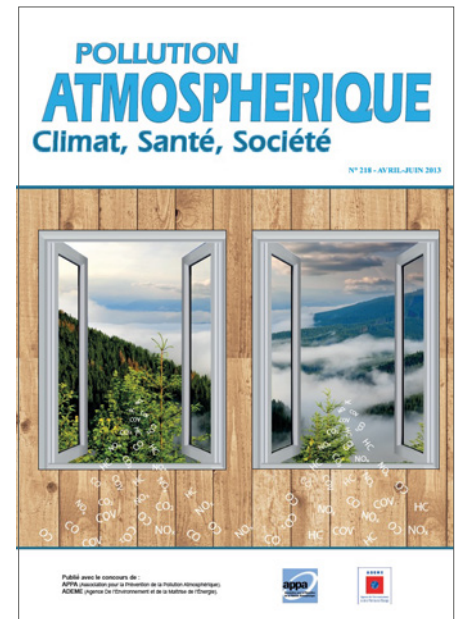
Janvier - Mars 2014



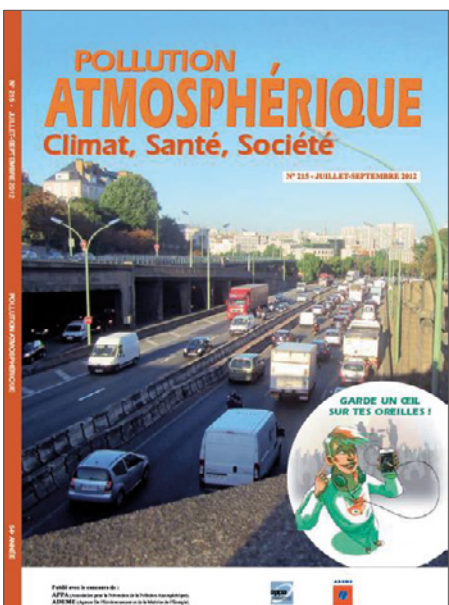
Octobre - Décembre 2013



Juillet - Septembre 2013



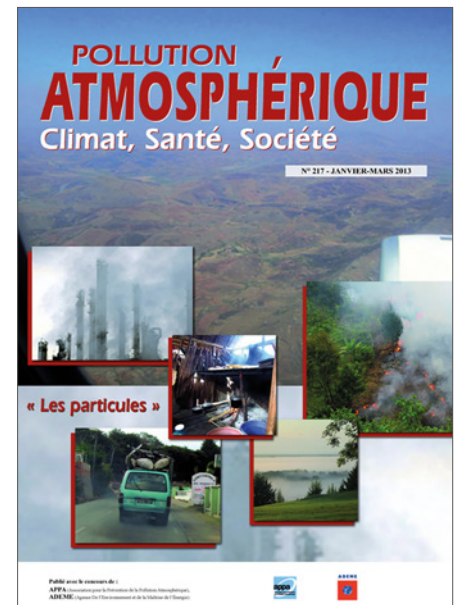
Avril - Juin 2013



Juillet - Septembre 2012



Octobre - Décembre 2012



Janvier - Mars 2013