

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 PM_{10} (particules de diamètre inférieur à 10 μm), les concentrations moyennes annuelles ne doivent pas dépasser la valeur limite de 40 mg m^{-3} . Les concentrations moyennes journalières ne doivent pas dépasser le seuil de 50 mg 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 mg 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 PM_{10} . 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 PM_{10} à 80 mg 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 PM_{10} 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 (PM_{10} 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 mg/m^3 pour les concentrations de PM_{10} 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

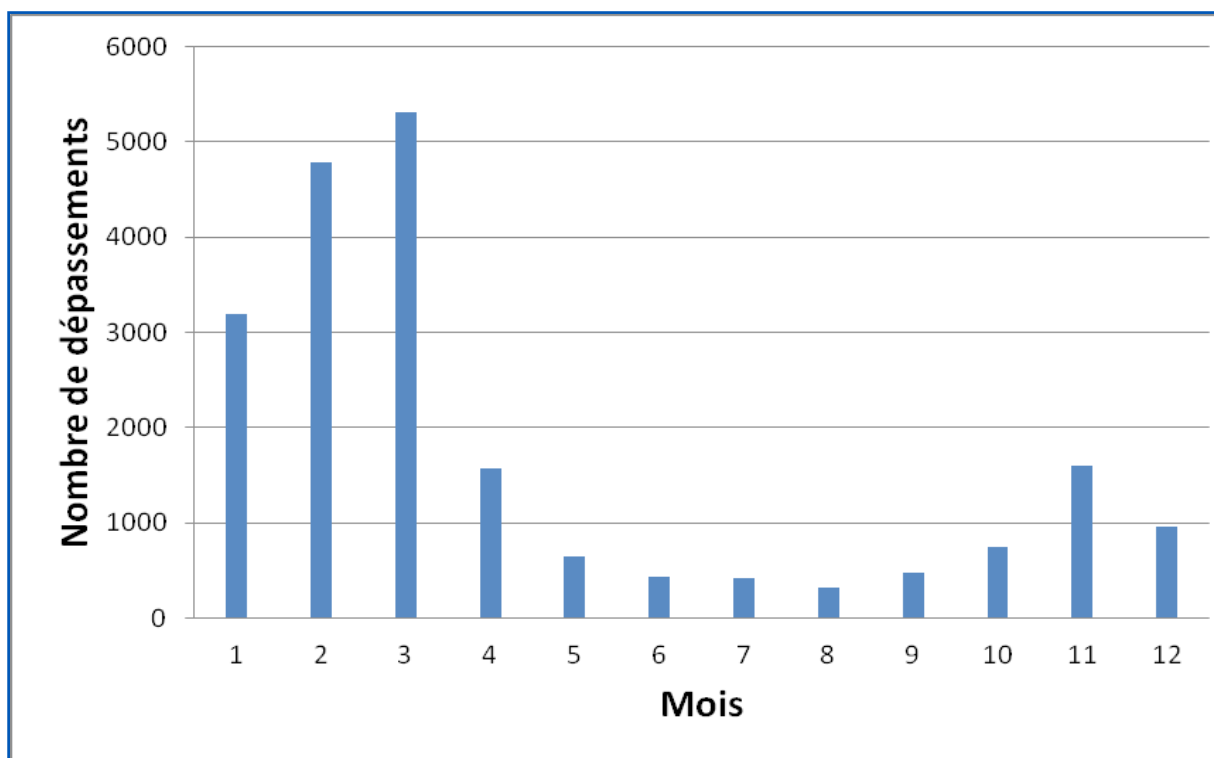


Figure 1.

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

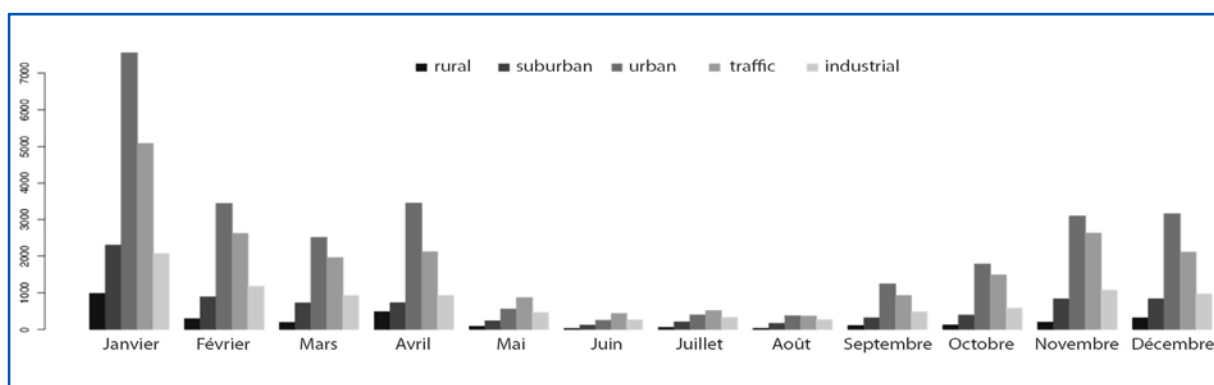


Figure 2.

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

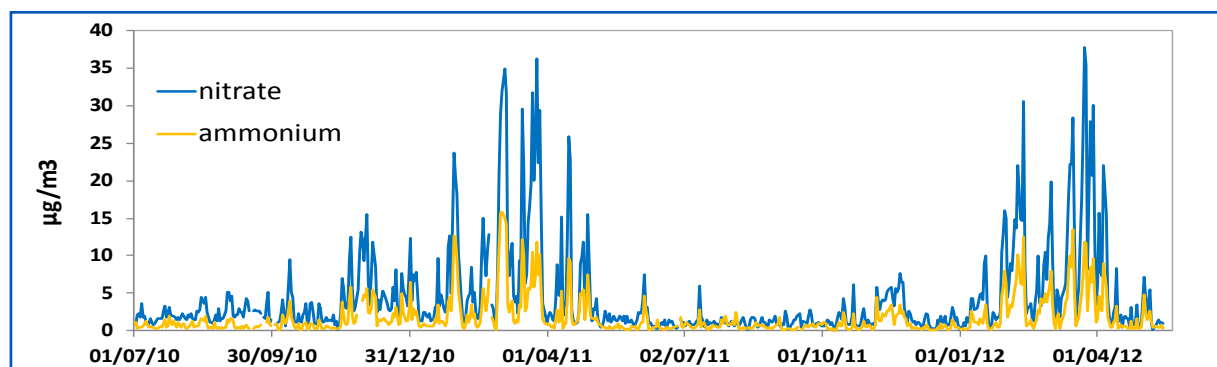


Figure 3.

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,

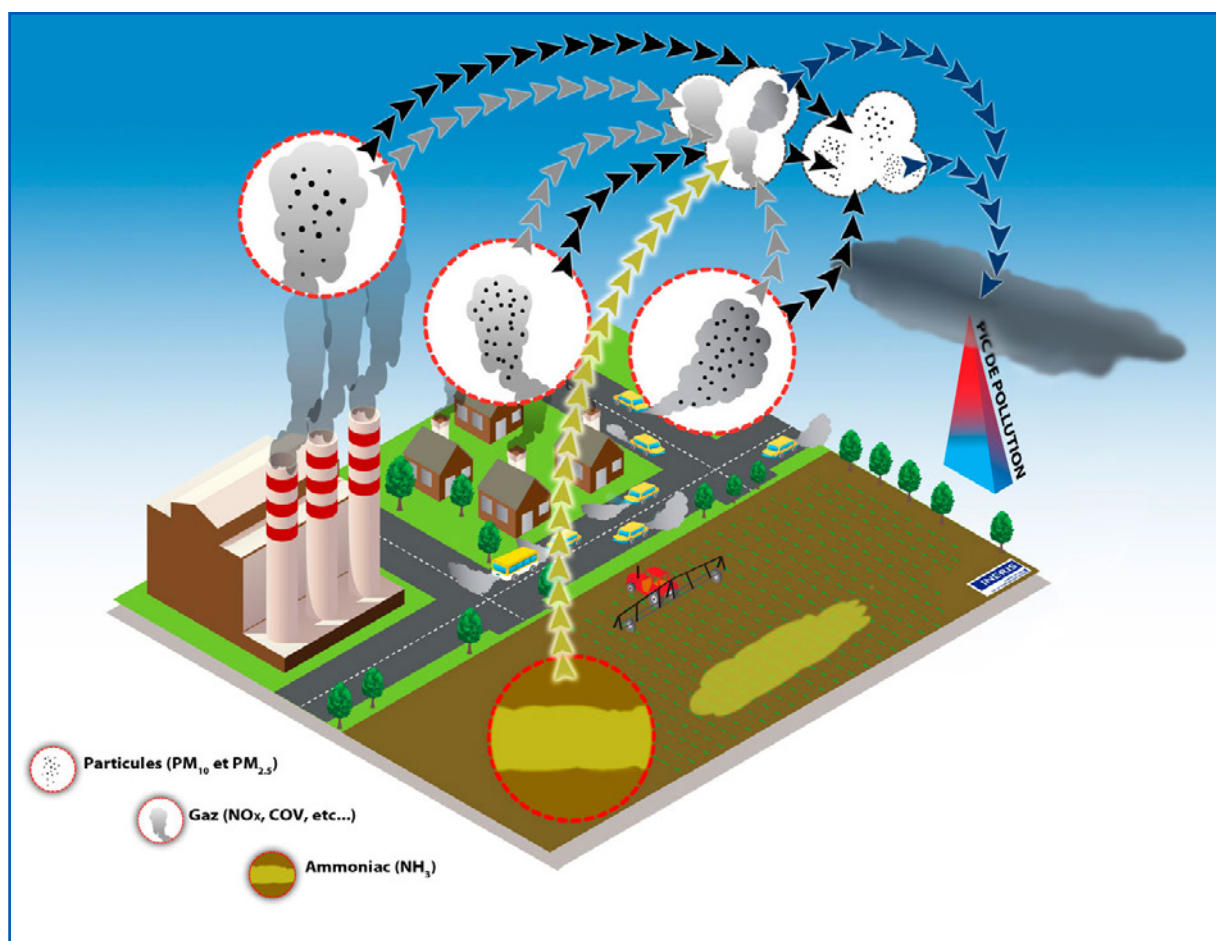


Figure 4.

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

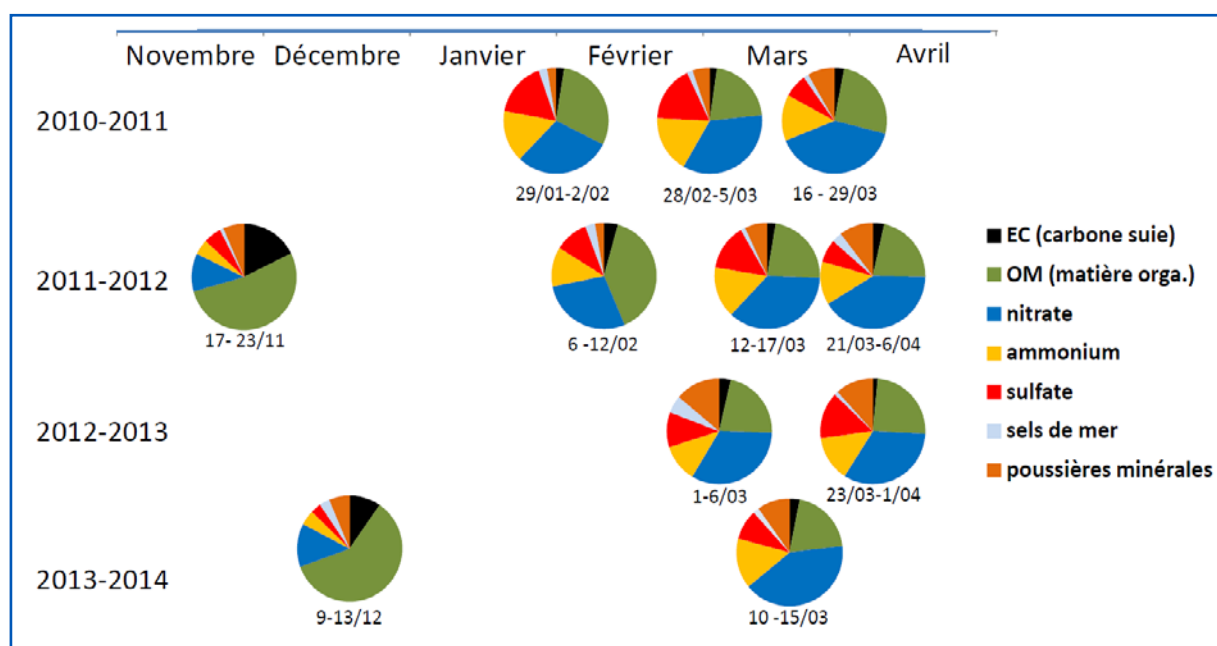


Figure 5.

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).

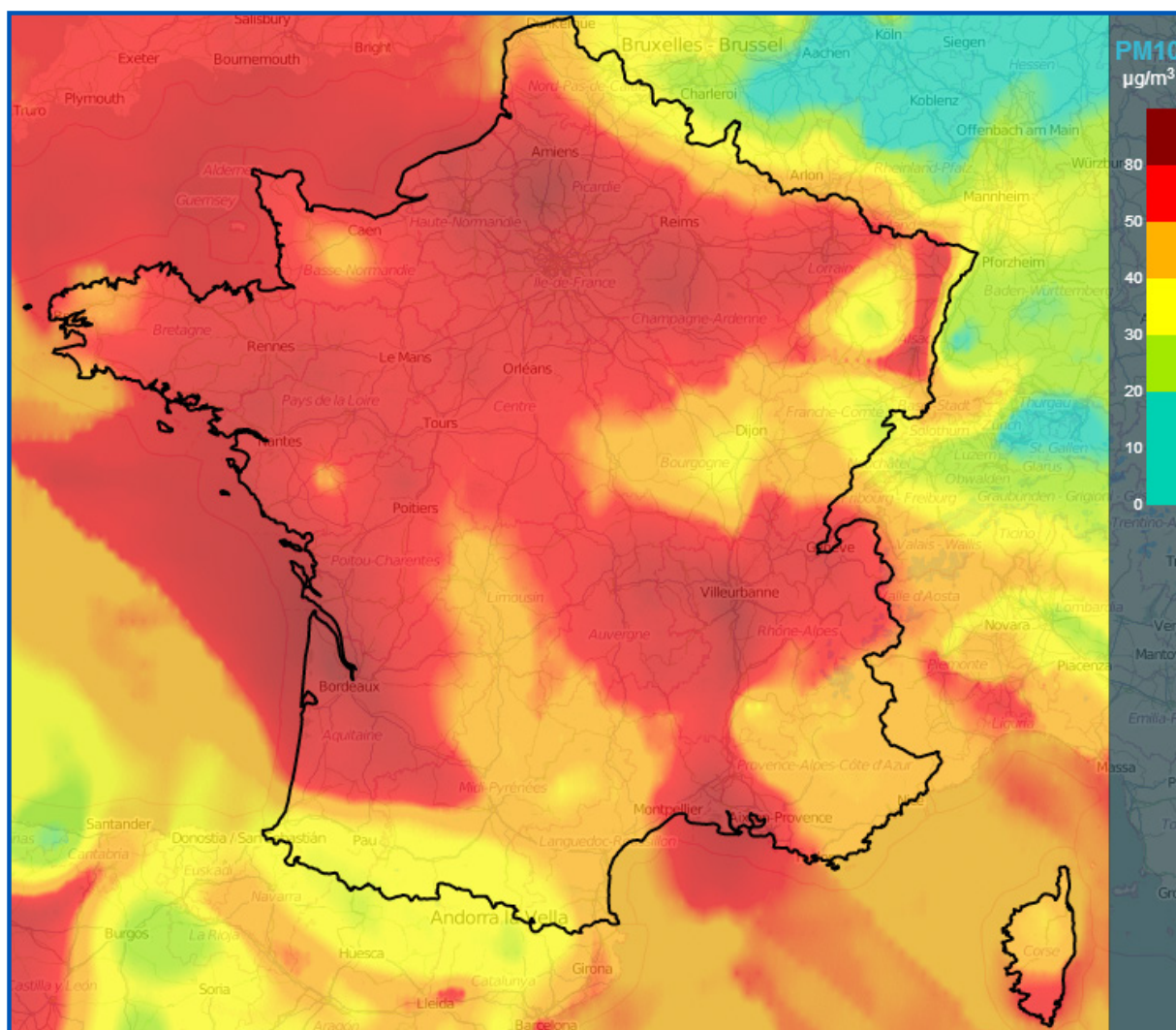


Figure 6.

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 $\mu g m^{-3}$, et quelques dépassements du seuil d'alerte de 80 $\mu g m^{-3}$ 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

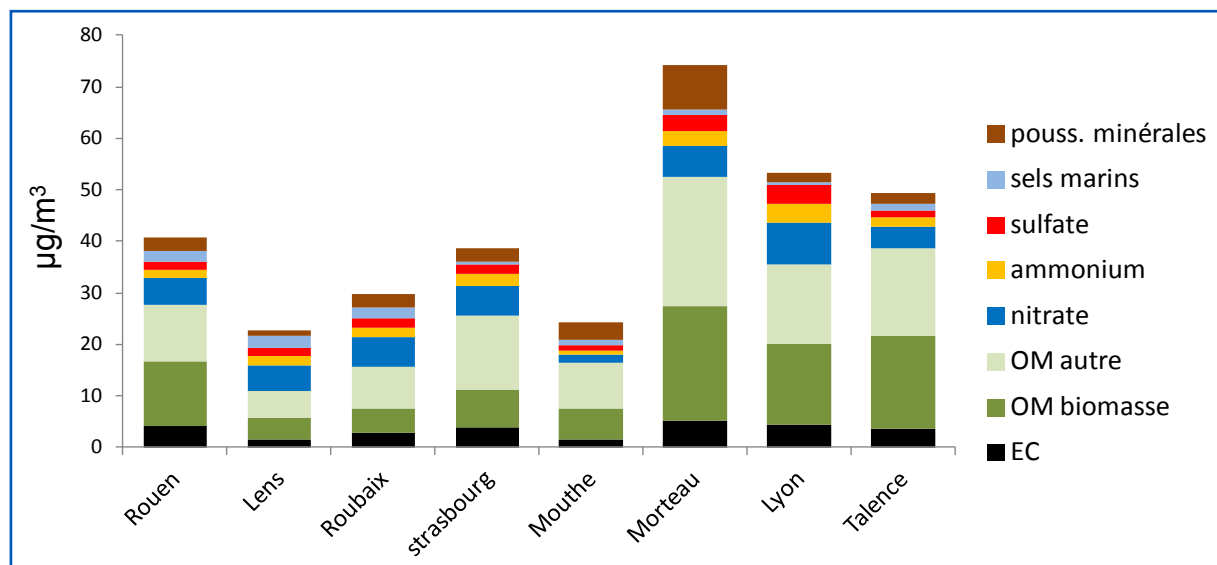


Figure 7.

Analyse de la composition chimique des particules PM₁₀ 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 µg 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 µg m⁻³, et l'ensemble des régions par des dépassements du seuil de 50 µg 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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

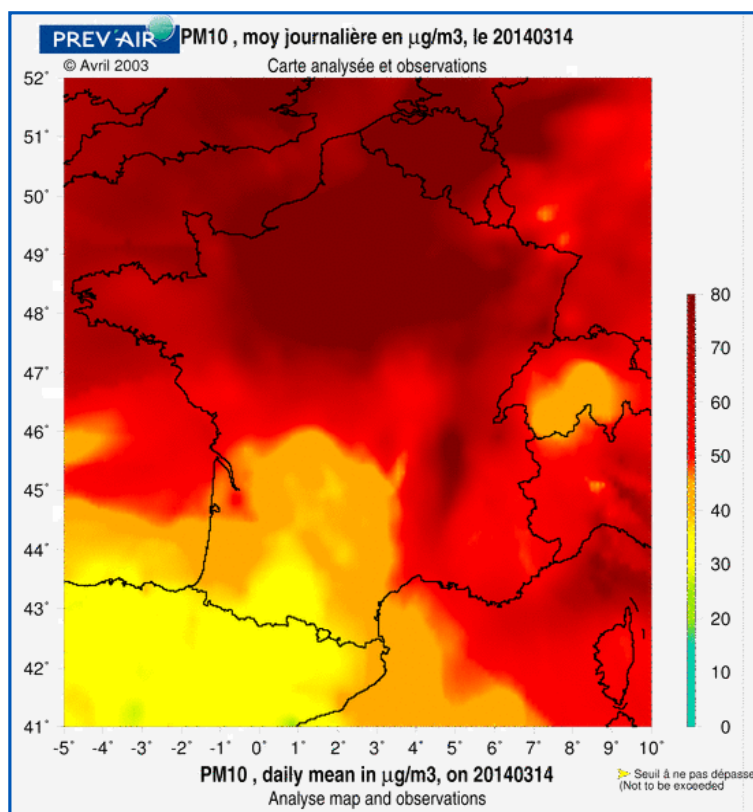


Figure 8.

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

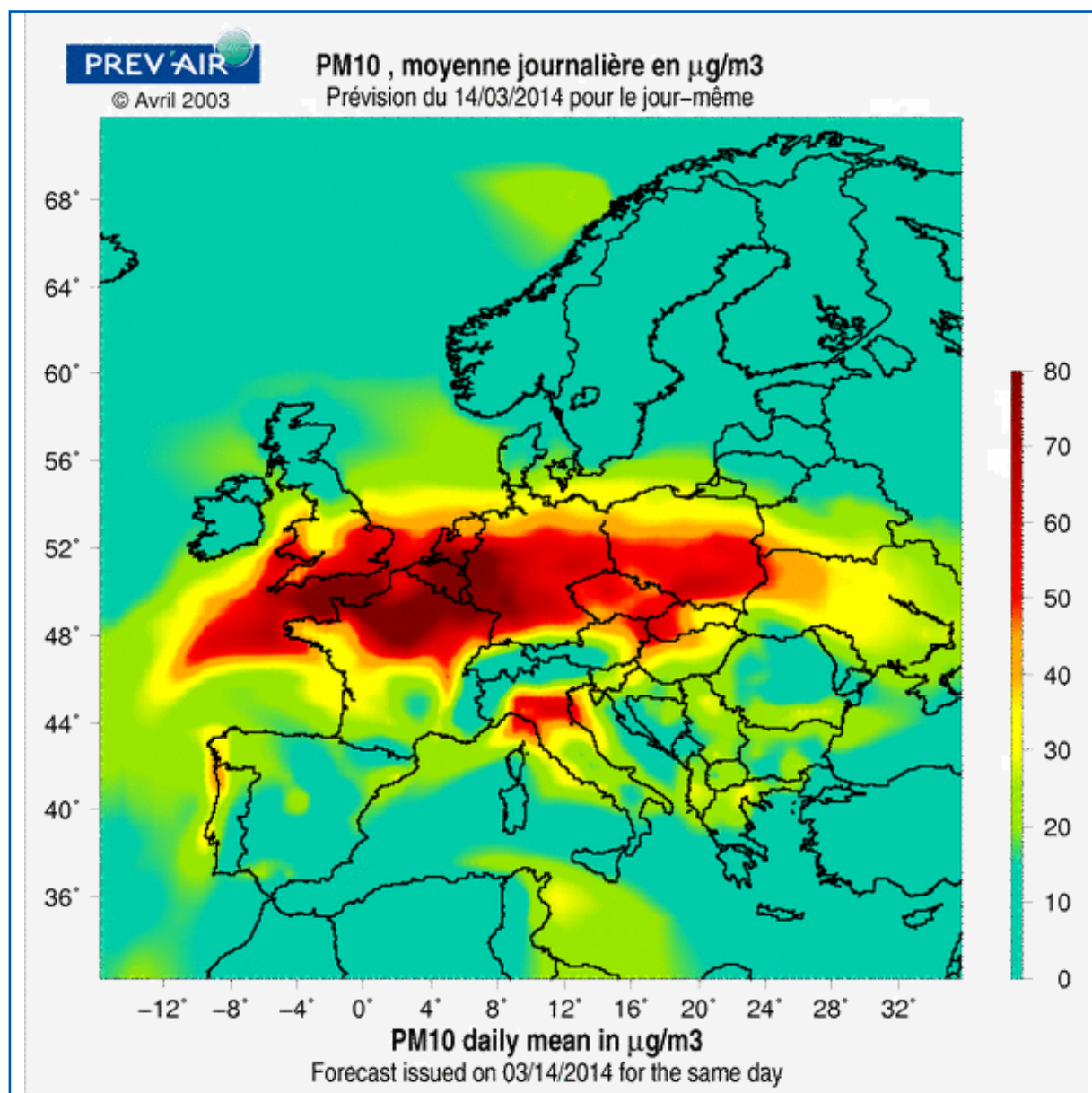


Figure 9.

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

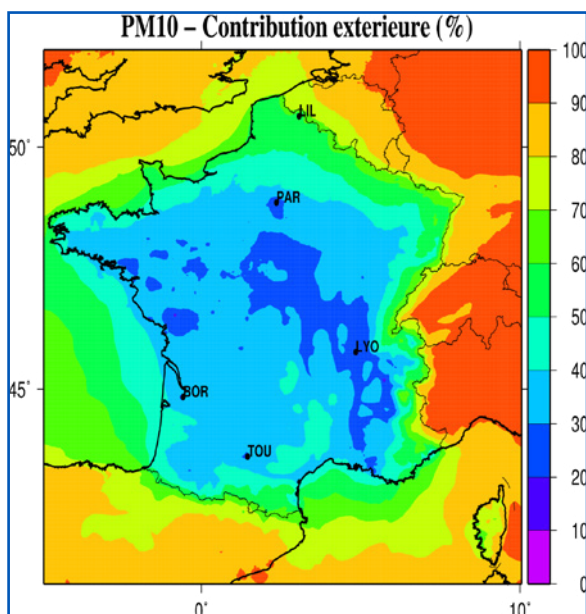


Figure 10.

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 %

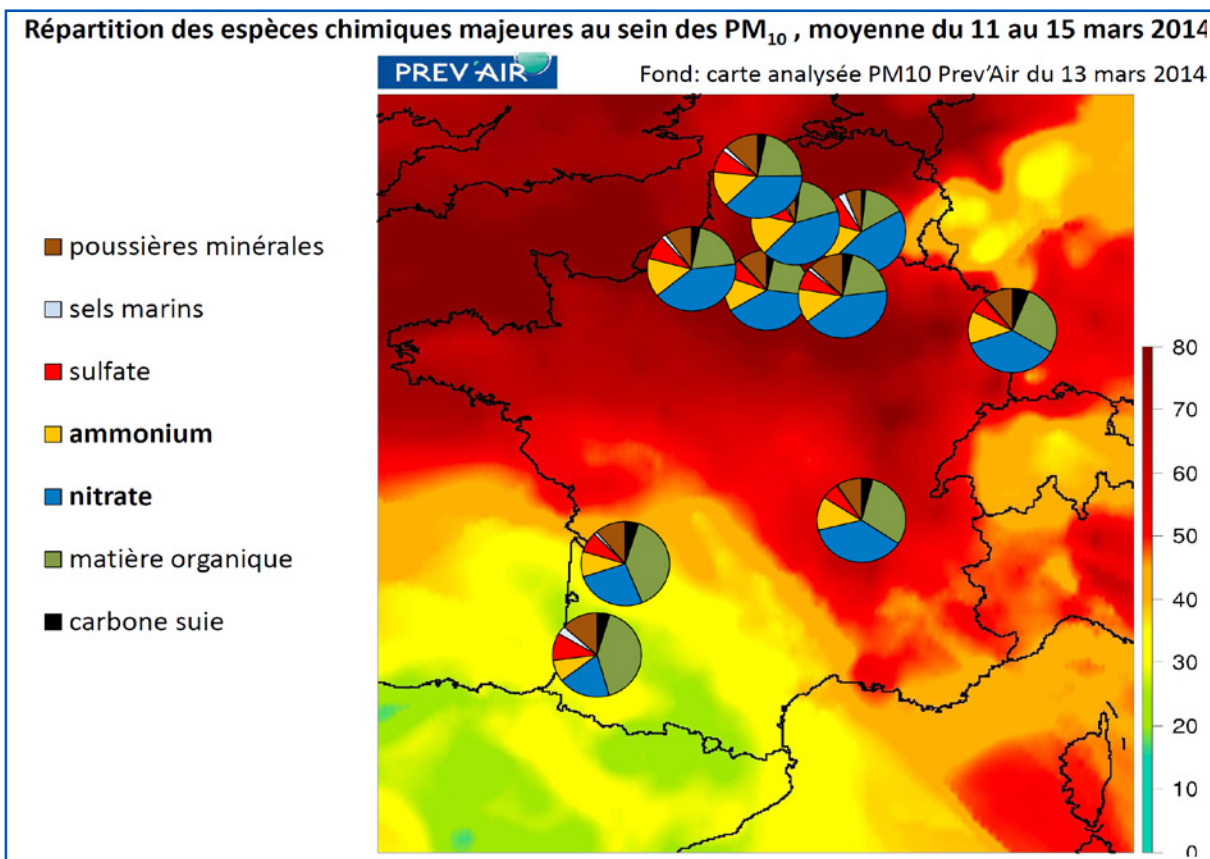


Figure 11.

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 PM₁₀ 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

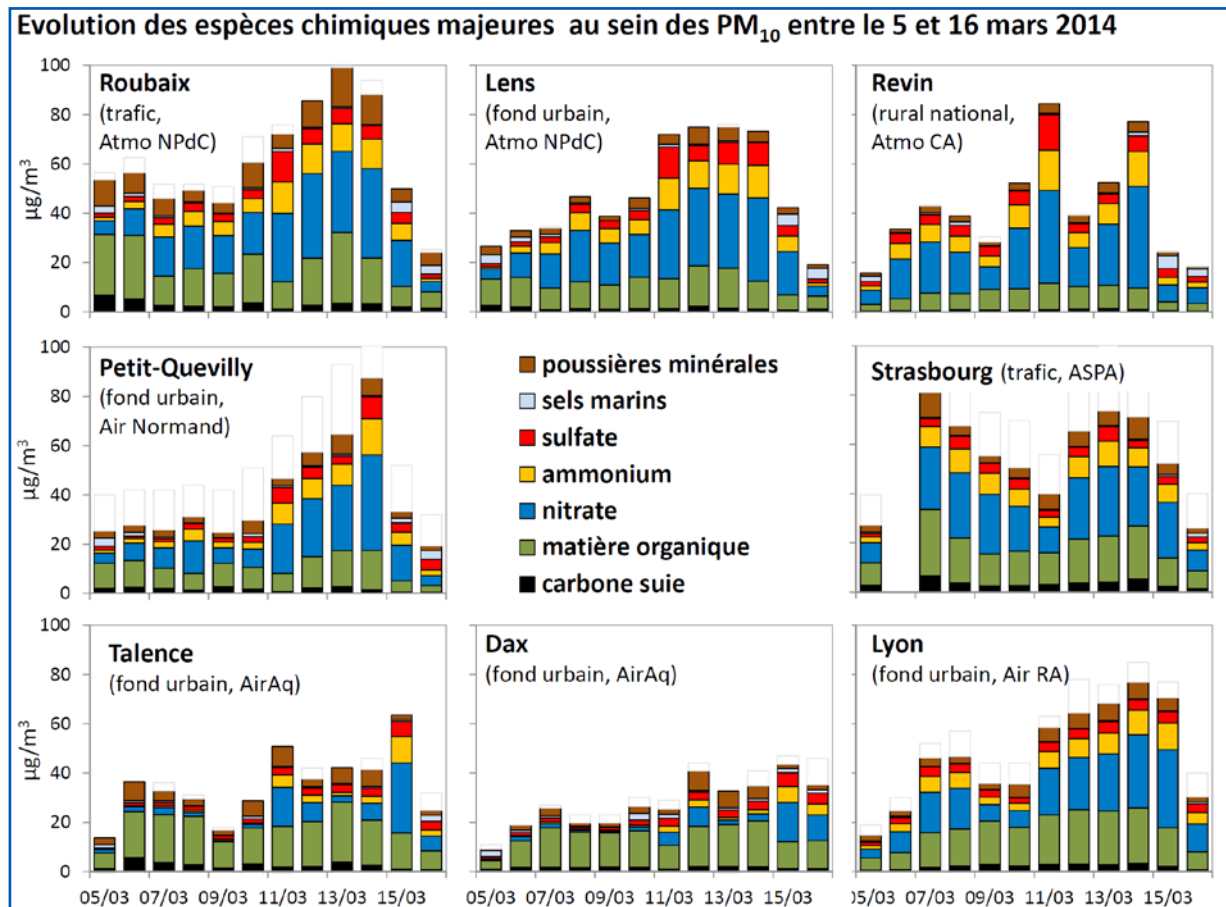


Figure 12.

Évolution de la composition chimique des PM₁₀ 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>