



T H É M A

Essentiel



ENVIRONNEMENT

Le suivi de la composition chimique des particules atmosphériques : complémentarités des observatoires nationaux

OCTOBRE 2020

La pollution de l'air par les particules est une problématique sanitaire majeure. La caractérisation de la composition chimique de celles-ci permet de mieux comprendre leurs origines et ainsi de mieux orienter les actions visant à réduire la pollution par les particules. Les observatoires français de mesure et d'évaluation en zone rurale de la pollution atmosphérique à longue distance (MERA) et de caractérisation chimique des particules (CARA) y contribuent depuis plusieurs années. Leurs travaux mettent notamment en évidence une baisse globale des concentrations en nitrate, ammonium et sulfate non marin dans les particules de diamètre inférieur à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) sur la période 2011-2019. En revanche, la concentration en matière organique, espèce majoritaire au sein de ces particules, ne suit pas de tendance globale. Grâce à des progrès métrologiques, la composition chimique des particules peut aujourd'hui être suivie en temps quasi réel et renseigne notamment sur la contribution des sources de combustion lors d'épisodes de pollution. La complémentarité entre les observatoires MERA et CARA permet d'envisager de nouveaux travaux visant l'amélioration des connaissances sur les processus de (trans)formation des particules fines.

Les particules atmosphériques (*Particulate Matter* - PM) - (encadré 1) jouent un rôle majeur sur la santé humaine, le climat et les écosystèmes. Au regard de ces enjeux, divers objectifs européens et nationaux ont été fixés pour améliorer la qualité de l'air. L'atteinte de ces derniers nécessite la mise en œuvre de plans d'action adaptés, fondés sur une bonne connaissance des principales sources d'émissions et des mécanismes de formation des PM.

Dans ce contexte, l'étude détaillée de la composition chimique des PM apporte de précieuses informations sur leurs origines. Au-delà de l'évaluation des politiques de réduction des émissions, ces renseignements sont essentiels à la compréhension des épisodes de pollution, au suivi des émissions naturelles dans un contexte de changement climatique, mais aussi à l'observation de la pollution diffuse aux échelles régionale et nationale (*i.e.* les phénomènes de

transport des polluants à longue distance). De plus, ces informations sont également d'intérêt dans le cadre d'études d'impacts sanitaires.

Depuis 2011, le programme MERA documente les composantes chimiques majeures des $\text{PM}_{2,5}$, prélevées sur filtres et analysées *a posteriori* en laboratoire, sur six sites ruraux de fond (*i.e.* éloignés de toutes sources directes d'émissions) en activité en 2020 (encadré 2). De son côté, en 2020, le programme CARA mesure en temps quasi réel, sur 12 sites de surveillance de fond urbain ou périurbain et de recherche académique, les composantes chimiques majeures des PM_1 .

ENCADRÉ 1

Les particules atmosphériques (PM)

Les PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ et PM_1 représentent les particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur respectivement à 10, 2,5 et 1 μm .

Les PM_{10} sont essentiellement constituées des modes fin et grossier, correspondant respectivement aux particules fines ($\text{PM}_{2,5}$) et à celles dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2,5 et 10 μm . Que ce soit en milieu urbain ou en zone rurale, les $\text{PM}_{2,5}$ constituent la part majeure des PM_{10} , entre 50 et 95 %.

Les PM_1 sont considérées comme parmi les plus dangereuses pour la santé, en raison de leur petite taille et de leur capacité à pénétrer jusqu'au dernier niveau des voies respiratoires, les alvéoles pulmonaires. Les aérosols anthropiques urbains sont principalement constitués de PM_1 , formées près des sources d'émissions et ayant une durée de vie suffisamment importante pour évoluer et grossir.

Les PM peuvent être primaires, autrement dit émises directement dans l'air par des activités anthropiques ou des sources naturelles, ou secondaires, c'est-à-dire formées par réactions chimiques entre plusieurs polluants gazeux et/ou particulaires déjà présents dans l'atmosphère.

Le suivi de la composition chimique des particules atmosphériques : complémentarités des observatoires nationaux

ENCADRÉ 2

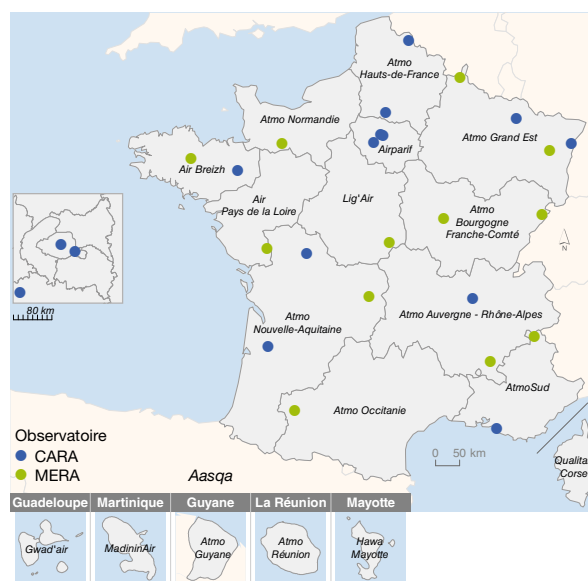
Les observatoires nationaux MERA et CARA

L'observatoire national MERA a été instauré au début des années 1980. Il constitue la contribution française au programme européen de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques (*European Monitoring and Evaluation Program – EMEP*), créé dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution transfrontière à longue distance. Il permet également de répondre aux besoins du système de surveillance national s'agissant des directives européennes (2004/107/CE et 2008/50/CE). Géré par l'Institut Mines-Télécom Lille-Douai, membre du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA), il comprend 12 stations de mesure en 2020, réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain et destinées à la surveillance et à la caractérisation de la pollution atmosphérique de fond de zones rurales (*carte 1*). Ces stations, gérées localement par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa), mesurent les concentrations en polluants gazeux, particulaires et présents dans les retombées atmosphériques, le plus souvent à l'état de traces.

L'observatoire national CARA a été mis en place en 2008, en réponse au besoin de compréhension et d'information sur l'origine des épisodes de pollution particulaire. Actuellement constitué de 18 sites gérés par les Aasqa ou des laboratoires académiques partenaires, il repose initialement sur l'analyse chimique de filtres collectés en plusieurs points du dispositif national. Ces prélèvements sont réalisés de façon quasi continue tout au long de l'année par les Aasqa volontaires, principalement en PM_{10} et sur des sites urbains de fond. Les filtres sont ensuite analysés en fonction de leur intérêt

(« situations d'urgence » ou utilisation dans le cadre d'une étude ou d'un programme de recherche). En réponse au besoin grandissant d'information en temps quasi réel, des analyseurs automatiques dimensionnés pour la surveillance opérationnelle de la composition chimique des PM permettent aujourd'hui de compléter ce dispositif.

Carte 1 : localisation des sites multi-instrumentés des observatoires MERA et CARA-automatique, en 2020



Note : pour l'observatoire MERA, le programme de mesure est variable suivant les stations.

Source : observatoires MERA et CARA. Traitements : SDES, juin 2020

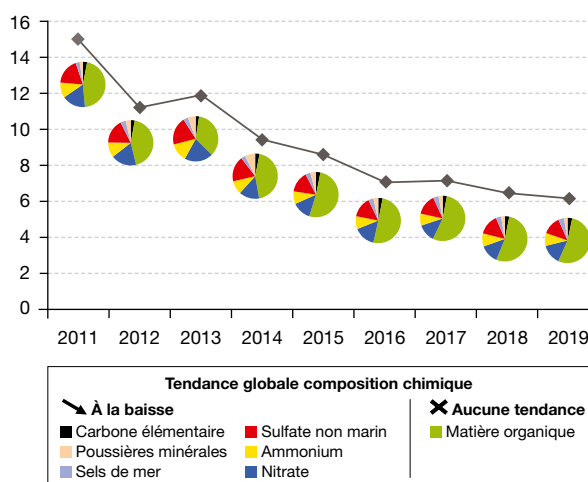
BAISSE DES CONCENTRATIONS EN NITRATE, AMMONIUM ET SULFATE NON MARIN DANS LES $PM_{2,5}$, EN ZONES RURALES DE FOND, DEPUIS 2011

Sur la période 2011-2019, les $PM_{2,5}$, suivies par l'observatoire MERA en zones rurales de fond, sont majoritairement composées d'aérosols inorganiques secondaires (nitrate, ammonium et sulfate non marin) et de matière organique (*graphique 1*). Sur la même période, leurs concentrations ont diminué pour toutes les stations, en lien avec la baisse des concentrations de la plupart de leurs composantes majeures, notamment celles caractérisant les aérosols inorganiques secondaires (*encadré 3*). En revanche, aucune tendance globale ne ressort pour les concentrations en matière organique, entraînant une augmentation significative de la contribution relative de cette espèce aux $PM_{2,5}$ depuis 2013.

Les variations des concentrations en $PM_{2,5}$ dépendent de nombreux facteurs, parmi lesquels les conditions météorologiques (température, humidité, précipitations, vent, etc.), leur devenir dans l'atmosphère selon les processus dynamiques (dispersion horizontale et diffusion verticale) et physico-chimiques (formation de particules secondaires), les apports transfrontières de particules, ainsi que l'intensité des sources d'émissions. Par ailleurs, la mise en place de politiques efficaces de réduction des émissions des $PM_{2,5}$ et de leurs précurseurs joue également un rôle sur leurs concentrations et leurs évolutions.

Graphique 1 : évolution des concentrations annuelles en $PM_{2,5}$ et compositions chimiques associées

En $\mu g/m^3$



Note de lecture : le graphique présente l'évolution temporelle des concentrations en $PM_{2,5}$ et de leurs compositions chimiques observées aux stations MERA (moyennes des concentrations annuelles en $PM_{2,5}$ ou en composantes majeures mesurées aux stations). Les tendances annuelles des composantes majeures des $PM_{2,5}$, évaluées suivant les tests non-paramétriques de Mann-Kendall et de Sen-Theil, sont indiquées dans l'encadré.

Source : observatoire MERA

Le suivi de la composition chimique des particules atmosphériques : complémentarités des observatoires nationaux

ENCADRÉ 3

Les composantes chimiques majeures des PM

Que ce soit en zone urbaine ou rurale de fond, les PM_{2,5} sont principalement constituées d'émissions anthropiques, ainsi que d'aérosols secondaires provenant de la transformation de précurseurs gazeux (composés organiques volatils, oxydes d'azote, dioxyde de soufre, ammoniac, etc.) en phase particulaire.

Les PM_{2,5} contiennent :

- du carbone suie (ou *Black Carbon* ou carbone élémentaire), issu de la combustion incomplète d'énergies fossiles ou de biomasse, et constitué quasi exclusivement d'atomes de carbone ;
- de la matière organique primaire (contenant des atomes de carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, etc.), émise en particulier par les mêmes processus de combustion que ceux émettant du carbone suie, ou de la matière organique secondaire, formée par l'oxydation de composés organiques volatils émis par les activités humaines et par la végétation ;
- des espèces inorganiques primaires (sels de mer et poussières minérales) ;
- et des espèces inorganiques secondaires, en particulier le nitrate, le sulfate non émis par les embruns marins et l'ammonium.

Le mode grossier comprend une part plus importante de particules d'origines naturelles (sels de mer, poussières minérales, débris végétaux, etc.) par rapport au mode fin. Il contient également une part notable d'espèces secondaires, dont des composés inorganiques et organiques, provenant de réactions entre espèces gazeuses et particules minérales.

DES CONCENTRATIONS EN PM_{2,5} PLUS IMPORTANTES AU NORD ET AU CENTRE DE LA FRANCE EN ZONES RURALES DE FOND

Les mesures de PM issues de l'observatoire MERA ont également permis de déterminer des variations saisonnières et spatiales en zones rurales de fond. Ainsi, les concentrations en PM_{2,5} sont globalement plus élevées en hiver et au printemps (*graphique 2*), avec des teneurs importantes en aérosols inorganiques secondaires (notamment nitrate) et organiques (matière organique entre autres). La combustion de biomasse liée au chauffage résidentiel influence fortement les concentrations en matière organique. Celles des aérosols inorganiques secondaires s'expliquent par des conditions favorables à leur formation : une tendance en saison froide à l'accumulation des polluants près du sol par les processus dynamiques, des émissions agricoles d'ammoniac accrues, des conditions météorologiques propices, notamment à une dégradation plus lente des polluants favorisant leur transport transfrontière (en particulier ceux à longue durée de vie).

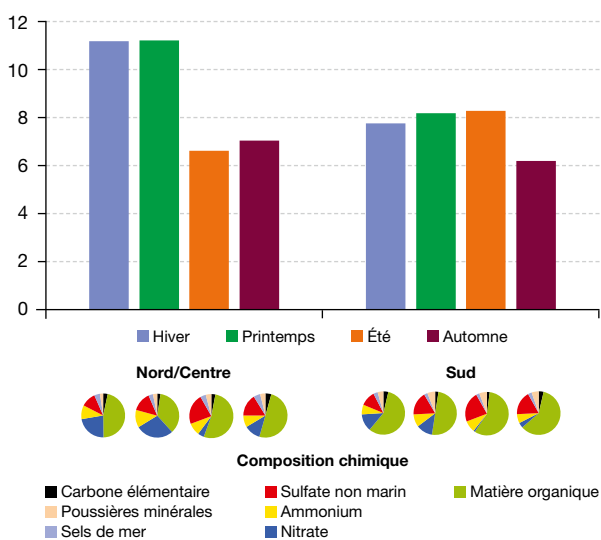
Au printemps et en hiver, les concentrations en PM_{2,5} sont plus élevées dans le nord et le centre de la France que dans le Sud, situation en partie expliquée par les mouvements de masses d'air et les conditions météorologiques hivernales et printanières de type anticyclonique. Ces conditions sont en effet propices à des apports transfrontières en aérosols inorganiques secondaires provenant de Belgique, des Pays-Bas et

d'Allemagne et, dans une moindre mesure, d'Europe centrale. Par ailleurs, les hivers plus froids notamment au nord et au centre de la France peuvent conduire à une intensification de la source de combustion de biomasse.

En été, les concentrations en PM_{2,5} sont majoritairement composées de matière organique et de sulfates non marins. Les températures élevées et le fort ensoleillement favorisent l'émission de précurseurs des PM_{2,5} et les processus photochimiques menant à la formation d'aérosols secondaires. De plus, des concentrations estivales en sulfates non marins plus importantes sont mesurées lorsque des circulations anticycloniques, généralement associées à des étés chauds en Europe, sont observées sur l'Europe de l'Ouest. En été, le sud de la France enregistre des concentrations en PM_{2,5} plus élevées qu'au nord et au centre, en partie du fait de leurs températures de saison respectives et du transport de masses d'air.

Graphique 2 : moyennes saisonnières des concentrations en PM_{2,5} et de leurs compositions chimiques aux stations MERA, sur la période 2011-2019

En µg/m³



Note : trois stations sont prises en compte dans la partie Nord/Centre et deux dans le Sud.

Source : observatoire MERA

IDENTIFICATION EN TEMPS QUASI RÉEL DE LA CONTRIBUTION DE CERTAINES SOURCES AUX CONCENTRATIONS EN PM, EN MILIEU URBAIN

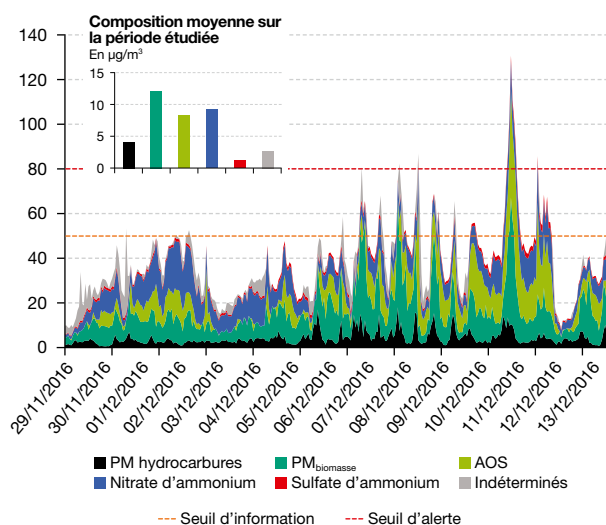
Les travaux récents du programme CARA permettent d'estimer en temps quasi réel la contribution de certaines sources d'émissions aux concentrations en PM, à partir de mesures réalisées au moyen d'analyseurs automatiques (Aethalomètre multi-longueurs d'ondes et *Aerosol Chemical Speciation Monitor*). Les contributions aux PM₁₀ attribuables aux sources de combustion (biomasse et hydrocarbures) et aux aérosols organiques secondaires et inorganiques secondaires (nitrate et sulfate d'ammonium) peuvent ainsi être quantifiées.

Cette méthodologie permet d'étudier d'importants épisodes de pollution particulaire ayant impacté la métropole, en particulier les régions de la moitié nord de la France, la

Nouvelle-Aquitaine et l'Auvergne-Rhône-Alpes, en novembre et décembre 2016. À titre d'exemple, les observations réalisées sur une station de fond urbain à Poitiers lors de cette période indiquent une forte contribution des émissions primaires de combustion de biomasse, en particulier par le chauffage résidentiel au bois (PM_{biomasse}), ainsi que des aérosols secondaires organiques (AOS) et inorganiques (nitrate d'ammonium) – (graphique 3). La part indéterminée des concentrations en PM₁₀ appartient principalement à la fraction grossière, incluant la majeure partie des sels de mer et des poussières minérales, qui ne peuvent pas être quantifiés via les instruments de mesure automatique du dispositif CARA.

Graphique 3 : composition chimique des PM₁₀ mesurée lors d'un épisode de pollution particulaire observé fin 2016 en fond urbain à Poitiers

En µg/m³



Note : la réglementation française fixe des seuils en cas d'épisodes de pollution aux PM₁₀ pour l'information du public et la mise en place d'actions : seuil d'information et de recommandation fixé à 50 µg/m³ en concentration moyenne journalière et seuil d'alerte fixé à 80 µg/m³ en concentration moyenne journalière.

Source : observatoire CARA

DES PERSPECTIVES D'APPROFONDISSEMENT POUR L'AVENIR

L'analyse de la composition chimique des PM par les observatoires MERA et CARA met en lumière l'importance des particules secondaires et la nécessité de suivre certains

précurseurs gazeux non mesurés à ce jour (en particulier l'ammoniac, afin de mieux comprendre la formation des particules inorganiques contribuant significativement aux épisodes de pollution printaniers). En outre, l'expertise acquise dans le cadre du programme CARA sur les analyseurs automatiques ouvre la porte à l'utilisation de ce type d'instruments en fond rural. Un tel usage permettrait de mieux documenter l'origine de la pollution particulaire et d'approfondir l'impact des conditions climatiques sur la variabilité des concentrations. Le programme CARA envisage également de réaliser des mesures PM₁₀ sur filtres sur des stations MERA à la place de mesures réalisées sur certains sites urbains, afin de couvrir spécifiquement les épisodes de transport de particules naturelles (poussières désertiques, émissions volcaniques, etc.). Un suivi pluri-décennal de l'ensemble de ces mesures permettrait d'approfondir les études de tendances à long terme déjà menées.

Enfin, la complémentarité entre les programmes MERA et CARA offre d'intéressantes perspectives d'analyse de la contribution des différentes sources de PM par secteur géographique, avec notamment la possibilité de distinguer les sources d'émissions urbaines des contributions régionales (pollution transportée).

POUR EN SAVOIR PLUS

- Analyse de la composition chimique des PM_{2,5} en zones rurales de fond, *disponible sur le site du LCSQA*.
- Variabilité saisonnière et spatiale des concentrations de composantes majeures des PM₁₀ mesurées sur 19 sites français de typologies différentes, *disponible sur le site du LCSQA*.
- Méthodologie d'identification et de quantification de certaines sources aux concentrations en PM₁₀, *disponible sur le site du LCSQA*.
- Contribution des différentes sources de PM par secteur géographique, Pandolfi et al., (2020) : www.atmos-chem-phys-discuss.net/acp-2019-493/.
- Exemple d'utilisation de mesures de particules atmosphériques en zones urbaines dans le cadre d'une étude d'impacts sanitaires, Calas et al., (2019) : www.mdpi.com/2073-4433/10/11/698.

Aurélien LE MOULLEC, SDES
Aude BOURIN et Cécile DEBEVEC, IMT Lille-Douai
Olivier FAVEZ, LCSQA-Ineris

Dépôt légal : octobre 2020

ISSN : 2555-493X (en ligne)
2555-7564 (imprimé)

Impression : imprimerie intégrée du MTE,
imprimé sur du papier certifié ecolabel européen -
www.ecolabel.com

Directeur de publication : Thomas Lesueur

Rédacteur en chef : Hugues Cahen

Coordination éditoriale : Céline Blivet

Maquettage et réalisation : Agence Efil, Tours

Commissariat général au développement durable

Service des données et études statistiques

Sous-direction de l'information environnementale

Tour Séquoia - 92055 La Défense cedex

Courriel : diffusion.sdes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

Liberté
Égalité
Fraternité