



Primequal Predit

qualité de l'air et particules

Impacts sur environnement et santé.
Que préconiser pour demain ?



Principaux résultats du programme de recherches Primequal www.primequal.fr

Les particules microscopiques : un enjeu de taille sur la santé et notre habitat

La qualité de l'air est l'une des principales préoccupations des citoyens concernant leur santé. À juste titre. Les scientifiques estiment en effet que la pollution atmosphérique par les gaz et les particules peut diminuer l'espérance de vie de près d'un an. Pourtant, comme l'ont constaté les réseaux de surveillance de la qualité de l'air implantés sur le territoire national, les concentrations annuelles des particules dans l'air ne montrent pas d'évolution à la baisse, et ce notamment pour les particules fines (dites les $PM_{2,5}$, particules dont la taille est inférieure à 2,5 micromètres). Cette situation a conduit le Grenelle de l'environnement à fixer un seuil limite à ne pas dépasser dès 2010 ($PM_{2,5} < 15 \mu g/m^3$).

Cet objectif ambitieux suppose de disposer d'un inventaire fiable des activités, naturelles et humaines, sources d'émissions de particules, mais aussi de connaître les mécanismes complexes de leur formation et de leur transformation. L'appel à propositions de recherches (APR) du programme de recherche PRIMEQUAL, coordonné par le MEEDDAT et l'ADEME a permis d'apporter des outils et des connaissances qui devraient faciliter la mise en place de cette politique. Lancé en 2003, l'APR « particules » a également contribué à établir l'impact des particules sur la santé. Mobilisant des équipes pluridisciplinaires, les recherches menées se sont ainsi attelées à répondre aux questions suivantes : quelles activités sont sources d'émissions de particules dans l'atmosphère ? Comment les discriminer ? Quels sont les processus de transformation des aérosols ? Quels sont les mécanismes conduisant à l'apparition de maladies respiratoires et cardiovasculaires ? Pourquoi certaines personnes présentent des risques accrus ? L'APR a également analysé l'impact des particules sur le fonctionnement des plantes et du sol ainsi que le rôle des milieux naturels dans le cycle de vie des particules. Enfin, il a traité le problème récurrent de l'encrassement du bâti et de l'empoussièrement rapide de nos habitats.

SOMMAIRE

QUELS OUTILS
POUR CARACTÉRISER
LES POLLUTIONS
PARTICULAIRES ? 3

QUELS SONT LES EFFETS
DES PARTICULES
SUR LA SANTÉ ? 4

COMMENT RÉAGISSENT
LES ÉCOSYSTÈMES
AUX POLLUTIONS
PARTICULAIRES ? 5

QUELS IMPACTS
DES PARTICULES
SUR ET DANS LE BÂTI ? 6

QUELS IMPACTS
DES PARTICULES
SUR ET DANS LE BÂTI ? 7

LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE, COMMENT LA DÉFINIR ?

« Constitue une pollution atmosphérique, l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables, de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. »

• Source : article 2 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 (dite LAURE).

Cette définition montre bien que les particules sont un contributeur majeur de la pollution de notre environnement.

PARTICULES OU AÉROSOL ?

Les particules se présentent sous la forme de fines matières liquide (brouillard) ou solide (poussière, fumée), source : IFEN. Elles sont couramment classées suivant leur taille. Ainsi la concentration en matière particulaire ou *Particulate Matter* dont le diamètre est inférieur à x microns sera désignée par l'abréviation PM_x . On parle ainsi de PM_{10} pour des grosses particules, de $PM_{2,5}$ pour des particules fines ou de $PM_{0,1}$ pour des particules ultrafines.

• Source : Bilan de la qualité de l'air en France en 2006.

Chez les scientifiques, le terme d'aérosol est également utilisé pour désigner le mélange d'air et de particules en suspension.

Quels outils pour caractériser les pollutions particulaires ?

Afin de prendre les décisions politiques et techniques nécessaires à la réduction des particules dans l'atmosphère, il est essentiel de connaître la part attribuable à chaque type d'émetteur et celle liée aux processus de formation ou transformation dits secondaires.

Les aérosols organiques secondaires

Une fois rejetés dans l'atmosphère, les composés gazeux et particulaires peuvent réagir entre eux et donner naissance à un aérosol « secondaire », différent des émissions d'origine. Afin de prendre en compte ces formations ou transformations dans la quantification des sources d'émissions des aérosols, il est important de connaître les réactions chimiques pouvant entrer en jeu. Ces réactions dépendent des propriétés chimiques des particules. Tous les éléments n'évoluant pas de la même façon. Les recherches menées dans le cadre de PRIMEQUAL ont permis de dresser une liste de composés cibles à étudier par les toxicologues.

Signature des aérosols : deux méthodes développées par les projets de recherche de Primequal

Une première méthode se base sur l'analyse isotopique d'éléments chimiques contenus dans l'air que nous respirons :

- le carbone, qui permet de révéler la prédominance du trafic routier, de déceler les particules issues du chauffage des bâtiments, mais aussi des incinérateurs d'ordures ménagères ;
- le strontium, qui permet de discriminer des pollutions issues du chauffage au charbon, du chauffage au fioul, du chauffage au gaz naturel, et des incinérateurs urbains ;
- Le plomb, qui permet de marquer le transport routier. Sa pertinence a toutefois diminué avec sa disparition dans le carburant depuis 2000.

D'autres traceurs, comme l'azote, devraient également permettre de suivre les processus de formation des particules dans l'atmosphère.

Une seconde méthode permet de déterminer la contribution des différentes sources d'émissions de particules fines en fonction des heures de la journée (7 H-19 H versus 19 H-7 H) et de la saison (hiver versus été). La méthode suppose une phase de prélèvements et d'analyses des éléments chimiques de nombreux échantillons de particules prélevés sur fil-

tres, puis une phase de traitement statistique poussée des données obtenues. Automatisée, cette méthode peut facilement être mise en place par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.



■ *Mise au point d'un outil de détermination de la contribution des sources de poussières fines,* Hervé GUEGAN, ARCANÉ-CENBG

■ *Les aérosols (PM_{2,5}) en milieu urbain : origine et quantification des contributions des différentes sources par une approche multi-isotopique (C, N, Pb, Sr),* David WIDORY, BRGM à Orléans

■ *Génération, vieillissement et analyse des aérosols organiques secondaires et étude des cinétiques de dégradation des produits phytosanitaires dans la phase particulaire atmosphérique,* Bénédicte PICQUET-VARRAULT, LISA à Créteil, et Anne MONOD, Université de Provence, Laboratoire de Chimie et Environnement (LCE)

■ *SPLAM, Single Particle Laser Ablation Mass Spectrometry,* Martin SCHWELL, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), UMR 7583 CNRS, Université Paris-7 et Paris-12

Quels sont les effets des particules sur la santé ?

Les particules fines pointées du doigt

Les particules ont un effet majeur sur le système respiratoire. Elles ont très probablement une part de responsabilité dans la recrudescence, en l'espace d'une génération, de la part de population affectée par les maladies respiratoires et allergiques. Chaque jour, nous respirons 10 000 à 15 000 litres d'air. Cet air, et les particules associées, rentre en contact avec les alvéoles de nos poumons sur une surface d'échange d'environ 100 m². L'effet inflammatoire induit est variable en fonction de la saison, de la taille et de la composition chimique des particules.

En site urbain, la mise en évidence du rôle des fractions les plus fines dans les maladies respiratoires tend à préconiser la mesure des PM_{1,0} de préférence aux PM_{2,5}. Les particules ultra-fines pourraient en effet traverser les cellules épithéliales des poumons et les parois des vaisseaux sanguins, et ainsi atteindre les autres organes et notamment le cœur. Des recherches plus approfondies apparaissent nécessaires afin de comprendre quels sont les mécanismes précisément impliqués dans les maladies respiratoires, mais aussi cardiovasculaires.

Trafic automobile, particules et santé

Les particules issues de la combustion des carburants sont une source principale des particules atmosphériques, en général fines ou ultrafines. À Paris, le trafic automobile a également un rôle prépondérant dans la formation des particules et des gaz à l'origine des aérosols secondaires en été. À proximité du périphérique, on atteint jusqu'à 80% de suies dans l'aérosol. Ces suies renferment des composés organiques (éléments carbonés, hydrocarbures aroma-

tiques polycycliques, sulfates), des métaux, mais également des particules d'origine naturelle comme des toxines bactériennes ou des pollens.

Afin de mesurer l'effet des nouveaux systèmes de traitement des émissions des véhicules (pots catalytiques, filtres à particules...) ou la modification de la composition des carburants sur la santé humaine, un dispositif de production d'atmosphères complexes a été mis au point dans le cadre des recherches de PRIMEQUAL.

Vers l'identification de gènes de susceptibilité aux particules

La différence de sensibilité des individus aux polluants suggère l'existence de gènes de susceptibilité. Ces gènes seraient capables de modifier la réponse de l'organisme face à l'intrusion de ces polluants. Il paraît crucial de poursuivre l'identification de ces gènes afin de définir les groupes à risque.

Quels sont les besoins futurs de recherche dans le domaine de la santé ?

Il apparaît essentiel de :

- déterminer précisément les composants des particules qui ont des effets néfastes sur la santé et d'améliorer la quantification et la caractérisation de l'exposition. L'objectif serait ainsi d'apporter des réponses à des questions telles que : quel est l'effet de l'exposition quotidienne, sur des durées de deux heures, à des particules d'origine automobile ? De telles recherches passent par des mesures d'exposition personnelle, micro-environnementales et leur modélisation ;



- déterminer les mécanismes à l'origine de la translocation des particules ultrafines des poumons vers les autres organes, et notamment vers le cœur;
- d'impulser des recherches sur les effets des nanomatériaux sur la santé. Les voies de pénétration des nanomatériaux, leurs devenir et leurs interactions à l'intérieur du corps, sont pour l'instant difficilement prédictibles. Ils doivent en outre différer selon les types de nanomatériaux. Les collaborations entre tous les spécialistes du domaine (météorologistes, physiciens, chimistes, biologistes, épidémiologistes, toxicologistes) sont cruciales pour aborder cet axe de recherche.

■ *Caractérisation physico-chimique et effets biologiques des fractions fines ($PM_{2,5}$ et PM_{10}) et ultra-fines ($PM_{0,1}$) de l'aérosol urbain de fond*: Armelle BAEZA, MCU, HDR Laboratoire de cytophysiologie et Toxicologie cellulaire (LCTC), Université Paris Diderot, Paris-7

■ *Impacts de l'Exposition par Inhalation d'Aérosols Complexes Contenant des Particules Ultra-Fines sur le cœur, le rein et le système reproducteur chez le Rat et le Cobaye Sains et Insuffisants Cardiaques Chroniques - Utilisation d'émissions de moteurs à combustion interne modélisant la pollution atmosphérique urbaine*: Jean-Paul MORIN – INSERM U644 à Rouen

Comment réagissent les écosystèmes aux pollutions particulaires ?

Effets directs et indirects

En modifiant les fonctions d'échange et le métabolisme des végétaux et des plantes (par exemple blocage de l'évapotranspiration et de la photosynthèse au niveau des feuilles), les particules ont des effets directs sur les milieux naturels. Ces effets directs sont surtout visibles à proximité des sources d'émissions.

Les particules peuvent également avoir des effets indirects. En se déposant sur le sol, elles augmentent les concentrations en nutriments absorbables par les plantes, comme l'azote ou le soufre. L'impact de la pollution particulaire peut ainsi être positif pour la plante. Cependant, généré en grande quantité, un surplus d'azote conduit à l'acidification du milieu, acidification qui peut être amplifiée par des pluies acides. D'autres impacts indirects sur les milieux naturels peuvent aussi se mettre en place, par exemple via l'absorption d'une partie du rayonnement solaire par les particules, ou l'interaction entre les particules et les nuages qui augmentent le phénomène de brume. Ces effets sont principalement observés dans le Sud-Est asiatique.

Les mousses végétales : bioindicateur et biointégrateur de la qualité de l'air

Les mousses végétales peuvent être utilisées comme des bioindicateurs de la pollution atmosphérique. La sensibilité d'une espèce (*Ceratodon purpureus*) aux éléments traces métalliques en fait une espèce intéressante pour la biosurveillance de la qualité de l'air.

Les microsystèmes mousses - micro-organismes associés constituent également des biointégrateurs pertinents. Exposées aux pollutions particulaires, les différentes populations et/ou communautés varient en densité et biomasse, des espèces peuvent aussi disparaître et d'autres apparaître.

De taille réduite, mais comportant plusieurs dizaines d'espèces différentes et différents niveaux trophiques (producteurs primaires, prédateurs, décomposeurs), ces microsystèmes « mousses » constituent une alternative intéressante à l'étude des écosystèmes complexes. De plus, les micro-organismes ont des temps de multiplication très courts, variant de quelques heures à quelques semaines, ce qui permet de limiter la contrainte temporelle. Des microsystèmes standardisés de faible encombrement (quelques centimètres carrés) et d'usage simple sont en préparation à destination des réseaux de surveillance de la qualité de l'air pour les disposer autour de zones affectées (incinérateurs, trafic routier important...).

■ *Développement d'outils biologiques d'évaluation des impacts des aérosols et des particules atmosphériques dans des écosystèmes diversement pollués : mesures de réponses précoces induites chez les bryophytes (biomarqueurs) et leurs communautés microbiennes (biointégrateurs)*, Nadine BERNARD, Université de Franche-Comté, Laboratoire de Biologie Environnementale EA 3184 UsC INRA à Besançon

Quels impacts des particules sur et dans le bâti ?

Encrassement des façades

L'impact de la pollution atmosphérique sur le bâti est une question récurrente, en particulier en zone urbaine. Le nettoyage des façades encrassées par les particules représente en particulier un coût important pour le contribuable : un nettoyage varie de 70 euros à 180 euros du mètre carré en fonction des techniques utilisées. Cependant, il est apparu que les mécanismes physiques à l'origine de cet encrassement dépendaient fortement des matériaux. Ceux-ci réagissent différemment à la pollution et les transformations des particules varient d'un type de matériau à l'autre.

Contamination des espaces intérieurs

La pollution particulaire peut pénétrer à l'intérieur des bâtiments via les systèmes de ventilation des habitations. Cependant, l'activité interne (cuisine, chauffage, utilisation d'ordinateur, etc.) crée aussi de nouveaux polluants dans ces espaces clos. Ceux-

ci peuvent être discriminés grâce à l'identification de composés spécifiques générés par les activités domestiques. Par exemple, les activités de la cuisson génèrent des particules ultrafines en grand nombre et sont souvent liées à des systèmes d'extraction spécifiques (hottes de cuisine, bouches VMC) dont l'efficacité demande à être améliorée.

ORIGINE DES PARTICULES

Les grosses particules (PM_{10}) sont issues principalement des activités industrielles (36 % des émissions), du chauffage domestique (21 %) et de l'agriculture (29 %). Les particules fines ($PM_{2,5}$) proviennent de la combustion du bois pour le chauffage domestique (34 % des émissions), des véhicules diesel (14 %) (Source : CITEPA).

En ce qui concerne l'efficacité d'extraction des particules, la stratégie de ventilation, notamment la position des entrées et sorties d'air, est apparue plus importante que le taux de renouvellement d'air. Afin de tester différents scénarios de ventilation, des modèles mathématiques permettant de simuler les transports ont été développés.

■ *Salissures de façades (SALIFA)*, Christian SACRE, CSTB Département Climatologie Aérodynamique Pollution & Épuration à Nantes

■ *Caractérisation physico-chimique et étude du transport des particules dans les locaux*, Olivier RAMALHO, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Département Énergie, Santé, Environnement, Division Santé - Marne-la-Vallée



De gauche à droite, église Saint-maclou à Rouen (façade), cathédrale Notre-Dame de Rouen (façade), cathédrale Notre-Dame de Rouen (portail).

© Photothèque de l'office de tourisme de la Communauté de Rouen, vallée de Seine-Normandie, B. Voisin

Le programme PRIMEQUAL vise à fournir les bases scientifiques et les outils nécessaires aux décideurs et aux gestionnaires de l'environnement pour surveiller et améliorer la qualité de l'air afin de minimiser les risques pour la santé et l'environnement.

Programme de recherche interorganisme lancé en 1995, il est essentiellement soutenu par le MEEDDAT et l'ADEME, avec la collaboration de l'INERIS. Les actions de recherche sont mises en œuvre en concertation avec le PREDIT (Programme interministériel de recherche et d'innovation dans les transports terrestres) et le CHAT (Programme national de (CHimie ATmosphérique) piloté par l'INSU du CNRS. Il rassemble plusieurs communautés scientifiques concernées par la pollution de l'air et ses impacts : sciences physiques (météorologie, chimie, dynamique, météorologie...), sciences de la vie (biologie, médecine, épidémiologie, écologie...), mathématiques (modélisation, statistique) et sciences humaines (économie, sociologie, psychologie...). Depuis sa création, PRIMEQUAL a soutenu environ 250 actions de recherche, pour un montant total d'environ 15 millions d'euros de crédits incitatifs. La présente plaquette s'inscrit dans la volonté de diffuser les résultats des recherches auprès du plus grand nombre. Elle reprend les principaux résultats des recherches sur le thème Qualité de l'air et particules présentés par les chercheurs lors du colloque qui a eu lieu en octobre 2007 à Rouen.

LES INSTANCES

Le programme est piloté par un comité d'orientation, constitué de représentants des différents organismes concernés par la mise en œuvre de stratégies d'amélioration de la qualité de l'air (ministères chargés de l'environnement, de l'agriculture, de la santé, différentes agences du domaine de la santé, de la surveillance de la qualité de l'air...). Il s'appuie sur un conseil scientifique, composé d'experts des différentes communautés scientifiques impliquées dans les recherches mises en œuvre.

LA VALORISATION

Les actions d'animation et de valorisation (séminaires, colloques, rédaction de documents) sont mises en œuvre régulièrement afin de favoriser le dialogue entre les différentes communautés scientifiques et susciter ainsi des collaborations. La diffusion des résultats passe par la rédaction d'ouvrages de synthèse destinés aux gestionnaires, l'organisation de colloques, et notamment celui organisé à Rouen en octobre 2007 *Qualité de l'air et particules : impacts sur environnement et santé, que préconiser pour demain?*



Les résultats de recherches et actualités du programme sont disponibles sur www.primequal.fr



RESPONSABLE DU PROGRAMME AU MINISTÈRE : Pierre VAISS, MEEDDAT • 92055 La Défense Cedex
pierre.vaiss@developpement-durable.gouv.fr
01 42 19 17 29



RESPONSABLE DU PROGRAMME À L'ADEME : Nathalie POISSON • 27, rue Louis-Vicat, 75735 Paris
nathalie.poisson@ademe.fr
01 47 65 20 42



RESPONSABLES DE L'ANIMATION : Jean Poulleau, Catherine Gondcaille, INERIS
Parc Technologique ALATA • BP n° 2, 60550 Verneuil-en-Halatte
jean.poulleau@ineris.fr • catherine.gondcaille@ineris.fr
03 44 55 62 79