

Les particules

Effets sur la santé

Allergisantes ou cancérogènes, provoquant des conséquences sur l'appareil respiratoire et cardiovasculaire pouvant survenir à court ou à long terme... les particules sont néfastes pour la santé¹. Rarement composées d'une seule substance, les particules ou « poussières » sont classées en fonction de leur taille. De cette taille dépend leur dangerosité puisque les particules plus petites ne sont pas arrêtées par la barrière du nez et peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans l'organisme où elles peuvent induire des effets sur la santé. **Les effets de la pollution particulaire seraient ainsi du même ordre que ceux dus au tabagisme passif.**

Sur le long terme, les particules les plus fines (PM2.5) sont associées à un accroissement des symptômes des voies respiratoires et des maladies respiratoires obstructives chroniques, une réduction de la capacité respiratoire chez l'enfant, une augmentation de la mortalité cardio-pulmonaire et du cancer du poumon chez l'adulte.

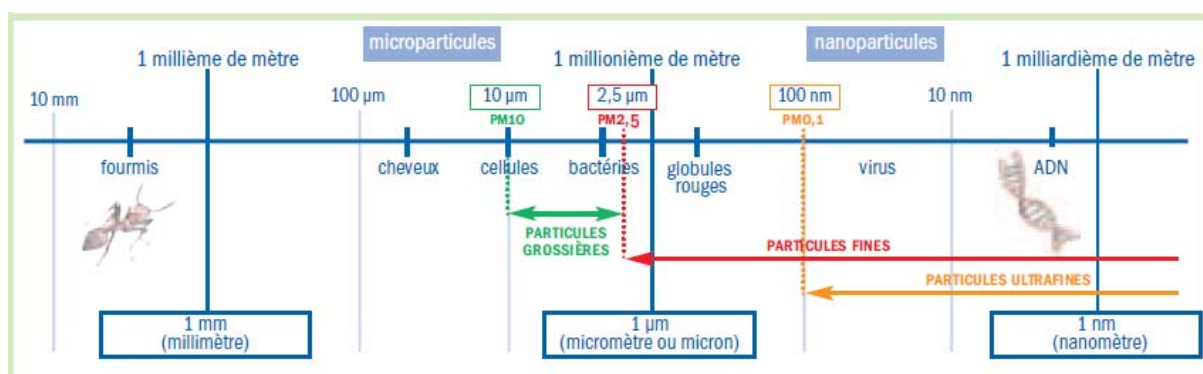
Quant aux PM10, à court terme, elles peuvent induire des effets sanitaires aigus : réactions inflammatoires des poumons, symptômes respiratoires, manifestations cardiovasculaires, accroissement de la prise de médicaments, des hospitalisations et de la mortalité.

Particules PM10 ou PM2.5 ?

Les microparticules, de la taille du micromètre (μm , un million de fois plus petit qu'un mètre) ne sont pas visibles à l'œil nu. Ce sont celles qui sont mesurées et réglementées dans l'air à travers :

- Les « **particules grossières** » ou « **PM10** », de taille inférieure à **10 μm** (6 à 8 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu ou de la taille d'une cellule) et qui pénètrent dans l'appareil respiratoire.
- Les « **particules fines** » ou « **PM2.5** », inférieures ou égales à **2,5 μm** (comme les bactéries) et qui peuvent se loger dans les ramifications les plus profondes des voies respiratoires (alvéoles).

70% de la masse totale de particules grossières PM10 provient des particules fines PM2.5.



¹ Afsset/Anses, 2009 - Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air, 2000 et mises à jour 2005 - Airparif Actualité n°30 : « les particules en ligne de mire ».

Sources et compositions

Les particules proviennent de sources naturelles (sel de mer, éruptions volcaniques, feux de forêts et érosion éolienne des sols par le vent) comme d'activités humaines (transports, chauffage, industrie...). Ce sont des polluants complexes qui peuvent être directement émis dans l'atmosphère, on parle alors de **particules primaires**, ou provenir de la transformation des polluants gazeux présents dans l'atmosphère, ce sont les **particules secondaires**. Elles peuvent de plus être transportées sur de longues distances et être remises en suspension une fois déposées au sol.

Leur forme peut aussi bien être sphérique que fibreuse et parmi les particules on trouve des aérosols, des cendres, des suies et des particules minérales. Leur composition chimique est souvent très complexe et, contrairement aux polluants gazeux, les particules ne constituent pas une espèce chimique unique et homogène. Elles se composent notamment :



- d'**espèces ioniques primaires ou secondaires** : biogéniques (sels de mer) ou anthropiques (liées aux activités humaines);
- d'**espèces carbonées** provenant principalement des combustions fossiles ou de la biomasse, complète pour le carbone élémentaire et incomplète pour la matière organique ;
- de **poussières minérales**, d'origine essentiellement terrigène telle que l'érosion des sols ou la remise en suspension de particules déposées au sol.

Les particules fines (PM2.5) sont essentiellement composées d'espèces carbonées (carbone élémentaire et matière organique), émises lors de processus de combustion plus ou moins complètes, ainsi que de nitrate, d'ammonium et de sulfates, qui sont produits par réactions chimiques.

- La part de carbone élémentaire augmente significativement quand on s'approche du cœur de l'agglomération parisienne (de l'ordre de 40%) d'abord à cause des émissions du trafic, et ensuite de celles du chauffage. Elle est encore plus élevée le long du trafic (60% sur le Boulevard périphérique).
- Mais les concentrations en composés inorganiques secondaires (nitrate, ammonium et sulfates additionnés) sont relativement homogènes à travers la région, ces composés provenant essentiellement de réactions chimiques et d'imports en provenance d'autres régions de France ou d'Europe.

En revanche **les particules de taille supérieure (entre les PM2.5 et les PM10) se composent principalement de sels de mer, de poussières minérales et dans une moindre mesure de matière organique (OM)**. Elles sont principalement produites par des procédés mécaniques (abrasion, chantiers, remise en suspension de particules déposées au sol, agriculture...).

Certaines espèces comme les nitrates et les autres ions sont réparties entre les deux fractions, mais en plus faible proportion dans les particules plus grosses.

Le contexte

Enjeux sanitaires des particules en Europe

Les travaux de la commission européenne dans le cadre de l'initiative « un air propre pour l'Europe » (CAFE, Clean air for Europe) ont permis d'estimer que les niveaux de particules fines PM2.5 présentes dans l'atmosphère, entraînent chaque année en Europe : une perte annuelle de 4 millions d'années de vie, une perte d'espérance de vie de 9 mois en moyenne pour les Etats membres, 386 000 décès prématurés et de l'ordre de 110 000 hospitalisations graves².

Par ailleurs, selon les résultats du projet Aphekomp (Improving knowledge and communication for decision making on air pollution and health in Europe) piloté par l'InVS (Institut de veille sanitaire), habiter à proximité de la circulation pourrait être responsable de 15% des asthmes de l'enfant dans ces villes. Tout comme le projet Apehis (Monitoring the effects of air pollution on health in Europe) ou l'initiative CAFE, il démontre également que tout abaissement des niveaux de particules, entraîne un bénéfice sanitaire et économique.

Un dépassement récurrent de la réglementation en Ile-de-France

Face à cet enjeu sanitaire, les réglementations européenne (directive CAFE) et française imposent la surveillance des particules (PM10 et PM2.5) et fixent des normes de qualité dans l'air à respecter. En Ile-de-France, la surveillance des particules effectuée par Airparif depuis plus de dix ans met en évidence des dépassements chroniques de la plupart de ces valeurs réglementaires.

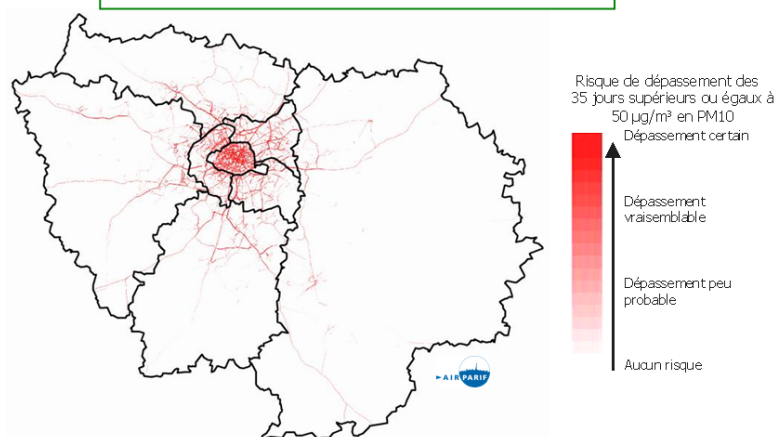
Situation des niveaux de particules mesurées en Ile-de-France au regard de la réglementation

Polluants problématiques en Ile-de-France	Tendance 2000-2010		Normes à respecter Valeur limite		Normes non contraignantes			
	Loin du trafic	Le long du trafic	Loin du trafic	Le long du trafic	Objectif de qualité		Valeur Cible	
					Loin du trafic	Le long du trafic	Loin du trafic	Le long du trafic
Particules PM10	→	→	Respectée	Dépassée	Respecté	Dépassé		
Particules fines PM2,5	→	→	Respectée	Dépassée	Dépassé	Dépassé	Respectée	Dépassée

La valeur limite journalière pour les particules PM10 en particulier ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an) est excédée tous les ans depuis 2003, et les niveaux sont plutôt stables ces dernières années.

Dépassement de la valeur limite journalière pour les particules PM10

1,8 millions de Franciliens concernés en 2010



Le dépassement de cette norme concerne :

- un à quatre millions de Franciliens, selon les années et les conditions météo, principalement dans le cœur de l'agglomération parisienne. En 2010 c'est 15% des habitants de la région qui étaient exposés à ces niveaux de pollution.
- près de 30 % du réseau routier régional et certaines stations d'Airparif enregistrent même un dépassement plus d'un jour sur deux. Comme d'autres Etats Membres, la France est désormais en contentieux

² L'environnement pour les européens, Magazine de la direction générale de l'environnement - Commission européenne, 2005.

avec l'Union européenne pour non respect de la réglementation pour ce polluant, qui pourrait aboutir au paiement de pénalités financières très élevées par la France.

Pour les particules fines PM2.5, l'objectif de qualité français ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), qui correspond également aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, est largement dépassé dans toute la région et concerne l'ensemble des 11,7 millions de Franciliens.

Des sources de particules et des origines géographiques très diverses

Dans ce contexte, la définition et la mise en place de plans d'actions nécessitent l'identification de mesures appropriées pour faire baisser les teneurs en particules dans l'environnement et donc une bonne connaissance de la responsabilité des différentes sources de particules. La difficulté réside :

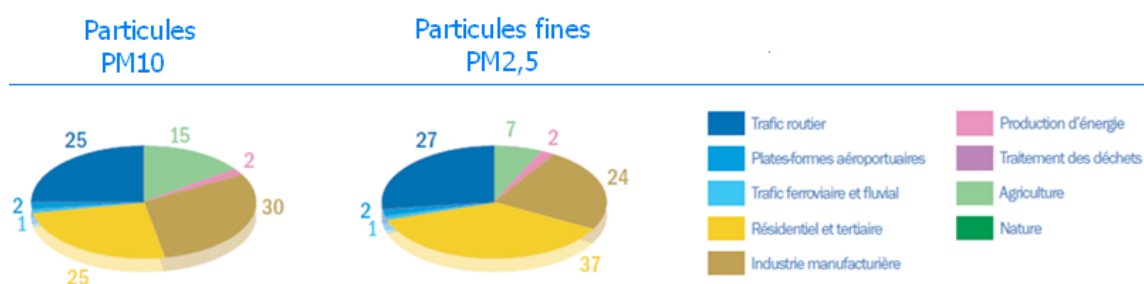
- d'une part, dans le fait qu'il n'existe pas de relation directement proportionnelle entre les émissions (la quantité de particules rejetées dans l'atmosphère) et les concentrations dans l'air (la teneur en particules dans l'air que l'on respire), qui dépendent de nombreux facteurs, notamment météorologiques et chimiques,
- et d'autre part dans la diversité des sources de particules.

Les particules que l'on respire proviennent à la fois :

- de rejets directs dans l'atmosphère pour les **particules primaires**.

On estime la quantité de ces particules par les principales activités humaines et les sources biogéniques à partir d'un inventaire d'émissions. Celui que réalise Airparif pour l'Ile-de-France depuis plus de dix ans met ainsi en évidence la contribution importante du trafic routier, du chauffage résidentiel (dont le chauffage au bois) et des entreprises, de l'industrie et de l'agriculture. Le trafic produit environ un quart des particules primaires dans la région. Le chauffage émet un quart des particules PM10 et 37% des particules fines PM2.5. Quant à l'industrie elle contribue à 30% des rejets de particules PM10 et à un quart de ceux des PM2.5. L'agriculture ressort également de cet inventaire avec 15% des émissions de PM10 et 7% de celles de PM2.5.

Répartition (en %) par grands secteurs d'activité des émissions annuelles de particules (PM10 et PM2.5) en Ile-de-France (source : inventaire des émissions 2007, Airparif)



- et de sources indirectes pour les **particules secondaires**.

Ces particules proviennent de transformations chimiques de polluants gazeux qui réagissent entre eux pour former des particules, du transport de particules à travers la France et l'Europe, ou de la remise en suspension des poussières déposées au sol. La contribution de ces sources est plus difficile à estimer.

L'objectif de l'étude menée par Airparif en partenariat avec le LSCE (Laboratoire de sciences du climat et de l'environnement, CNRS-CEA) vise à définir la contribution de ces différentes sources de particules (primaires et secondaires) aux niveaux observés dans la région, ainsi que les différents niveaux géographiques responsables (local, régional ou européen). Menée grâce au soutien financier de l'Etat, de la Région Ile-de-France et de la Ville de Paris, les résultats doivent aider à l'identification de mesures appropriées pour faire baisser les teneurs en particules dans l'environnement.

La méthodologie

Les particules sont des polluants complexes qui peuvent être directement émis dans l'atmosphère, on parle alors de particules primaires, ou provenir de la transformation des polluants gazeux présents dans l'atmosphère, dites particules secondaires. Elles peuvent de plus être transportées sur de longues distances et être remises en suspension une fois déposées au sol. De plus, les particules se composent de nombreuses substances et ne constituent pas une espèce chimique unique et homogène.

Méthodologie

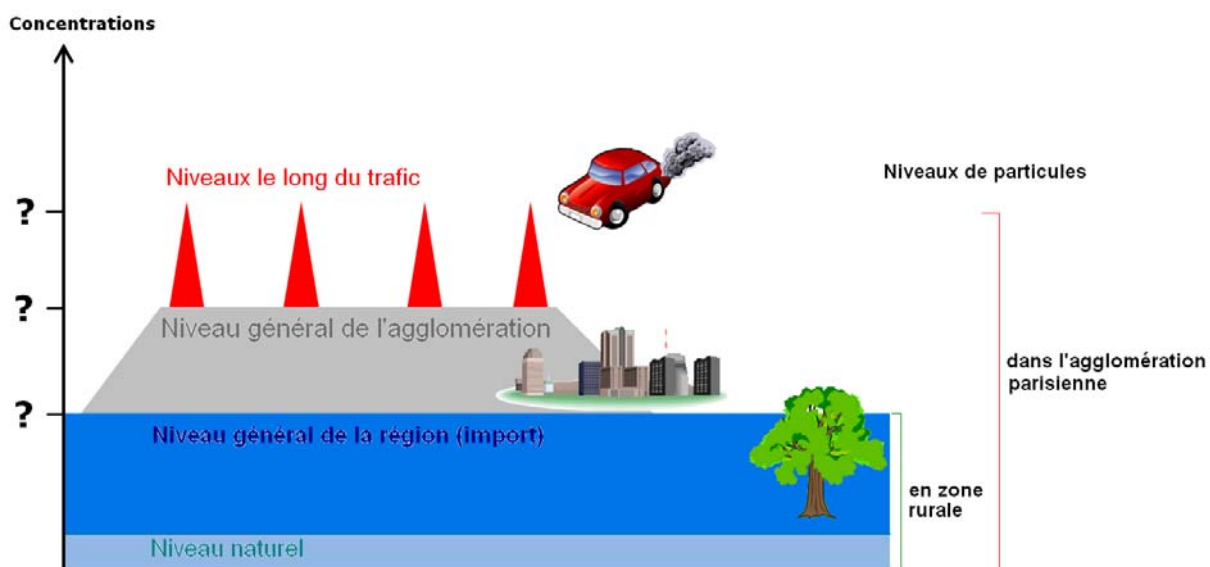
L'étude est réalisée selon la méthodologie de Lenschow développée à Berlin en 2001 où elle a permis ensuite la mise en place d'une zone de basse émission visant à abaisser les niveaux de particules et à respecter la réglementation européenne. Elle repose sur l'hypothèse d'additivité de trois échelles géographiques pour lesquelles les sources de particules peuvent être différentes :

- **le niveau général de particules à l'échelle de la région** (fond régional) qui provient essentiellement de transferts de particules à l'échelle interrégionale, nationale voire européenne, et du niveau naturel de particules.
- **le niveau général de particules dans l'agglomération parisienne**, qui est lié aux activités urbaines (fond urbain)
- **le niveau de particules le long des axes de circulation** qui résulte du trafic routier empruntant la voie de circulation considérée.

Si le niveau régional de particules résulte essentiellement d'import de ces polluants, le niveau urbain et à proximité du trafic résultent eux de productions locales.

Selon l'endroit où l'on se trouve, on sera soumis au minimum à une ou plusieurs de ces strates, et donc à des niveaux plus ou moins importants de particules. Si l'on se trouve en zone rurale, les niveaux de particules relevés correspondront aux niveaux généraux de la région, et donc aux niveaux de pollution transfrontière, c'est-à-dire importés d'autres régions de France et d'Europe. En revanche, dans l'agglomération parisienne, les quantités de particules mesurées correspondent à la fois à celles produites par l'agglomération auxquelles s'additionne celles de la région. Les concentrations maximales sont relevées à proximité du trafic où se cumulent l'influence locale du trafic, la contribution générale de l'agglomération et celle de la région.

Principe de la méthodologie de Lenschow utilisée pour l'étude



Des mesures à la fois de concentration, et de composition chimique, effectuées dans ces trois types d'environnement, couplées avec des informations météorologiques et les résultats d'inventaires des émissions permettent de définir :

- la quantité de particules, en termes de concentration, issues :
 - de l'import, c'est-à-dire les particules liées au transfert de pollution à grande échelle, et qui nécessite donc des actions concertées à l'échelle française et européenne pour être diminué,
 - de la production locale (émise et formée) de l'agglomération parisienne, sur laquelle des actions locales peuvent être envisagées pour la faire baisser,
 - du trafic routier, sur lequel des actions ciblées et localisées permettront d'améliorer la situation sur les axes traités.
- la contribution des différentes activités émettrices aux niveaux de particules selon ces trois échelles géographiques, permettant de savoir quelles sont les activités les plus émettrices pour chacune d'entre elles. Pour les décideurs, cette information permet d'identifier les sources sur lesquelles des actions de réduction auraient le plus d'efficacité.
- les caractéristiques chimiques associées à chacune de ces sources et de ces contributions géographiques pour pouvoir éventuellement cibler certains composés selon leurs effets sanitaires ou leur importance dans les quantités de particules relevées.

Les particules primaires et secondaires peuvent provenir des trois niveaux géographiques : pollution transfrontière (import), pollution générale de l'agglomération parisienne (urbain) et du trafic. Pour ces différentes raisons, la contribution des différentes sources ne peut être déterminée directement avec un inventaire régional des émissions. En revanche, un inventaire pour chaque niveau géographique couplé à la mesure de la composition chimique des particules permet d'identifier la contribution des différentes sources pour les particules primaires. L'estimation des sources des composés secondaires est beaucoup plus complexe.

Détermination de l'origine géographique des particules

La détermination de l'origine géographique des particules a été faite pour chaque type de localisation et composé par composé (espèces ioniques, carbonées et minérales) afin de pouvoir remonter jusqu'à l'estimation des principales sources d'émissions.

Estimation de la contribution des principales sources d'émission aux concentrations en particules pour chaque échelle géographique

Cette estimation a été réalisée en couplant les profils de composition chimique avec l'inventaire des émissions de l'agglomération parisienne réalisé par Airparif d'une part pour le niveau urbain, et celui d'EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) recensant les émissions européennes pour le niveau régional.



Station rurale nord-est de Crouy-sur-Ourcq

L'étude

L'étude en quelques chiffres...

- ✓ **7 stations** de mesure pendant un an dont une ponctuelle
- ✓ **9 analyseurs automatiques** (6 de particules, 3 de dioxyde d'azote et 2 de monoxyde de carbone)
- ✓ **14 préleveurs manuels**
- ✓ **5096 prélèvements** (98 par semaine)
- ✓ 104 tournées de ramassage des filtres et **5682 filtres analysés**
- ✓ Plus de **10 000 pesées**
- ✓ Plus de 30 espèces chimiques mesurées chaque jour et sur chaque site, soit **87 600 analyses chimiques** :
 - ◆ 65700 pour les particules fines PM_{2,5}
 - ◆ 21 900 pour les particules grossières PM₁₀



L'objectif de l'étude, menée par Airparif **en partenariat avec le LSCE (Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, CNRS-CEA)** est double :

- déterminer la proportion de particules induites localement par le trafic, produites par l'agglomération parisienne et importées d'autres régions en France ou en Europe.
- estimer la contribution des différentes sources d'émissions (chauffage industrie, trafic, agriculture...) aux niveaux de particules mesurées le long d'une route à fort trafic, dans l'agglomération parisienne en général, ou à l'échelle de la région.

Les résultats doivent aider à l'identification de mesures appropriées pour faire baisser les teneurs en particules dans l'environnement.

Cette étude de grande ampleur s'est déroulée de 2009 à 2011. Elle a été rendue possible grâce au **soutien financier de l'Etat, de la Région Ile-de-France et de la Ville de Paris.**

Elle a été pilotée par Airparif qui a souhaité s'appuyer sur un **comité scientifique européen** pour valider la méthode,

compte-tenu de la complexité de cette étude, des différentes expertises nécessaires et de ses enjeux. Ce comité scientifique, était composé d'experts français et européens dans le domaine des particules et des aérosols, ainsi que de représentants institutionnels français. La participation d'un expert de Berlin, qui assurait d'ailleurs la présidence de ce comité scientifique, de Londres et de Barcelone, a notamment permis de bénéficier de leurs retours d'expérience. Les prélèvements ont été effectués par Airparif et les analyses chimiques en laboratoire par le LSCE. Tous deux ont conjointement travaillé à l'interprétation des résultats.

Polluants étudiés

Cette étude est **essentiellement ciblée sur les particules fines PM_{2.5}**, plutôt que sur les PM₁₀ pour deux raisons :

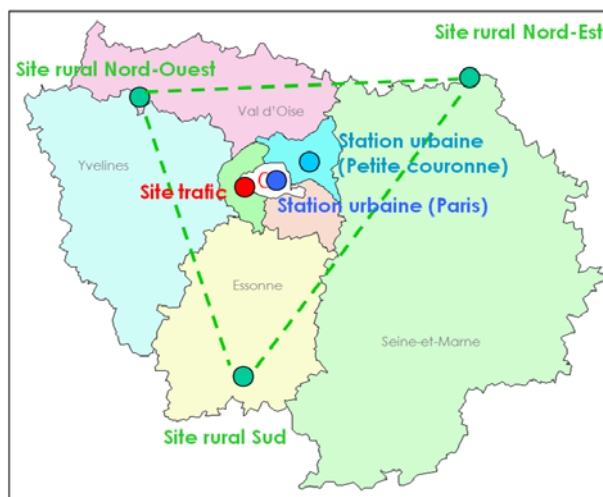
- les particules fines ont un effet plus néfaste sur la santé : elles pénètrent plus profondément que les PM₁₀ dans les voies respiratoires et se composent généralement des composés les plus toxiques³,
- elles représentent en moyenne 70 % de la masse totale de PM₁₀ en Ile-de-France. Toute action de diminution des concentrations en PM_{2.5} se répercutera positivement sur les concentrations en PM₁₀.

Campagne de mesure et outils d'analyse

Stations de mesure

Les mesures ont été réalisées sur une année complète, de manière à documenter les diverses situations météorologiques saisonnières et obtenir des résultats représentatifs et généralisables. La campagne de mesure s'est déroulée du **11 septembre 2009 au 10 septembre 2010.**

La localisation des 7 sites de mesure a été choisie de manière à pouvoir évaluer chacune des trois échelles identifiées dans la méthodologie de Lenschow (voir fiche



Emplacement des 7 stations de la campagne de mesure

³ OMS, 2001 ; OMS, 2007 ; Karlsson, 2006 ; U.S. EPA, 2004 ; Primequal Predit, 2005

« méthodologie »), indépendamment les unes des autres, et pour tous les types de situations météorologiques :

- **1 site trafic** implanté sur la station du Boulevard périphérique à la Porte d'Auteuil. Cet emplacement permet d'évaluer l'impact de cet axe de circulation majeur en Ile-de-France, sur lequel circulent chaque jour plus de 220 000 véhicules, et qui constitue une importante source de pollution atmosphérique liée au trafic routier dans la région. Pendant 15 jours **un site complémentaire** a été instrumenté boulevard Haussmann à Paris à des fins de validation et de comparaison.
- **2 sites urbains** visant à renseigner les niveaux généraux de particules provenant de l'agglomération parisienne: **à Paris** (dans le 4ème arrondissement) et **en Petite couronne** (à Villemomble, en Seine-Saint-Denis). Ce dernier site a été retenu en fonction des directions de vent favorisant les niveaux de pollution les plus élevés.
- **3 sites ruraux** installés au nord-est de la région (à Crouy-sur-Ourcq, Seine-et-Marne), au sud (à Bois-Herpin, Essonne) et au nord-ouest (à Frémenville, Val-d'Oise). Ils permettent d'évaluer le niveau de base régional commun à tous les prélèvements quelque soit la direction de vent.

Méthodes de mesure

En raison de la complexité de la forme et de la nature chimique des particules, deux méthodes de mesure ont été combinées pendant un an sur 6 stations de mesure:

- **le suivi de leur concentration** (exprimé en microgramme par mètre cube ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tel qu'il est réalisé par le réseau de surveillance d'Airparif,
- **et l'analyse de leur composition chimique**, à partir de deux types de filtres exposés à l'air puis analysés en laboratoire, qui permet de remonter à leurs origines et aux mécanismes de formation.

Les concentrations suivies, sont essentiellement celles de particules PM2.5 et PM10 à partir d'analyseurs automatiques équipant le réseau d'Airparif. Sur certains sites situés dans l'agglomération parisienne, le suivi des concentrations de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote a également été utilisé pour des recoupements et des comparaisons.

Afin de déterminer la composition chimique des particules, plus de **5600 filtres ont été analysées** en recherchant les constituants majeurs des particules, à savoir :

- les espèces carbonées, et en particulier le carbone organique (OC) et le carbone élémentaire (EC) ;
- les principaux ions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , et organiques légers) ;
- les métaux (Al, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Zn, As, Pb, Cd, Mn et Cu) ;
- les sucres, dont le levoglucosan, traceur du brûlage de la cellulose et donc du chauffage au bois.

La base de données ainsi constituée comprend plusieurs dizaines de milliers de résultats d'analyses chimiques. Elle est d'une taille sans précédent pour une campagne ciblée d'analyse de la pollution atmosphérique pour une campagne de mesure de la pollution en Ile-de-France.

Analyse météo

Une analyse météorologique détaillée a été réalisée pour évaluer la contribution des différentes échelles géographiques aux niveaux de particules jour par jour, à partir de l'exploitation

- des bulletins météorologiques et des données RADOME fournis par Météo France à Airparif,
- des données issues des outils de modélisation d'Airparif (ESMERALDA).
- des « rétro-trajectoires » qui permettent de retracer l'origine et le parcours d'une masse d'air jusqu'à son arrivée au-dessus des différentes stations.

Couplage avec les inventaires d'émission

Pour définir quelles étaient les contributions de différentes activités aux niveaux de particules selon l'échelle géographique, deux inventaires d'émissions ont été utilisés:

- **l'inventaire des émissions d'Airparif** pour l'agglomération parisienne pour caractériser les sources d'émission du secteur urbain ;
- **et l'inventaire européen EMEP** (European Monitoring and Evaluation Programme), pour spécifier la contribution de différentes activités aux niveaux de pollution importés.

Les Résultats

Les résultats présentés ci-dessous concernent essentiellement **les particules fines PM2.5**, compte tenu de leur importante proportion dans les particules grossières PM10, **et le site de mesure à proximité du trafic** où la méthodologie utilisée permettait de distinguer les contributions du trafic de cet axe, de celles de l'agglomération et de la pollution transfrontière. C'est de plus le long de la circulation en général que les niveaux de particules sont les plus critiques. Quelques précisions sont apportées par rapport aux PM10. Les résultats sont également détaillés sur les sites éloignés du trafic dans l'agglomération. Plus d'éléments sont disponibles dans le rapport complet de l'étude, téléchargeable dans la rubrique publications sur www.airparif.asso.fr.

Par ailleurs, l'année 2009-2010 étant représentative de conditions météorologiques dans la normale, ces résultats peuvent être généralisés, mis à part les conditions hivernales, plus froides et neigeuses que d'ordinaire.



Le long de la circulation, des particules en majorité franciliennes avec une contribution importante et stable toute l'année du trafic routier

Particules fines PM2.5

Origine géographique

Près de 60% de la concentration annuelle en particules fines mesurée sur le site trafic du Périphérique résulte d'une production locale : par le trafic généré par cet axe routier à près de 44%, et par la pollution générale de l'agglomération parisienne pour 17%. Près de 40 % de ces niveaux proviennent en revanche de l'import, c'est-à-dire de particules transportées provenant d'autres régions françaises et européennes.

Sources et origines des particules fines PM2.5 mesurées sur le site trafic du "Boulevard périphérique" du 11/09/2009 au 10/09/2010

Site trafic du Périphérique	Particules produites en Ile-de-France		Particules importées
	par le trafic local	par l'agglomération	
Proportion de particules fines apportées	44% (11 g/m ³)	17% (4 µg/m ³)	39% (10 µg/m ³)
Sources principales	<ul style="list-style-type: none"> • trafic dont fumées d'échappement (40%) 	<ul style="list-style-type: none"> • trafic de l'agglomération (4%) • chauffage résidentiel au bois (4%) • réactions chimiques dans l'atmosphère (5%) • industrie (2%) 	<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (19%). Précurseurs émis principalement par le trafic, l'agriculture et l'industrie • chauffage résidentiel et tertiaire (9%) • trafic routier (3%) • autres transports dont maritime (3%) • industrie (2%) • source naturelle (1%)



- Action locale sur le trafic de cet axe
- Action locale à l'échelle de l'agglomération
- Action nationale et européenne

Sources des particules fines produites localement

Les particules fines sont donc produites localement à près de 60% par des sources franciliennes (circulation de l'axe routier considéré et agglomération parisienne) sur lesquelles il est possible d'agir. Si le trafic constitue la source la plus importante, il n'est pas la seule :

❶ **Le trafic routier: pour 44%**, dont 40% provenant de la circulation sur le boulevard périphérique.

Une analyse des résultats sur d'autres stations trafic comme celle du boulevard Haussmann dans Paris montrent que cette proportion peut varier selon les caractéristiques et la fréquentation de la voie.

Cette contribution s'explique à **90% des véhicules diesel**, mais la contribution des véhicules essence induites essentiellement par les deux roues motorisés de moins de 50 cm³ ne doit pas être sous estimée en ville.

Parmi les véhicules diesels, et selon les sites de mesure, 50% des particules émises proviennent des véhicules particuliers, 20 à 35% des véhicules de livraison (diesels), et 10 à 20% des poids lourds.

Les fumées d'échappement constituent l'essentiel de la contribution du trafic aux émissions de particules fines. Mais la remise en suspension de particules déposées au sol, de l'abrasion des pneus et de la route peut également être importante, davantage même sur le boulevard Haussmann que sur le Périphérique d'après les mesures. Pour ce dernier point, plusieurs explications sont envisagées, notamment le nombre de feux de signalisation et la circulation moins fluide à Haussmann. Mais les phénomènes de remise en suspension et d'abrasion sont encore mal connus et gagneraient à être investigués pour des actions potentielles de réduction des particules en ville.

Contributions des différentes catégories de véhicules aux niveaux de particules fines sur 3 sites

Contribution aux particules fines provenant du trafic	Sur le Périphérique	Sur le boulevard Haussmann (Paris)	Dans l'agglomération parisienne
Véhicules diesel	97%	89%	95%
Véhicules particuliers	52%	54%	48%
Véhicules de livraison	25%	20%	35%
Poids lourds	20%	7%	9%
Transports en commun (bus)	-	8%	3%
Véhicules essence	3%	11%	5%
2 roues inférieures à 50 cm ³	-	7%	3%
Véhicules particuliers	>1%	1%	<1%
2 roues supérieures à 50 cm ³	3%	3%	2%

❷ **Les réactions chimiques dans l'atmosphère** à partir de gaz et qui donnent lieu à des particules fines secondaires (composés inorganiques secondaires, dont nitrates et sulfates) à 5%.

❸ **Le chauffage résidentiel au bois dans l'agglomération parisienne, à hauteur de 4%.**

Mais cette contribution provient essentiellement de l'impact de l'agglomération parisienne qui comprend environ un quart de particules fines produites par le chauffage au bois.

Comment agir ?

Le trafic, en particulier diesel et toutes catégories de véhicules confondues, ainsi que le chauffage au bois résidentiel, et notamment en mode d'appoint, constituent donc des contributions importantes aux niveaux de particules fines sur lesquelles il est possible d'agir localement. En revanche, on ne peut agir qu'indirectement sur les particules secondaires par une diminution de leurs gaz précurseurs. L'analyse de la composition chimique de particules le long du trafic a de plus mis en évidence que des actions sur le trafic permettraient probablement d'apporter un bénéfice sanitaire complémentaire en diminuant la teneur de certains composés. Ce serait le cas du carbone élémentaire, émis à 80% par le trafic et qui serait en partie à l'origine de la toxicité des PM2.5.

Particules grossières PM10

Origine géographique

Comme pour les particules fines, le trafic empruntant le Périphérique contribue pratiquement à la moitié de la concentration en particules grossières. L'autre moitié provient de l'agglomération parisienne et de particules produites en dehors de la région et importées. Mais ces valeurs sont assez caractéristiques de cet axe routier majeur de la région et ne peuvent être généralisées à l'ensemble des axes de l'Ile-de-France selon leurs caractéristiques.

Origine géographique des particules grossières PM10 mesurées sur le site trafic du "Boulevard périphérique" du 11/09/2009 au 10/09/2010

Site trafic	Particules produites par le trafic de l'axe	Particules provenant de la pollution générale de l'agglomération transfrontière
du Périphérique		
Particules grossières PM10	46% (18 µg/m ³)	54% (21 µg/m ³)

↑
Action locale sur le trafic de cet axe

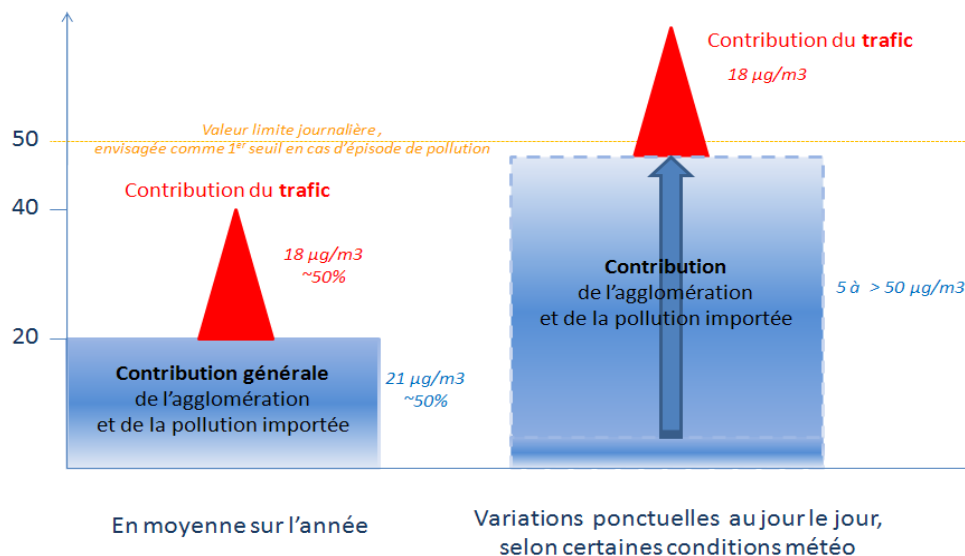
↑
Action générale à l'échelle de l'agglomération, nationale et européenne

La contribution importante du trafic aux niveaux de particules grossières est relativement constante au cours de l'année : la différence de concentrations entre l'été et l'hiver est en effet très faible, de l'ordre de 2 µg/m³. Près de 6% proviennent de la remise en suspension de particules et d'abrasions des véhicules et de la route.

Les principales variations constatées au jour le jour s'expliquent essentiellement par celles de la quantité de particules fines importées, en moyenne de 10 µg/m³, mais qui peut varier de 5 à plus de 50 µg/m³ selon les conditions météorologiques. Par ailleurs, lorsque la météorologie est peu dispersive, la contribution de l'agglomération parisienne aux niveaux de particules augmente significativement et pourra même être identique à celle du trafic ou de la pollution importée.

Contribution des différentes échelles géographiques aux niveaux de particules PM10 relevés sur le périphérique, en moyenne sur l'année et variations au jour le jour selon les conditions météorologiques.

Concentrations en particules PM10 le long du trafic (µg/m³)



Conséquences sur le dépassement de la valeur limite journalière des PM10 (50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an)

Cette part variable de l'import et de l'agglomération parisienne lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises, s'ajoute à la part importante et plutôt stable du trafic et explique les dépassements

fréquents de la valeur limite journalière de 50 µg/m³, dépassée 155 jours à Auteuil, contre 35 autorisés. Ces dépassements sont répartis tout au long de l'année, et s'observent quasiment un jour sur deux. Ils plaident donc d'avantage en faveur de mesures de restrictions chroniques et à large échelle plutôt que ponctuellement en cas d'épisode de pollution.

Cas particulier: Impact du salage le long des routes au cours de l'hiver 2009-2010

Une analyse a été menée sur la proportion de sels de mer liée à la contribution du trafic local. Mais l'hiver 2009-2010 ayant été exceptionnellement neigeux et le salage particulièrement important, cette analyse n'est pas représentative des autres années et ces résultats ne peuvent être généralisés.

L'impact du salage des routes (salage direct ou remise en suspension entre les événements neigeux) pour l'hiver 2009-2010 a pu être estimé à environ 1,4 µg/m³ (moins de 3 % de la concentration en PM10). Sans le salage, 13 jours de dépassement de la valeur limite journalière (50 µg/m³) auraient pu être évités sur les 155 jours enregistrés sur le boulevard périphérique. En revanche, dans l'agglomération, en situation éloignée du trafic, le salage n'est responsable d'aucun dépassement.

Comment agir ?

Une action spécifique visant le trafic d'un axe routier permettrait d'agir, dans le cas du Périphérique, sur 45% de sa concentration en particules PM2.5 et 50% des concentrations de particules PM10.

Par ailleurs, cette étude démontre la stabilité des particules produites par le trafic au cours de l'année, qui, associée à la récurrence un jour sur deux des dépassements de la valeur limite, plaide pour des mesures de réduction chroniques et à large échelle plus que pour des mesures ponctuelles en cas d'épisode de pollution.

Elle met aussi en avant la contribution des particules PM2.5 aux niveaux de particules PM10 et donc l'intérêt de cibler des mesures de réduction de cette catégorie de particules qui sont elles aussi réglementées et qui permettraient de faire baisser aussi efficacement le niveau des PM10.



Dans l'agglomération parisienne et loin du trafic, des particules qui proviennent en majorité de transferts de pollution

En situation éloignée du trafic, les deux tiers de la concentration annuelle en particules fines PM2.5 mesurée à Paris, proviennent de sources extérieures à la région. Un tiers est cependant généré par des sources localisées dans l'agglomération parisienne, et notamment le chauffage au bois et le trafic.

Origine géographique des particules PM2.5 mesurées dans l'agglomération parisienne à Paris (sept. 2009 à sept. 2010)

Site urbain éloigné du trafic (Paris)	Particules produites en Ile-de-France par l'agglomération	Particules importées
Particules fines PM2.5	32% (4 µg/m ³)	68% (10 µg/m ³)
Sources principales	<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (7%) • chauffage (9% dont 7% du chauffage au bois) • trafic routier (8%) • industrie (3%) 	<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (34%). Précurseurs émis principalement par le trafic, l'agriculture et l'industrie • chauffage du secteur résidentiel et tertiaire (16%) • trafic routier (6%) • autres transports dont maritime (5%) • industrie (3%) • sources naturelles (2%)



● Zoom sur le chauffage résidentiel au bois dans l'agglomération parisienne,

Bien que le bois soit un combustible peu utilisé en Ile-de-France, le chauffage au bois est néanmoins une source très significative de particules fines PM2.5 produites dans l'agglomération parisienne (environ un quart).

➤ En termes de quantité de particules fines émises : le bois ne représente que 5 % de la consommation énergétique en combustibles utilisés pour le chauffage résidentiel selon le Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie, mais il est responsable de 84% des émissions de particules fines du chauffage résidentiel. A titre de comparaison, la consommation du gaz naturel atteint presque 80%, émet moins de 3% des PM2.5 du secteur chauffage résidentiel. Quant au fioul, il correspond à 13% de la consommation en combustible et contribue à hauteur de 13% aux émissions des particules pour le chauffage résidentiel.

➤ En termes de concentration, et donc de qualité de l'air, cette étude permet de quantifier qu'en hiver, le chauffage au bois constitue une part non négligeable des particules fines produites localement. Il est en effet à l'origine de 7% des PM2.5 mesurées en zone urbaine pendant l'année (9% en hiver) et constitue un quart de la contribution de l'agglomération parisienne. De plus, parmi les particules importées, une partie provient aussi du chauffage au bois résidentiel, mais il n'a pas été possible de la quantifier dans le cadre de cette étude.

➤ Les analyses de composition des particules menées pendant l'étude vont dans le même sens. La matière organique (traceur de combustions incomplètes telles que le chauffage au bois) et le lévoglucosan (traceur de biomasse et donc du chauffage au bois) ont été trouvés en plus faible quantité sur la station de mesure dans Paris, que sur celle de Villemomble, en petite couronne, puisque le bois est interdit à Paris comme source principale de chauffage.

Comment agir ?

En moyenne sur l'année, les particules fines générées par l'agglomération parisienne proviennent à parts égales (environ 7%) du chauffage au bois et du trafic, sur lesquels il est possible d'agir directement et localement, et de particules secondaires pour lesquelles on ne peut agir qu'indirectement sur les précurseurs.

Le chauffage au bois étant préconisé dans la lutte contre le changement climatique, une prise en compte de cette source de particules semble primordiale pour que son développement ne vienne pas à terme compromettre les efforts de diminution de la pollution atmosphérique entrepris par ailleurs.

Sources de particules fines importées

La pollution en provenance d'autres régions est responsable de près de 70% des niveaux de particules fines mesurés en Ile-de-France. Ces particules proviennent majoritairement de composés inorganiques secondaires (34%) formés par réactions chimiques dans l'atmosphère à partir de composés gazeux émis par trois sources principales : le trafic routier, l'agriculture et l'industrie. La méthodologie choisie dans cette étude ne permet pas de quantifier leur contribution respective mais il est certain qu'elles sont toutes deux significatives.

Le chauffage des habitations et des entreprises en France et en Europe, tout combustible confondu, constitue la deuxième principale source de particules fines importées sur la région (16%). Mais il n'a pas été possible de distinguer la part spécifique du chauffage au bois dans cette contribution.

Les autres sources de particules importées sont par ordre d'importance : le trafic routier (6%), les autres modes de transports dont le maritime (5 % chacun), l'industrie (3%) et les sources naturelles (2%).

Comment agir ?

La diminution de ces niveaux implique une action à l'échelle nationale et européenne principalement sur le trafic, le chauffage et le transport maritime, ainsi que sur les précurseurs émis par l'agriculture, le trafic et l'industrie.