HAL open science

Pollutions de proximité, transport et agriculture (PPTA)

Benjamin Loubet, Amir Ali Feiz, Brigitte Durand, Pierre Cellier, Christine Aubry, Caroline Petit, Elisabeth Rémy, Cecile Blondeau Cécile, Fabrice Dugay, Cécile Honoré, et al.

To cite this version:

Benjamin Loubet, Amir Ali Feiz, Brigitte Durand, Pierre Cellier, Christine Aubry, et al.. Pollutions de proximité, transport et agriculture (PPTA). Colloque de présentation des travaux : La qualité de l'air dans nos environnements de proximité, Jan 2011, Lyon, France. pp.39-45. hal-01019318

HAL Id: hal-01019318

https://hal.science/hal-01019318v1

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Programme de Recherche Interorganisme pour une Meilleure Qualité de l'Air à l'Echelle Locale

Primequal Predit

La qualité de l'air dans nos environnements de proximité

Quelles sont les sources de polluants ?

Quel impact sur notre santé ?

Quelles sont les voies d'amélioration pour demain ?

Commissariat Général au Développement Durable

Direction de la Recherche et de l'innovation

Service de la Recherche

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports, et du Logement

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Direction Exécutive des Programmes

Direction Villes et Territoires Durables

Service Évaluation de la Qualité de l'Air

Lyon 1

IRCELYON

Colloque de présentation des travaux à Lyon : 26 et 27 janvier 2011

Pour plus d'informations : www.primequal.fr

Animation scientifique du programme
INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

•
Coordination : **Zogma**
•
Conception et réalisation graphique de la couverture : **INERIS**
•
Conception et réalisation graphique de l'intérieur : **www.lasouris.org**
•
Dessins : **Julien Rabanes/La Souris**
•
©Photos : **Phovoir, Julien Rabanes/La Souris, www.photo-libre.fr**
•
Impression : **Imprimerie Bobillier**

Les articles relatifs aux projets ont été rédigés par les équipes de recherche à l'occasion du colloque de présentation des travaux et accompagnent les exposés des intervenants. Ils n'engagent que leurs auteurs.

SOMMAIRE

Contexte des travaux de recherche sur la pollution de proximité

Présentation ..... *page 3*

Les traceurs de la pollution de proximité

Présentation ..... *page 5*

• Fraction organique des aérosols – Méthodologie d'estimation des sources (FORMES) : Jean-Luc JAFFREZO, LGGE/CNRS ..... *page 6*

• Étude de la composition isotopique moléculaire $\delta^{13}C$ comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques particulaires dans l'atmosphère : Hélène BUDZINSKI, ISM/LPTC/Université de Bordeaux ..... *page 12*

Exposition de la population à la pollution de proximité

Présentation ..... *page 19*

• Détermination de la contamination de l'air intérieur des habitats par les trihalométhanes, en vue d'une évaluation de l'exposition à ces substances par inhalation : Michel CLÉMENT, LERES/EHESP ..... *page 20*

• Exposition des femmes enceintes à la pollution d'origine automobile dans l'étude Incitra : Mireille CHIRON, INRETS/InVS/Lyon 1 ..... *page 24*

• Évaluation de l'exposition des citadins aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne : Claudine DELAUNAY, LCPP ..... *page 28*

Gestion des pollutions de proximité

Présentation ..... *page 33*

• Photochimie du bâti : sources et puits polluants oxydants (photoBAT) : Christian GEORGE, IRCELYON/CNRS/Université de Lyon 1 ..... *page 34*

• Pollutions de proximité, transport et agriculture : Benjamin LOUBET, Christine AUBRY, INRA ..... *page 39*

• Rôle de l'information sur la présence des pollens dans la prévention de la pollinose : Claire SÉGALA, SEPIA-Santé ..... *page 46*

• Approche psycho-sociologique de la quantification de la pollution de proximité au trafic et de ses implications dans l'agglomération parisienne : Lionel CHARLES, FRACTAL ..... *page 52*

Présentation de PRIMEQUAL

Le programme PRIMEQUAL ..... *page 59*

Le Comité d'orientation et le Conseil scientifique ..... *page 60*

L'appel à propositions de recherche : Pollution de proximité entre Traceurs et Indicateurs ..... *page 62*

Programme du colloque de présentation des résultats des travaux des 26 et 27 janvier 2011 ..... *page 68*

Contexte des travaux de recherche Primequal sur la pollution de proximité

Une pollution atmosphérique est dite « de proximité » lorsqu'elle est principalement attribuable à des sources d'émission de polluants, fixes ou mobiles, situées au voisinage de la zone considérée. Si les sources d'émission de la pollution de proximité sont souvent liées aux activités anthropiques (transports, activités industrielles, chauffage, déchets, agriculture, etc.), elles peuvent également avoir une origine naturelle (cas des pollens par exemple). La notion de pollution de proximité concerne aussi bien l'air que nous respirons à l'extérieur que celui que nous respirons à l'intérieur des bâtiments et des moyens de transports.

Souvent superposée à d'autres facteurs environnementaux défavorables (bruit, paysage et habitats dégradés, autres sources de nuisances…) liés à l'accumulation d'activités anthropiques dans un secteur géographique réduit (depuis une simple pièce dans un logement jusqu'à une zone de quelques km^2), la pollution de proximité a été mise en perspective avec les risques sanitaires encourus, ce qui en fait un véritable enjeu de santé publique.

Quelles sont les sources de polluants présents dans l'air que nous respirons ? Quel impact sur notre santé ? Quelles sont les voies d'amélioration pour demain ?

Afin d'apporter des réponses à ces questions, le ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) ont lancé en 2006 un appel à propositions de recherche « Pollution de proximité, entre traceurs et indicateurs », dans le cadre de leur programme commun Primequal (cf. la présentation du programme page 59).

L'objectif de ce programme de recherche inter-organismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale, est de 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 intérieur et extérieur afin de réduire les risques pour la santé et l'environnement.

Parmi les propositions reçues, le MEDDTL et l'ADEME ont soutenus 9 projets abordant les thématiques :

- traceurs de la pollution de proximité, ou comment identifier les sources de polluants,
- expositions de la population à la pollution de proximité à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments et des moyens de transports,
- gestion des pollutions de proximité (effet dépolluant des matériaux autonettoyants, rôle de l'information dans la prévention, impact et perception de la pollution due au trafic…)

Á l'issue des projets, la volonté du MEDDTL et de l'ADEME de favoriser le transfert des résultats de recherche vers les utilisateurs potentiels s'est traduite par l'organisation d'un colloque les 26 et 27 janvier 2011 à Lyon. Les différentes parties prenantes intéressées par les questions de qualité de l'air à l'échelle locale : décideurs, gestionnaires, industriels, associations et chercheurs ont été invitées à assister aux présentations des résultats des recherches, et dans un cadre plus large, à participer aux débats et à contribuer à définir les perspectives de recherche et d'actions publiques envisageables.

Les synthèses et rapports finaux des projets sont par ailleurs en ligne sur le site du programme, **www.primequal.fr.**

Les traceurs de la pollution de proximité

PATRICE CODDEVILLE
École des Mines de Douai
Département Chimie et Environnement

Les relations entre les sources d'émissions de polluants et la pollution mesurée en un site récepteur de proximité font encore l'objet de beaucoup de questionnements scientifiques. Les sources peuvent être d'origine naturelle ou anthropique et certaines sources sont chroniques et connues mais elles peuvent être variables dans le temps et dans l'espace. De nombreux travaux montrent que les populations sont parfois exposées à des niveaux supérieurs aux objectifs fixés dans le cadre législatif sans que l'on en connaisse véritablement les effets et les implications sanitaires. Il apparaît donc nécessaire, à l'aide de scénarii pertinents, de simuler la disparition ou la diminution de différentes sources et d'en évaluer l'impact sur la qualité de l'air mais aussi sur l'exposition des personnes. Plusieurs approches sont possibles pour aborder ces questions mais la diversité et la complexité de la pollution de proximité obligent à caractériser au mieux dans un premier temps, et pour un environnement donné, les espèces présentes puis à identifier un ou plusieurs traceurs de ces différentes sources de pollution auxquelles on pourra déterminer les parts attribuables à l'exposition. C'est par une utilisation conjointe de ces observations et des outils de modélisation qu'on peut affiner la connaissance des sources d'émission et ainsi proposer des scénarii à envisager pour réduire cette pollution.

Cette session débute par la présentation de différentes méthodologies d'étude des sources de matière organique à la fois primaires et secondaires, opérationnelles pour une large gamme de sites. La seconde présentation propose un nouvel outil basé sur la mesure de la composition isotopique en carbone 13 afin de permettre une caractérisation quantitative et qualitative des sources d'émission d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Fraction organique des aérosols Méthodologie d'estimation des sources (FORMES)

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateurs et responsables scientifiques

Nicolas MARCHAND
Laboratoire de Chimie et Environnement
Université de Provence
3, place Victor-Hugo case 29
13 331 Marseille CEDEX 3
Nicolas.Marchand@univ-provence.fr

Jean-Luc JAFFREZO
Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
Rue Molière, BP 96
38 402 St-Martin-d'Hères CEDEX
jaffrezo@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

AUTRES MEMBRES
Paolo LAJ
laj@lgge.obs.ujf-grenoble.fr

AUTRES ÉQUIPES
ATMO PACA (Marseille)
Dominique ROBIN
dominique.robin@atmopaca.org
ASCOPARG (Grenoble)
Marie-Blanche PERSONNAZ
mbpersonnaz@atmo-rhonealpes.org
LCME (Chambéry)
Jean-Luc BESOMBES
Jean-Luc.Besombes@univ-savoie.fr
IRCELyon (Lyon)
Christian GEORGE
Christian.George@univ-lyon1.fr
LaMP (Clermont-Ferrand)

MOTS CLEFS ET GLOSSAIRE

Aérosol, PM (Particulate Matter), PM2,5 (fraction granulométrique inférieure à 2,5 µm), Fraction Organique, EC (Elemental carbon), OC (Organic carbon), Aéthalomètre, AMS (Aerosol Mass Spectrometer), FDMS (Filter Dynamics Measurement System), HGF (facteurs de croissance hygroscopiques), VHT-DMA (volatility-hygroscopicity tandem of two Differential Mobility Analyzers), PMF (Positive Matrix Factorization), CMB (Chemical Mass Balance), Sources, Traceurs, Marseille, Grenoble

Contenu et objectifs du projet

Les objectifs généraux proposés pour le programme FORMES étaient de développer une étude de démonstration pour une méthodologie de détermination quantitative de l'influence des différentes sources sur la fraction organique de l'aérosol urbain (primaires et secondaires). Il avait été proposé de mener une telle étude dans des environnements urbains et conditions météorologiques et photochimiques très différenciés : Marseille l'été et Grenoble l'hiver. Les objectifs spécifiques du programme FORMES étaient de :

- déterminer quantitativement l'évolution des contributions relatives des principales sources primaires de l'aérosol organique par une approche de type CMB (Chemical Mass Balance),
- évaluer la contribution des processus secondaires par confrontation de plusieurs approches (chimiques et physiques) permettant de prendre en compte les principales caractéristiques des particules atmosphériques,
- au terme du programme, de proposer une méthodologie simplifiée d'étude des sources de matière organique à la fois primaires et secondaires, opérationnelle pour une large gamme de sites.

Présentation des travaux de recherche

Résultats obtenus

La méthodologie adoptée était ambitieuse et pluri approches. Tout d'abord, il était proposé que la spéciation des sources primaires soit réalisée au moyen de l'approche CMB (Chemical Mass Balance), méthode de référence pour l'US EPA (Environmental Protection Agency), qui s'appuie principalement sur des traceurs organiques (hopanes, stéranes, lévoglucosan, alcanes linéaires, acides carboxyliques, HAP…). Cette méthodologie peut être contrainte par d'autres approches complémentaires, comme principalement, l'étude des isotopes du carbone. Ensuite, nous avions proposé que la contribution de la fraction secondaire, beaucoup plus complexe à appréhender, soit évaluée principalement selon deux approches. La première est basée sur les résultats obtenus par AMS (Aerosol Mass Spectrometer, Aerodyne) pouvant être traités en termes de fractions primaires et secondaires. La seconde était beaucoup plus exploratoire et visait à étudier les relations entre les propriétés physiques des particules (volatilité et hygroscopicité) et les processus photochimiques donnant naissance à l'aérosol organique secondaire. Au terme du programme, nous avons aussi testé une autre méthode de déconvolution de certaines sources de la matière carbonée, utilisant les propriétés optiques des PM (Particulate matter).

Le programme prévoyait que ces méthodologies de déconvolution des sources des aérosols soient testées sur les jeux de données obtenues lors de deux campagnes de terrain présentant des caractéristiques bien différenciées. Ces deux campagnes de 15 jours effectifs se sont tenues en juillet 2008 (Marseille) et janvier 2009 (Grenoble), Le taux de fonctionnement des appareillages sur les deux campagnes a été excellent, conduisant à une base de données de très grande qualité. Une première analyse conduit à considérer la composition

chimique des PM2,5 (cf. figure 1 pour le cas de Marseille). Pour les deux campagnes, la matière carbonée (EC+OM : Elemental Carbon + Organic Carbon) représente largement plus que 50 % de la masse des espèces mesurées dans les PM2,5 (env. 60 % pour Marseille ; env. 63 % pour Grenoble). Parmi ces dernières, on note la prépondérance des acides organiques et des phtalates pour Marseille, et la part majoritaire des saccharides anhydrides sur Grenoble. Les espèces ioniques majeures (sulfates, nitrates, ammonium) constituent la seconde composante importante en masse. Les fractions crustales et les métaux ne représentent finalement qu'une faible part de la masse analysée.

La mise en œuvre de la méthode CMB sur les données des campagnes a nécessité un important travail, qui est fondamental, sur la détermination des espèces cibles, ainsi que sur les profils de sources inclus dans le traitement. Ces étapes demandent des allers-retours permanents avec des moyens de validation (deux exemples sont donnés ci-dessous pour le cas de Grenoble). Pour les deux campagnes, les résultats finaux acquièrent ainsi un très bon degré de certitude.

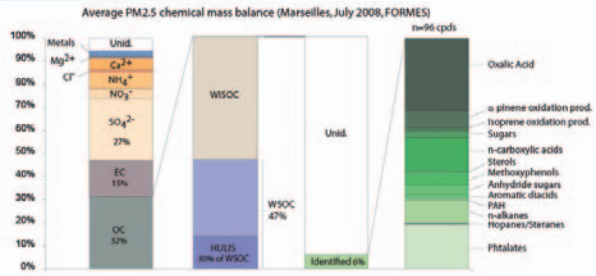


Figure 1 • Bilan de masse moyen des PM2,5 sur l'ensemble de la campagne de Marseille.

Pour Grenoble, la figure 2 montre que l'estimation des masses obtenues grâce à l'analyse CMB permet de très bien reconstruire la quantité de PM2,5 mesurée. La principale source de PM observée est la combustion de biomasse, représentant en moyenne 41 % des PM2,5. Cette contribution atteint 74 % sur épisodes. Les émissions véhiculaires, les autres sources organiques, et les espèces ioniques secondaires représentent respectivement en moyenne 10 %, 16 % et 31 % de la masse des PM2,5.

Pour Marseille, on montre que les émissions véhiculaires constituent la source majoritaire contribuant à 17 % du carbone organique (OC) et des PM2,5. Les sources industrielles contribuent à 2,5 % de l'OC, et à 7,1 % des PM2,5 en moyenne sur la période. Contrairement à Grenoble, la combustion de bois ne constitue qu'une source minoritaire, contribuant à 0,4 % des PM2,5. Toutefois, la principale information révélée par la déconvolution de sources par CMB est que les sources primaires considérées ne permettent d'expliquer en moyenne que 22 % de l'OC mesuré, 78 % du carbone restant non expliqués. Même si d'autres sources primaires non considérées dans les modélisations CMB peuvent expliquer une fraction de ce carbone non attribué, il est très probable que la très grande majorité de ce carbone soit d'origine secondaire, c'est-à-dire résultant de transfert gaz-particules suite à des processus de photo oxydation en phase gazeuse. Cette hypothèse est totalement validée par les mesures du ^{14}C, qui montrent que 66 % du carbone organique est de type biogénique secondaire et seulement 12 % seraient de type anthropique secondaire. Ainsi, même dans un milieu très anthropisé comme Marseille, la source biogénique secondaire apparaît, en été, comme une source prépondérante. Les données obtenues par le **couplage AMS + aéthalomètre** permettent de détailler la composition chimique de l'aérosol-submicronique sur un pas de temps de quelques minutes, pour les composants majeurs de l'aérosol, à savoir la fraction organique, les ions nitrates, sulfates et ammonium ainsi que la fraction réfractaire BC_{PM1} (la fraction Black Carbon PM2,5 est mesurée par aéthalomètre et la fraction PM_1 recalculée grâce aux comparaisons avec les mesures par impacteur). On note une très bonne correspondance pour les deux campagnes des valeurs moyennes sur l'ensemble de la campagne obtenues par AMS + aéthalomètre et par analyses off line des filtres haut volumes.

La déconvolution de type PMF (Positive Matrix Factorization) des données de la campagne de **Grenoble** conduit à une analyse en trois composants permettant de reconstruire 99 % de la fraction organique mesurée tout en obtenant 3 spectres référents connus, à savoir OOA (*Oxygenated Organic Aerosols*), HOA (*Hydrocarbon-like Organic Aerosols*) et pBBOA (*primary Biomass Burning Organic Aerosols*). La fraction OOA est clairement dominante comme cela a été fréquemment observé, suggérant l'importance des aérosols organiques secondaires. Cette hypothèse est confortée par la corrélation entre OOA et différents éléments inorganiques secondaires. Ce facteur OOA peut néanmoins inclure une fraction non négligeable de particules issues de la combustion du bois. L'élément

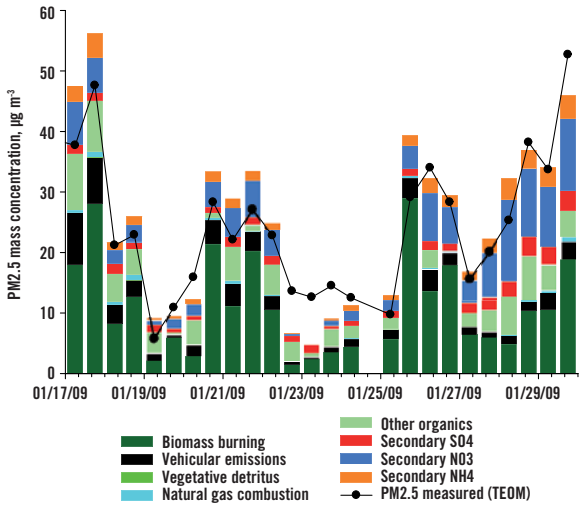


Figure 2 • Contributions des sources d'émissions aux PM2,5 à Grenoble en janvier 2009.

pBBOA est associé avec la fraction primaire liée aux feux de bois, hypothèse confortée par une bonne corrélation avec les mesures sur filtres du lévoglucosan, et représente la fraction principale de la fraction organique primaire avec un rapport pBBOA/HOA proche de 5. Cette fraction HAO est corrélée aux NOx et est associée aux émissions primaires plutôt d'origine véhiculaire. Cette meilleure solution donne une contribution moyenne sur l'ensemble de la période de 10 %, 38 % et 50 %, respectivement, des constituants HOA, pBBOA et OOA.

L'approche PMF aboutit dans le cas de **Marseille** à une description des spectres de masses en quatre facteurs distincts, dont un hautement corrélé aux HAP observés durant certains épisodes particuliers. L'apparition de fortes teneurs en HAP n'est pas corrélée aux émissions du trafic mais à des épisodes issus de la zone industrielle de l'étang de Berre. La fraction HOA est d'origine primaire et issue du trafic routier ; elle est parfaitement corrélée à la teneur en NOx. Le second facteur est SV-OOA (ou OOA-2), qui correspond à une fraction organique semi-volatile. La fraction LV-OOA (Low Volatility) plus oxydée et moins volatile, est fortement secondaire de nature. La fraction secondaire (LV-OOA + SV-OOA) représente donc à Marseille 80 % de la masse organique totale (OM) de la fraction PM1.

Finalement, la déconvolution des propriétés optiques de la fraction organique totale obtenue via les mesures **par aéthalomètre** a permis d'estimer sur Grenoble les contributions relatives de ces principales sources. Cette approche montre que la combustion d'énergie fossile (OM_{ff}), de bois (OM_{wb}) et sources non liées à la combustion (OM_{other}) représentent respectivement 13 %, 60 %, et 28 % de la matière organique totale, en moyenne sur l'ensemble de la période de mesure. Une forte variation diurne est observée, très similaire à celle mise en évidence par les résultats AMS - PMF. Clairement, là encore, la source principale identifiée est liée à la combustion du bois, conclusion validée par l'intercomparaison avec les mesures de lévoglucosan. De même, on obtient de très bonnes corrélations entre les fractions « fossil fuel » et les NOx.

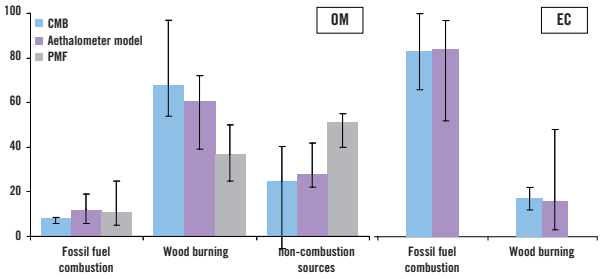


Figure 3 • Comparaisons des approches d'estimations des sources par les 3 approches : CMB, modèle Aéthalomètre, et AMS/PMF pour la campagne de Grenoble.

À Grenoble, trois approches d'estimations des sources ont été comparées pour OM et 2 pour EC (l'AMS ne pouvant pas détecter EC) (figure 3). Globalement, un très bon accord entre les méthodes est observé. La principale différence réside dans l'estimation de la contribution de la combustion de biomasse, et par extension celle des sources autres que la combustion, entre les approches CMB (en très bon accord avec les mesures de ^{14}C et en bon accord avec la méthode aéthalomètre), et l'approche AMS - PMF. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces différences.

Implications pratiques

Les comparaisons des méthodes présentées ci-dessus indiquent d'assez bons accords des résultats obtenus par les différentes approches, ainsi que leur validation par d'autres types de données (mesures ^{14}C, détermination des groupements fonctionnels, approche ratio-ratio…). Si l'on tient compte des nombreux travaux internationaux qui sont maintenant présentés dans la littérature, on est autorisé à penser que le stade initial de démonstration est dépassé et que ces méthodes peuvent être mises en œuvre de façon plus large. Cela nécessite cependant une vision critique de leurs avantages et inconvénients respectifs. À la suite de ce programme, on peut présenter quelques réflexions sur le caractère plus ou moins opérationnel des méthodes de détermination des sources employées, c'est-à-dire en particulier leurs capacités respectives à apporter des réponses aux problématiques nationales de dépassement de seuils réglementaires et de diminution des niveaux d'exposition moyens, problématiques qui se posent à l'ensemble du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air.
Dans ce cas, la notion d'opérationnalité est directement reliée à plusieurs facteurs. Ces méthodes doivent, en premier lieu, pouvoir être appliquées à des classes de particules soumises à réglementations (PM10 et PM2,5, dans un avenir proche) et ce, dans des environnements variés et simultanément sur plusieurs sites si besoin. Elles doivent également pouvoir renseigner sur des problématiques aussi bien locales (impact d'une source ponctuelle, par exemple) que nationales (impact du transport longue distance, par exemple). Enfin, elles doivent être raisonnablement simples à mettre en œuvre et d'un coût limité. Par ailleurs, et de façon implicite, leur résultat doit pouvoir être validé par un certain recul scientifique. Le tableau 1 ci-après propose une synthèse de l'adéquation entre les principales méthodes d'estimations des sources utilisées dans le cadre du programme FORMES et le cahier des charges imposé par une telle opérationnalité. Chacune de ces méthodes présente des avantages et des inconvénients et aucune ne peut être considérée comme universelle. Quoi qu'il en soit, aucune n'est totalement simple à mettre en œuvre et l'application en routine de l'une ou l'autre de ces méthodes dans le cadre du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ne peut être envisagée à l'heure actuelle sans le maintien de collaborations étroites avec des laboratoires de recherche.

	AMS/PMF	Méthode optique (Aéthalomètre)	Spéciation/CMB
PM10/ PM2,5	Le fonctionnement même des AMS (focalisation de l'aérosol) fait qu'ils ne peuvent analyser les particules de diamètre supérieur à 0.8 - 1 µm. L'approche PMF ne permet de déconvoluer que les sources de la matière organique. (Impossibilité de mesurer EC dans la configuration actuelle ; des développements sont en cours).	Possible, mais l'approche Aéthalomètre n'est relative qu'à la fraction carbonée (OM+BC).	Possible. Il faut cependant noter que les profils de référence aujourd'hui disponibles dans la littérature sont pour la plupart relatifs aux PM2,5. Leur application à la fraction PM10 nécessite quelques hypothèses.
Multi sites	La principale limitation à l'application de cette approche à plusieurs sites simultanément est la disponibilité et le coût de l'instrument (entre 350 et 450 k$ selon la version). En France, il n'existe pour le moment que 3 instruments de ce type (IRCELyon/LaMP, Université de Provence, et École des Mines de Douai). Des « mini » -AMS (ACSM) sont en cours de développement et commencent à être commercialisés. Leur coût demeure conséquent (~150 k$).	Possible à condition de disposer de plusieurs instruments, ou de travailler off line sur des filtres prélevés in situ. Il est difficile de faire un inventaire de tous les instruments de ce type disponible en France, mais ces derniers sont beaucoup plus répandus que ne le sont les AMS.	Possible, via des prélèvements simultanés par DA80. La réduction du jeu de données et la rationalisation des surfaces de filtres nécessaires à l'analyse effectuées au cours de ce projet montrent qu'il est possible de travailler sur un échantillon haut volume unique de 24 h (diamètre 150 mm) ; 12 h pour les zones polluées ou en périodes hivernales. Possibilité de s'appuyer sur les prélèvements réalisés par les ASQAA (mesures HAP, dispositif CARA…). Il n'est pas nécessaire de disposer d'une longue série de données ; dans l'absolu, 1 seul échantillon peut suffire.
Multi sources	Les approches AMS-PMF permettent de déconvoluer des facteurs. La difficulté réside dans l'attribution de ces facteurs à une source (individuelle ou groupe de sources de type similaire) ou à des processus. Sans trop d'ambiguïté, il est maintenant possible de quantifier les émissions véhiculaires (HOA) et la combustion de biomasse (BBOA). En fonction des spécificités du territoire étudié d'autres sources peuvent être déconvoluées, mais il apparaît nécessaire de disposer de données complémentaires. La richesse des données AMS permet d'aborder plus finement les fractions secondaires de l'OA, sans qu'il soit toutefois encore possible de discriminer sans ambiguïté l'AOS (traditionnel) du vieillissement. Les problématiques de pollution transfrontières peuvent être abordées qualitativement en considérant l'état d'oxydation de l'OA.	Ne permet d'estimer que les sources véhiculaires et la combustion de biomasse (pour OM et BC). La quantification d'autres sources apparaît, à l'heure actuelle, comme peu probable.	Conceptuellement, l'approche CMB permet de déconvoluer l'ensemble des sources primaires (majeures). La principale difficulté réside dans l'existence des profils d'émissions correspondant. La principale limitation de l'approche CMB réside dans sa capacité à appréhender la fraction secondaire. Cette fraction ne peut être estimée que de façon indirecte (à condition que l'ensemble des sources primaires ait pu être estimé). Les problématiques de pollution transfrontière ne peuvent être abordées par cette approche (sauf sources primaires très spécifiques).
Simplicité et coûts	L'AMS est un instrument de haute technologie qui nécessite l'emploi de personnel hautement qualifié. Il en est de même pour l'analyse des résultats. Le coût de ces instruments demeure très élevé (voir section Multi sites).	L'aethalomètre est un instrument robuste et simple d'utilisation. Son coût demeure modéré pour de l'instrumentation scientifique (~ 25 k€). La déconvolution du signal est, en soi, raisonnablement aisée (par rapport aux autres méthodes), mais repose sur des hypothèses non triviales. La validité des résultats est encore en débat au sein de la communauté scientifique internationale. Manque de recul.	Cette approche repose principalement sur la spéciation de la fraction organique. La qualité de ces mesures est un point essentiel. Ces analyses ne sont pas triviales et leur coût demeure relativement élevé. Ces méthodes ne sont pour l'heure maîtrisées que par un faible nombre de laboratoires en Europe (intercomparaison en cours pour certaines fractions et marqueurs organiques). L'application du CMB nécessite une très bonne connaissance de la synergie entre les marqueurs organiques et des spécificités locales en termes d'émissions.

Tableau 1 • Bilan sur l'opérationnalité des méthodes.

Figure 4 • Localisation des sites de travail sur lesquels a été appliquée la méthodologie CMB.

Valorisation des résultats

À la suite de ce programme de démonstration, il convenait de mettre plus avant ces méthodologies à l'épreuve du terrain, pour continuer à en tester les limites et les points faibles. Une telle démarche a pris place pour la méthodologie CMB, avec notre implication actuelle dans plusieurs programmes en collaboration étroite avec de nombreuses AASQA : travaux avec ATMO PACA sur la vallée du Peillon et avec AIR APS sur plusieurs vallées Alpines, travaux dans le cadre du programme MEGAPOLI (subventions EU-FP7 et ANR, implication d'AirParif), et développement de cette méthodologie dans le cadre du programme Particul'Air (8 AASQA régionales et financement ADEME) (cf. figure 4). La méthodologie a aussi été appliquée dans le cadre du dispositif CARA du LCSQA.

On voit que les situations envisagées sont très différentes : impact industriel, grandes zones urbaines, zones rurales bien différenciées. Cette diversité de situations constitue un très bon test pour la méthode. De plus, cette méthode CMB a été confrontée à l'approche AMS – PMF dans le cadre du projet MEGAPOLI. On retiendra de plus que plusieurs autres programmes sont en cours de mise en place, pour l'application de la méthodologie CMB (programmes CAMERA, APICE, CHARMEX, travaux sur sites ACTRIS, collaboration franco-suisse…), qui n'apparaissent pas sur cette carte. L'ensemble de ces actions a été en France systématiquement en appui aux politiques publiques, en étroite concertation avec les AASQA.

Valorisation et formations

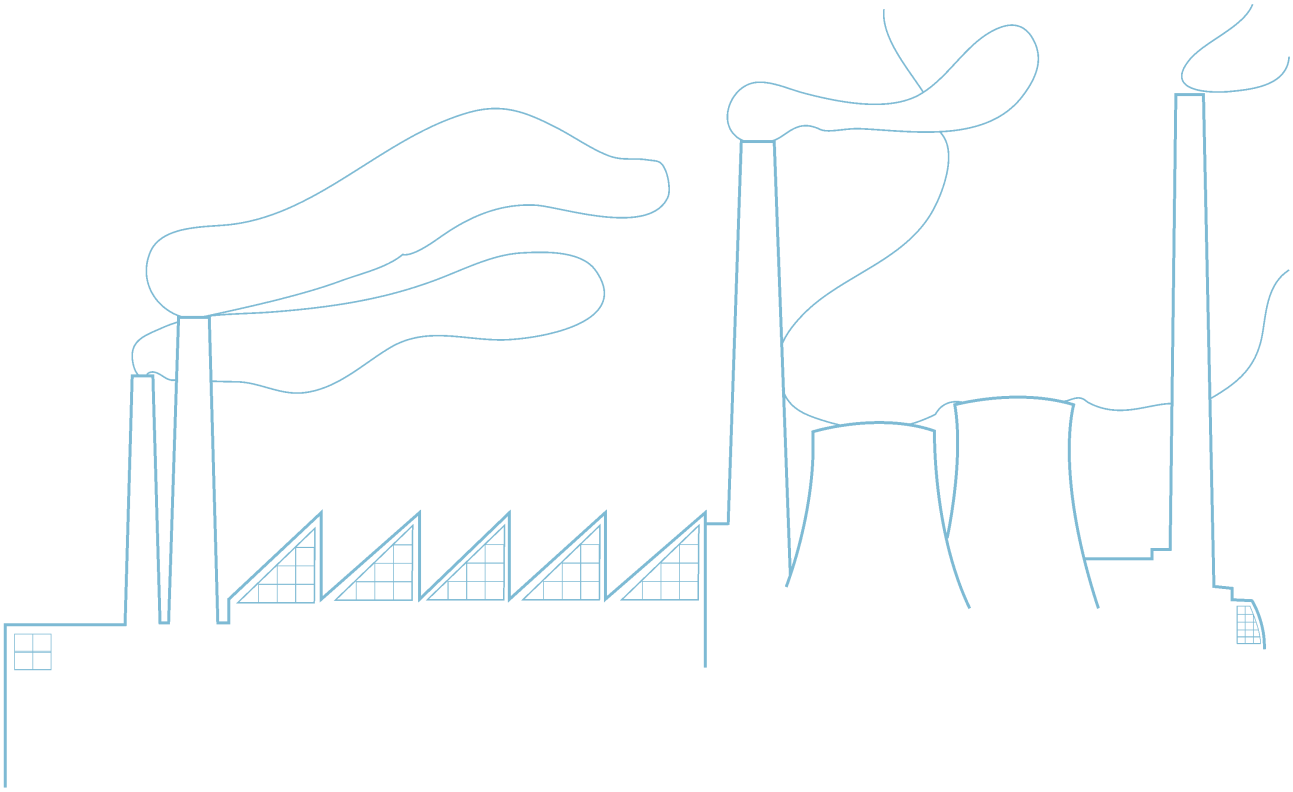
Les travaux de FORMES ont été présentés dans de nombreux colloques et conférences internationales (plus d'une vingtaine). L'expérience obtenue dans le cadre de FORMES a été largement utilisée par les différents acteurs dans le cadre de leur enseignement, dans des formations extrêmement variées. L'ensemble de ces activités d'enseignement est trop large pour être synthétisé ici. De nombreux stages de formation (niveaux DUT, L3, M1 et M2) ont été réalisés dans le cadre de FORMES. Leur nombre peut être évalué à une bonne vingtaine. Finalement, 5 thèses s'appuient (en tout ou partie) sur des données FORMES :

- **Michaud Vincent.** « *Étude des propriétés hygroscopiques des aérosols atmosphériques* ». Thèse de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. Direction P. Laj et K. Sellegri. Soutenue le 10/12/2009.
- **Baduel Christine**. « *Fraction organique de l'aérosol : quantification et caractérisation de la fraction HUmic LIke* ». Thèse de l'Université de Grenoble. Direction : D. Voisin et M. Legrand. Soutenue le 14/01/10.
- **El Haddad Imad.** « *Fractions primaire et secondaire de l'aérosol organique : Méthodologies et application à un environnement urbain méditerranéen, Marseille* » Thèse de l'Université de Provence. Direction : N. Marchand et H. Wortham. Soutenance le 17/01/11.
- **Piot Christine.** « *Polluants atmosphériques organiques particulaires en Rhône Alpes : caractérisation chimique et sources d'émission* ». Thèse de l'Université de Chambéry. Direction : J.-L. Besombes et J.-L. Jaffrezo. Soutenance prévue fin 2011.
- **Guillon Amélie.** « *Étude des sources des HAP atmosphériques par isotopie* ^{13}C ». Thèse de l'Université Bordeaux 1. Direction : E. Villenave et H. Budzinski. Soutenance prévue fin 2011.
- **Ringuet Johany.** « *Étude des artéfacts de mesure dans l'évaluation du Benzo(a)pyrène atmosphérique* ». Thèse de l'Université Bordeaux 1. Direction : E. Villenave et E. Leoz-Garziandia. Soutenance prévue fin 2011.

Publications

- **Albinet A., Suptil J., Combet E., Piot C., El Haddad I., Marchand N. and Besombes J.-L.** (2009). Development and evaluation of a high flow atmospheric denuder (HFAD) for the study of organic particulate matter. *Atmos. Envir.,* submitted.
- **Baduel C., Voisin D. and Jaffrezo J.-L.** (2010). Seasonal variations of concentrations and optical properties of water soluble HULIS collected in urban environments. *Atmos. Chem. Phys.,* 10, 4085-4095.
- **Dron J., El Haddad I., Temime-Roussel B., Jaffrezo J.-L., Wortham H. and Marchand N.** (2010). Functional group composition of ambient and source aerosols determined by tandem mass spectrometry. *Atmos. Chem. Phys.,* 10, 7041-7055, 2010. doi :10.5194/acp-10-7041-2010
- **Favez O., El Haddad I., D'Anna B., Boréave X., Piot C., Themine B., Voisin D., Besombes J.-L., Sciare J., George C., Marchand N. and Jaffrezo J.-L.** (2010). Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols at wintertime in a French Alpine city (Grenoble, France). *Atmos. Chem. Phys.,* 10, 5295-5314. doi :10.5194/acp-10-5295-2010.

- **Lanz V.-A., Prévôt A.S.H., Alfarra M.-R., Mohr C., DeCarlo P.-F., Weimer S., Gianini M.F.D., Hueglin C., Schneider J., Favez O., D'Anna B., George C. and Baltensperger U.** (2010). Characterization of aerosol chemical composition by aerosol mass spectrometry in Central Europe : an overview. Atmos. Chem. Phys., 10, 10453-10471, doi:10.5194/acp-10-10453-2010, 2010. net/9/24985/2009/acpd-9-24985-2009.pdf
- **Piot C., Jaffrezo J.-L., Besombes J.-L., Pissot N., Cozic J., El Haddad I. and Marchand N.** (2010). Determination of levoglucosan and its isomers by High Performance Liquid Chromatography-Electrospray Ionization tandem Mass Spectrometry and its application to atmospheric and soils samples. In preparation.
- **El Haddad I., Marchand N., Wortham H., Piot C., Besombes J.-L., Jaffrezo J.-L., Cozic J. and Robin D.** (2010a). Primary sources of PM2.5 particles in an industrial Mediterranean city, Marseille. *Atmos. Chem. Phys. Discuss., 10, 25435-25490, 2010.*
- **El Haddad I., Marchand N., Temime-Roussel B., Wortham H., Piot C., Besombes J.-L. , Baduel C., Voisin D. and Jaffrezo J.-L.** (2010b). Insights into the secondary fraction of the organic aerosol in a Mediterranean urban area : Marseille. *Atmos. Chem. Phys. Discuss., 10, 25491-25544, 2010..*
- **El Haddad I., Marchand N., Dron J., Temime-Roussel B., Wortham H. and Jaffrezo J.-L.** (2010). Influences of sources and chemical processes on the functionalization of organic aerosol. En preparation.
- **Michaud *et al.*** (2010). Fermeture chimie/hygroscopicité de l'aérosol en zone urbaine (Marseille) : influence de l'état de mélange. In preparation.
- **Piot *et al.*** (2010). Caractérisation chimique de l'aérosol et études de la contribution des différentes sources sur Grenoble et la Région Rhône-Alpes. En preparation.
- **D'Anna *et al.*** (2010). Analyse des influences industrielles sur la campagne FORMES Marseille : étude par AMS-PMF et comparaison avec la méthode CMB. En preparation.



Étude de la composition isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques particulaires dans l'atmosphère

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur

Hélène BUDZINSKI, DR2 CNRS
Laboratoire de Physico- et Toxico-Chimie de l'environnement
(ISM/LPTC - UMR 5255)
Université Bordeaux I
351 cours de la Libération
33 405 TALENCE
h.budzinski@ism.u-bordeaux1.fr

AUTRES MEMBRES

Éric VILLENAVE
e.villenave@ism.u-bordeaux1.fr

AUTRES ÉQUIPES
Responsable scientifique

Eva LEOZ-GARZIANDIA
INERIS
eva.leoz@ineris.fr

MOTS CLEFS ET GLOSSAIRE

HAP, PM (Particulate Matter), PM2,5, composition isotopique moléculaire, $\delta^{13}C$, GC/C/IRMS (Chromatographie en phase gazeuse/combustion/spectrométrie de masse de rapport isotopique), sources d'émission, photodégradation

Contenu et objectifs du projet

Parmi les nombreux composés émis dans l'atmosphère, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont des composés toxiques. L'étude de leur source et de leur devenir dans l'atmosphère est donc primordiale pour estimer leur impact sanitaire, mais également pour évaluer leur participation aux processus physico-chimiques atmosphériques, et contribuer à une description plus juste de ces processus. Dans ce contexte l'objectif de ces travaux est de développer une approche permettant de préciser l'origine des HAP détectés en phase particulaire et de relier leur présence à leur source. Ce travail de recherche a plus précisément pour but d'évaluer les potentialités de l'approche isotopique moléculaire (rapport $^{13}C/^{12}C$ des composés) quant à l'étude tant qualitative que quantitative des sources des HAP dans l'atmosphère en complément de l'approche purement moléculaire. Les travaux ont été divisés en trois phases :

- développement de la méthode d'analyse isotopique moléculaire ;
- étude de la variation de la composition isotopique moléculaire en fonction des phénomènes d'oxydation ;
- application de la méthode à des sites typiques de sources ciblées : site trafic été (source véhiculaire), site rural hiver (chauffage bois), site péri-urbain hiver, site péri-urbain été.

Présentation des travaux de recherche

Introduction

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des composés toxiques (mutagènes et/ou cancérigènes) issus de la combustion incomplète de la matière organique. Leurs sources naturelles sont principalement les feux de biomasse et les éruptions volcaniques mais 90 % des HAP présents dans l'atmosphère sont d'origine anthropique (transport, industrie, chauffage résidentiel…).

Du fait de la forte toxicité de ces composés dans l'environnement, leur étude passe inévitablement par la connaissance de leurs sources et des processus physico-chimiques atmosphériques dans lesquels ils peuvent être impliqués. L'approche moléculaire, basée sur leur répartition et leurs concentrations, apporte une information qualitative concernant leurs sources. L'utilisation des rapports de concentrations en HAP permet de différencier les différentes sources ou familles de sources (Yunker *et al.*, 2002 ; Manoli *et al.*, 2004 ; Galarneau *et al.*, 2008). En revanche, la composition moléculaire peut être affectée par les conditions de formation des HAP (température, conditions environnementales…) et par les processus physico-chimiques dans lesquels ils sont impliqués : réactions d'oxydation, photodégradation, transport… De plus en plus d'études (Okuda *et al.*, 2002 ; Peng *et al.*, 2006) tendent à montrer que l'analyse de la composition

isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) semble être un outil intéressant, complémentaire à l'approche moléculaire en matière de traçage de sources. En effet, à partir de la composition isotopique et de l'abondance relative de diverses origines des HAP particulaires prélevés sur des sites caractéristiques (site trafic, urbain, périurbain et rural), il semble possible de déterminer la contribution de chacune d'elles. Toutefois, il est nécessaire d'évaluer les paramètres qui pourraient influencer la composition isotopique des HAP : transport, dégradation sous l'action d'oxydants tels que O_3, NO_2 et/ou le radical OH, photodégradation…

Les travaux mis en œuvre au cours de ce projet ont donc consisté dans un premier temps à développer la méthode d'analyse isotopique moléculaire et à en valider l'application à l'étude des HAP particulaires ; dans un second temps, les travaux ont étudié l'influence de différents oxydants atmosphériques et de la photodégradation sur la composition isotopique moléculaire ; enfin une troisième partie a consisté à étudier différents sites à différentes saisons, représentatifs de différentes sources de HAP : un site trafic (véhicules), un site rural (chauffage au bois), un site urbain (chauffage au bois + autres, véhicules), un site urbain avec un fort taux d'oxydants (véhicules, composés secondaires).

Le couplage des informations moléculaires et isotopiques devrait permettre de caractériser les différentes sources de HAP et de proposer une estimation semi-quantitative de leur importance respective. Ainsi, les travaux devraient aboutir à une méthodologie permettant une caractérisation qualitative et quantitative des sources de HAP dans les particules atmosphériques. Ceci concerne la dernière phase des travaux qui est en cours de finalisation.

Développement de la méthode d'analyse isotopique moléculaire

La première étape des travaux a consisté à mettre au point pour les HAP la méthode d'analyse isotopique moléculaire par GC/C/IRMS (Chromatographie en phase gazeuse/combustion/spectrométrie de masse de rapport isotopique).

Afin de déterminer la gamme de travail du GC/C/IRMS en quantité injectée (ng de C et ng de composé), des solutions de différentes concentrations contenant les 10 HAP étudiés ont été injectées. La figure 1 présente la valeur du rapport isotopique en fonction de l'amplitude du signal (en volts) du phénanthrène (qui est fonction de la quantité injectée). Entre 1V et 10V la variabilité est de l'ordre d'un pour mille. En dessous de 1V, la variabilité est plus importante : de l'ordre de deux pour mille. La gamme de travail est donc définie entre 1V et 10V avec une précision de l'ordre d'un pour mille. Ainsi, pour chacun des HAP, la limite de travail pour la mesure de la valeur isotopique et le domaine de linéarité ont été établis. Le tableau 1 présente les limites de travail des composés, c'est-à-dire la quantité de carbone injectée pour obtenir un signal de 1V ainsi que la quantité de composés associée. On observe une discrimination sur les composés de hauts poids moléculaires due au mode d'injection ; ces données permettent de déterminer la quantité de carbone à injecter pour obtenir un signal exploitable pour les HAP présents dans les échantillons. Cela permet donc de déterminer la quantité de particules à extraire pour obtenir un signal exploitable.

Afin de déterminer la variabilité de la mesure sur la gamme de travail, trois solutions des 10 HAP sélectionnés de concentrations connues (de 100 à 200 ng de C/ml) ont été analysées. La variabilité de la mesure pour les composés étudiés est de l'ordre de ±0,5‰ (n = 46 ; précision intra- et inter-journalière), quels que soient la quantité de carbone injecté et le composé.

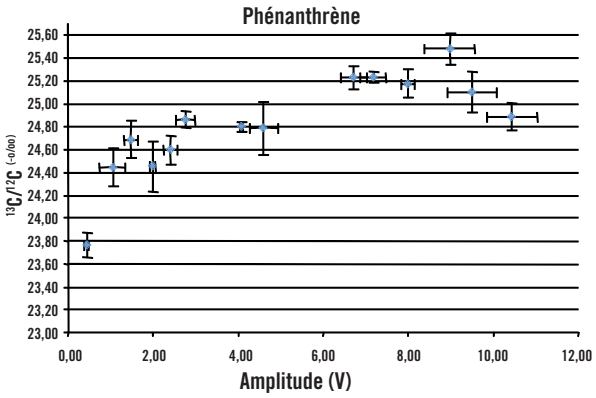


Figure 1 • Précision et reproductibilité de la composition isotopique moléculaire du phénanthrène en fonction de l'amplitude du signal.

	Quantité de carbone injecté pour obtenir un signal de 1V	Quantité de composé injecté pour obtenir un signal de 1V
phénanthrène	77 ng/µL	82 ng/µL
fluoranthène	100 ng/µL	105 ng/µL
pyrène	90 ng/µL	95 ng/µL
BaA	125 ng/µL	132 ng/µL
Chrysène	125 ng/µL	132 ng/µL
BkF	165 ng/µL	173 ng/µL
BaP	165 ng/µL	173 ng/µL
IP	325 ng/µL	340 ng/µL
BghiP	500 ng/µL	523 ng/µL
Coronène	> 500 ng/µL	> 525 ng/µL

Tableau 1 • Détermination de la quantité de carbone à injecter pour mesurer la composition isotopique des HAP.

Enfin, il était nécessaire de vérifier que l'extraction des particules ne modifie pas la composition isotopique moléculaire des HAP extraits et que les étapes de préparation de l'échantillon n'induisent pas de fractionnement isotopique. Des échantillons de silice dopée ont donc été utilisés. Les extraits de silice sur laquelle le mélange de 10 HAP a été absorbé ont été analysés en GC/C/IRMS et leurs compositions isotopiques ont été comparées à celles des 10 HAP modèles en solution étalon de même concentration (quantité de carbone injecté/µL). La figure 2 présente la comparaison entre la solution de référence des 10 HAP dans l'isooctane et les HAP extraits de la silice. Pour l'ensemble des composés, les valeurs isotopiques des HAP adsorbés sur la silice sont en accord avec celles de la solution standard, utilisée pour la préparation de la silice modèle. Il n'y a, par conséquent, pas de fractionnement isotopique lors de la préparation des échantillons selon le protocole mis en place dans cette étude.

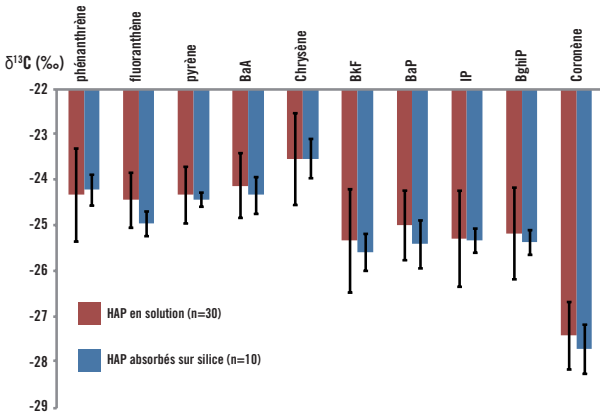


Figure 2 • Comparaison des compositions isotopiques de 10 HAP en solution et absorbés sur silice.

Étude de l'influence de la photo-dégradation et de l'oxydation sur la composition isotopique

Les 10 HAP modèles adsorbés sur silice ont été exposés à l'ozone, au dioxyde d'azote et au radical hydroxyle (principaux oxydants atmosphériques) sur différentes durées afin de suivre la composition isotopique tout au long de leur dégradation avec les différents oxydants. Les résultats obtenus (à titre d'exemple la figure 3 donne les résultats concernant le pyrène vis-à-vis de l'oxydant ozone) ont montré que la composition isotopique des HAP ne varie pas lors de leur dégradation sous l'influence d'ozone, de dioxyde d'azote et/ou du radical hydroxyle, c'est-à-dire que la présence d'oxydants n'a pas d'influence sur le composé restant à la surface de la particule.

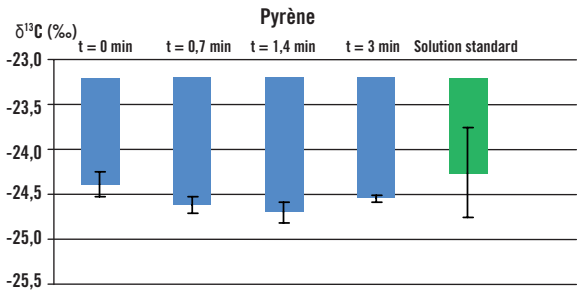


Figure 3 • Suivi de la composition isotopique du pyrène au cours de la dégradation avec l'ozone.

Les travaux ont aussi montré que la photodégradation n'avait pas d'effet significatif sur la valeur du rapport isotopique des différents composés modèles pour les taux de photodégradation étudiés (> 20 %). À titre d'exemple les résultats obtenus pour le phénanthrène sont montrés figure 4.

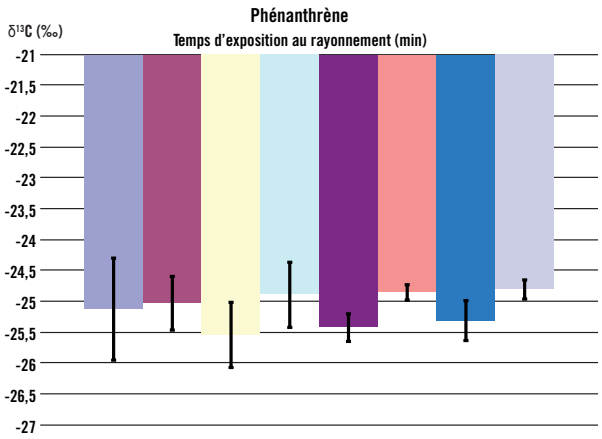


Figure 4 • Variation du rapport isotopique en fonction de la photodégradation du phrénanthène.

Étude de la composition en HAP particulaires en fonction des sites de prélèvements

✦ Campagnes de prélèvement

Quatre campagnes de prélèvement représentatives de différentes situations (hiver et été avec fort potentiel photochimique) ainsi que des sources des HAP (véhicules, chauffage urbain dont chauffage au bois) étaient prévues dans le programme. Le choix des sites et des périodes de prélèvement a été fait en fonction de leur capacité à fournir des informations précises sur une ou plusieurs sources à la fois, ainsi que sur leur variation en fonction des saisons.

• *Site trafic*
Ce type de site instrumenté en période chaude (été) permet de s'affranchir de la contribution du chauffage urbain et d'obtenir la signature isotopique de la source véhiculaire. De plus, sur un site proche des sources, on fait également l'hypothèse, que les réactions atmosphériques d'oxydation sont négligeables (temps de séjour trop court des HAP dans l'air avant d'atteindre le dispositif de prélèvement, en regard des cinétiques de réaction).

• *Site rural*
Ce type de site instrumenté l'hiver permet d'obtenir la signature isotopique de la source chauffage au bois. Un site rural en milieu montagneux est privilégié afin de minimiser au maximum la contribution de la source véhiculaire ainsi que celle des autres types de chauffage.

• *Site péri-urbain*
Ce site péri-urbain instrumenté en hiver, permet d'étudier les contributions des sources véhiculaires et du chauffage urbain dont le chauffage au bois identifiées précédemment.

• *Site urbain*
Ce site urbain instrumenté l'été, permet de s'affranchir de la source chauffage urbain et d'étudier les contributions véhiculaires ainsi que l'influence des oxydants étudiés en laboratoire.

Pour rappel, la source industrielle n'a pas été étudiée dans cette étude compte tenu du fait de sa faible contribution aux émissions totales des HAP en France (moins de 2 % selon le CITEPA).

Suite à la demande de PRIMEQUAL lors du séminaire de présentation des projets retenus, nous nous sommes rapprochés du projet FORMES pour la réalisation d'une partie des campagnes de prélèvement prévues. En effet, les objectifs ainsi que les sites de prélèvement retenus dans le cadre du projet FORMES étaient compatibles avec une partie de nos besoins.

Quatre campagnes de prélèvement ont été réalisées à ce jour :

- Site trafic : du 1er au 9 septembre 2009 à Bordeaux
- Site péri-urbain : du 15 à 29 janvier 2009 à Grenoble (site commun avec FORMES)
- Site urbain : du 30 juin au 14 juillet 2008 à Marseille (site commun avec FORMES)
- Site rural : du 8 au 19 février 2010 à Méandre.

✦ Déroulement des campagnes

Les prélèvements pour la caractérisation de la composition moléculaire en HAP et de leur composition isotopique, ont été réalisés avec un appareil de prélèvement haut débit, DA de chez MEGATEC avec un débit de 30 m^3/h et doté d'une tête PM2,5.

Afin de se caler à l'organisation du projet FORMES, des prélèvements de 12 heures ont été réalisés sur les deux campagnes réalisées en commun avec ce projet. Pour la campagne réalisée sur le site trafic des prélèvements de 24 heures ont été réalisés avec une tête PM2,5.

En effet, une tête PM10 avait été prévue à l'origine afin de réaliser des prélèvements en accord avec la réglementation en vigueur pour les HAP (directive européenne 2004/107/CE). Cependant, afin de pouvoir comparer nos résultats à ceux obtenus par les autres partenaires du projet FORMES, nous avons décidé d'effectuer les prélèvements avec une tête PM2,5 et ceci sur toutes les campagnes prévues afin d'assurer la comparabilité des donnés.

Seule la phase particulaire a été prélevée sur des filtres en fibre de quartz de 150 mm. Les filtres ont été conditionnés au préalable à 500 °C pendant deux heures afin de supprimer toute matière organique susceptible d'interférer dans les analyses.

✦ Première discussion des résultats

Dans le tableau 2 sont regroupées les moyennes des concentrations obtenues pour toutes les campagnes sur les différents sites. Une moyenne globale sur la campagne ainsi que des moyennes des prélèvements de jour et de nuit ont été calculées.

On observe très clairement la différence des concentrations entre les prélèvements réalisés en été (Marseille et Bordeaux) et en hiver (Grenoble et Méandre). Pour le benzo(a)pyrène B[a]P les concentrations estivales sont autour de 0,1 ng/m^3 alors que lors des prélèvements hivernaux les concentrations augmentent et se rapprochent de 2 ng/m^3.

Les concentrations des HAP particulaires sont élevées sur Grenoble et surtout à Méandre. Les fortes

	Marseille (juillet 2008)			Grenoble (janvier 2009)			Bordeaux (septembre 2009)			Méaudre (février 2010)		
	Moyenne campagne	Moyenne (matin)	Moyenne (soir)	Moyenne campagne	Moyenne (matin)	Moyenne (soir)	Moyenne campagne	Moyenne (matin)	Moyenne (soir)	Moyenne campagne	Moyenne (matin)	Moyenne (soir)
NAP	0,01	0,01	0,01	0,22	0,14	0,32	0,02	0,01	0,03	0,13	0,17	0,09
Met-NAP	0,03	0,05	0,02	0,25	0,25	0,25	0,13	0,12	0,14	0,31	0,31	0,31
AC	Nd	Nd	Nd	0,09	0,10	0,08	Nd	Nd	Nd	0,04	0,04	0,03
FLN	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03	Nd	0,03	<0,025	0,03	0,07	0,06	0,07
PHE	0,04	0,05	0,04	0,35	0,32	0,39	0,15	0,13	0,18	0,73	0,75	0,71
ANT	0,01	Nd	0,01	0,10	0,04	0,13	0,04	0,03	0,05	0,08	0,07	0,10
FLN	0,17	0,18	0,17	1,11	1,00	1,21	0,29	0,27	0,31	2,19	2,13	2,25
PY	0,13	0,13	0,14	1,14	1,00	1,27	0,42	0,38	0,45	2,18	2,01	2,33
B[a]A	0,11	0,06	0,18	0,85	0,59	1,11	0,13	0,11	0,15	1,45	1,10	1,78
CHR	0,18	0,15	0,22	1,50	1,20	1,80	0,16	0,15	0,18	2,05	1,67	2,39
B[j]F	0,24	0,15	0,32	0,92	0,72	1,11	0,10	0,09	0,11	1,08	0,89	1,25
B[b]F	0,25	0,17	0,33	1,86	1,42	2,30	0,17	0,17	0,17	2,15	1,79	2,48
B[k]F	0,10	0,07	0,11	0,69	0,54	0,84	0,07	0,07	0,07	0,87	0,72	1,00
B[a]P	0,12	0,08	0,16	1,32	0,89	1,75	0,11	0,10	0,13	1,32	0,94	1,67
DB[a,h]A	0,11	0,05	0,15	0,27	0,18	0,35	0,06	0,06	0,06	0,29	0,25	0,33
B[g,h,i]P	0,16	0,12	0,19	1,49	1,22	1,77	0,26	0,28	0,24	1,70	1,45	1,93
IP	0,19	0,13	0,24	1,44	1,15	1,73	0,14	0,16	0,12	1,86	1,62	2,08
HAP part	1,43	0,99	1,90	10,33	7,90	12,76	1,21	1,20	1,23	12,77	10,42	14,91

Tableau 2 • Moyennes des résultats obtenus pour les HAP sur les quatre campagnes

concentrations observées à Méandre confortent le choix de cette commune pour l'étude de la source chauffage domestique dont bien évidemment le chauffage au bois.

En ce qui concerne les concentrations jour/nuit, les concentrations sont plus importantes la nuit, sauf sur le site de Bordeaux. Une étude plus détaillée vis-à-vis des différents HAP sera faite pour le rapport final.

Un premier essai sur l'étude des profils des HAP a également été effectué. Cette étude a été effectuée exclusivement sur les HAP majoritairement en phase particulaire.

À ce stade il est difficile de tirer des conclusions à partir des profils des HAP seuls, sur l'origine des composés sur les différents sites. En effet, les profils sont assez similaires malgré des niveaux de concentrations très différents et des sites censés fournir des informations précises sur une ou plusieurs sources à la fois.
Une exploitation plus poussée sera effectuée dans le rapport final en croisant les résultats des HAP et des isotopes des HAP.

✦ Conclusions et perspectives

L'objectif de ces travaux est de proposer un nouvel outil basé sur la mesure de la composition isotopique en carbone 13 afin de permettre une caractérisation quantitative et qualitative des sources de HAP.

À ce stade, les travaux menés ont permis de développer la méthode d'analyse isotopique moléculaire et d'en préciser les domaines d'application tant en termes d'analyse qu'en termes de préparation d'échantillon. Une amélioration sera possible notamment en termes de sensibilité pour la phase d'application aux échantillons naturels par la mise en œuvre d'un nouveau couplage qui vient d'être installé et qui devrait être 3 à 5 fois plus sensible que celui utilisé pour les développements.

L'étude des phénomènes d'oxydation et de photodégradation a permis de montrer qu'ils n'ont pas d'influence sur la composition isotopique des HAP étudiés. Les campagnes terrain ont eu lieu et les analyses moléculaires ont permis de caractériser la composition en HAP particulaires.

Il reste à appliquer la méthodologie développée aux échantillons récupérés lors de ces campagnes terrain pour vérifier l'applicabilité de la méthode à des échantillons naturels et son applicabilité en termes de traçage de source.

Valorisation des résultats

La méthode, une fois publiée, pourra être transférée dans des laboratoires d'application. Elle pourra être aussi mise en œuvre par ou en lien avec l'INERIS pour des suivis plus réguliers.

L'identification des sources des HAP, ainsi que leur contribution respective aux niveaux mesurés, permettra par exemple aux pouvoirs publics de mieux cibler les actions de réduction à mettre en place afin de respecter la valeur cible définie pour le B[a]P dans la directive 2004/107/CE.

Valorisation et formations

Cours magistraux

Les données issues de ce projet seront utilisées à des fins de formation, notamment dans l'Unité d'Enseignement « Biogéochimie et Ecotoxicologie » du Master Chimie, spécialité QUALENC de l'Université de Bordeaux 1.

Encadrements

- **Mathieu Riva** (2010), Master M2, Mention « Chimie », Spécialité « QUALENC ». *Étude de la variation de la composition isotopique d'hydrocarbures aromatiques polycycliques particulaires d'intérêt atmosphérique : effet de la photodégradation.*
- **Marlène Rouhet** (2008), Master M2, Mention, « Chimie », Spécialité « CME ». *Étude de la composition isotopique moléculaire (^{13}C) comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques particulaires dans l'atmosphère.*
- **Amélie Guillon** (2008-2011), Thèse de l'Université de Bordeaux 1, « Chimie analytique et environnement ». *Influence des processus d'oxydation sur la composition isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans une approche de détermination de leurs sources dans l'atmosphère.*

Colloques

Présentations orales dans des congrès nationaux

2009

- **A. Guillon, E. Leoz-Garzandia, H. Budzinski, E. Villenave**. *Étude de la composition isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particulaires dans l'atmosphère.* PRIMEQUAL 2 - Pollutions de proximité, 15 mai 2009, Paris.

2010

- **A. Guillon, E. Leoz-Garziandia, H. Budzinski, E. Villenave**. *Influence des processus d'oxydation sur la composition isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans une approche de détermination de leurs sources dans l'atmosphère.* Réunion annuelle du « Groupe de Cinétique et Photochimie en Phase Gazeuse », 9-10 juin 2010, Wimereux, France.

Posters dans des congrès internationaux

2010

- **A. Guillon, E. Leoz-Garziandia, H. Budzinski, E. Villenave**. *Preliminary study of the use of molecular isotopic composition ($\delta^{13}C$) as a source tracer of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere.* ATCHEM 2010, 24 au 24 février 2010, Bayreuth, Allemagne.
- **A. Guillon, E. Leoz-Garzandia, H. Budzinski, E. Villenave**. *Preliminary study of the use of molecular isotopic composition ($\delta^{13}C$) as a source tracer of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere.* 2nd CHARMEX International Workshop, 26-28 mai 2010, Barcelone, Espagne.

Posters dans des congrès nationaux

2009

- **A. Guillon, M. Rouhet, E. Leoz-Garziandia, H. Budzinski, E. Villenave**. *Étude préliminaire de l'utilisation de la composition isotopique moléculaire ($\delta^{13}C$) comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particulaires dans l'atmosphère.* Réunion annuelle du « Groupe de Cinétique et Photochimie en Phase Gazeuse », 17-18 juin 2009, Créteil.

Exposition de la population à la pollution de proximité

DAVE CAMPAGNA
Cellule d'épidémiologie de la RATP

Dans le domaine de la qualité de l'air et de la pollution, la proximité prend la figure particulière de situations d'expositions contrastées liées à des caractéristiques spatio-temporelles très diverses, selon que l'on est au contact plus ou moins longuement de concentrations plus ou moins importantes d'un ou plusieurs polluants dans ses différents lieux de vie : au travail, dans les transports et dans sa maison. La caractérisation de telles situations est plus délicate qu'il n'y paraît. Bien entendu la durée d'exposition peut être considérée comme l'un des principaux facteurs affectant la dose d'exposition et les sources pour documenter l'information sont diverses : questionnaires, journaux d'activités ou encore bilans espace-temps répertoriant les activités quotidiennes des individus et les durées passées à exercer ces activités et les lieux où elles se sont déroulées. Dans l'estimation de l'exposition, on ne peut cependant pas oublier les facteurs personnels, sociologiques, physiologiques ou comportementaux qui affectent directement ou indirectement le contact entre l'organisme vivant et un polluant. Ainsi, en ville, ces facteurs sont à l'origine d'inégalités d'exposition selon que l'on se situe à proximité ou non du trafic automobile ou d'une installation polluante. Enfin, d'autres environnements comme la campagne, la montagne et le bord de mer, a priori jugés plus sains que les agglomérations, peuvent aussi être caractérisés par une pollution de proximité particulière.

Aujourd'hui les modèles mathématiques intègrent ces facteurs de concentrations, d'espace/temps et de facteurs personnels pour procéder à l'estimation de l'exposition des individus.

Les trois présentations de cette session constituent d'excellents exemples d'études menées pour évaluer des expositions aux polluants des environnements intérieurs et extérieurs.

Détermination de la contamination de l'air intérieur des habitats par les trihalométhanes, en vue d'une évaluation de l'exposition à ces substances par inhalation

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur et responsable scientifique

Michel CLÉMENT
michel.clement@ehesp.fr.
Laboratoire d'Étude et de Recherche en Environnement et Santé (LERES) de l'École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP)
avenue du Professeur-Léon-Bernard
CS 74 312
35 043 Rennes CEDEX

AUTRES MEMBRES
Estelle BAURÈS
Vincent BESSONNEAU
Hélène HAMEL-PAULUS
Barbara LE BOT
Émilie SURGET
Olivier THOMAS

Les données du budget espace-temps ont été aimablement communiquées par l'OQAI.

MOTS CLEFS

Trihalométhanes (THM), sous-produit de chloration, habitat, air intérieur, contamination, exposition, inhalation.

Contenu et objectifs du projet

La chloration des eaux de consommation humaine génère, au contact de la matière organique naturelle présente dans l'eau, un ensemble de sous-produits de désinfection (plus de 250 familles de molécules ont été identifiées) dont les trihalométhanes (THM). Ces substances sont au cœur des préoccupations sanitaires en raison notamment du caractère reprotoxique et cancérogène possible du trichlorométhane (il a été classé 2B par le CIRC), justifiant leur récente prise en compte dans la surveillance de la qualité des eaux alimentaires en Europe.

L'ingestion d'eau n'est néanmoins pas la seule voie d'exposition de la population aux THM. Dans l'habitat, l'inhalation est aussi une voie qui doit particulièrement être prise en considération en raison de la très grande volatilité de ces composés. La contamination de l'air des logements par les sous-produits de désinfection se produit par dégazage de ces substances aux divers points d'utilisation de l'eau (salles de bain et cuisines, au moment de la toilette, de la préparation des repas et des tâches ménagères) lors des usages domestiques de l'eau chaude en particulier (lavage, douche, cuisson).

Ce travail vise à élargir les connaissances relatives à la contamination de l'air par ces substances sur deux plans :

- les niveaux et les déterminants principaux de la contamination des habitats (salle de bain, cuisine, salon et chambre) par les trihalométhanes ;
- les niveaux des expositions aux trihalométhanes par inhalation dans l'habitat.

Présentation des travaux de recherche

Choix des logements

Un plan d'expérience, portant sur 60 logements a été construit sur la base des trois critères principaux suivants :

- la teneur en trihalométhanes totaux (THM) dans l'eau du réseau de distribution qui dessert les habitations. La division en terciles de la distribution des concentrations en THM dans l'eau d'alimentation française, provenant de la base de données produites par le ministère en charge de la Santé (SISE EAU), permet de définir trois classes d'eau : une eau faiblement contaminée ($C \leq 15{,}6$ µg/L), une eau moyennement contaminée ($15{,}6 < C \leq 25{,}2$ µg/L) et une eau fortement contaminée ($C > 25{,}2$ µg/L).

- La présence ou non d'une fenêtre dans la salle de bain, une des principales pièces émettrices des THM. Une fuite importante vers l'extérieur

(ouverture de fenêtre) des THM produits dans la principale pièce émettrice est a priori un déterminant fort de la contamination des autres pièces du logement.

- La densité d'occupation des logements. Ce paramètre est renseigné grâce au calcul de l'indice de peuplement défini par l'INSEE. Cet indice est basé sur la comparaison du nombre de pièces composant le logement au nombre de pièces dites nécessaires au ménage. Deux classes de densité d'occupation ont été retenues : les habitats sous-peuplés ont été distingués de ceux normalement peuplés ou surpeuplés.

Ces logements ont été recherchés au plus près du laboratoire (préférentiellement sur le département de l'Île et Vilaine). Ils ont été sélectionnés sur la base du volontariat pour cette étude. À la suite du renoncement de certains participants, seuls 57 habitations ont été l'objet d'investigations complètes. Les logements individuels sont majoritaires au regard des appartements situés dans des immeubles collectifs. Leur surface est comprise entre 29 et 250 m^2.

Campagnes de prélèvements

Chaque logement a fait l'objet de quatre campagnes de prélèvements : en hiver et en été, un jour de semaine et un jour de week-end. Elles ont permis de prélever l'air des différentes pièces des logements : les pièces sources de THM (salle de bain et cuisine) et les pièces réceptrices (séjour et chambre). Les THM sont piégés sur une cartouche adsorbante (remplie de Tenax® TA) puis analysés au laboratoire par ATD-GC-MS. Les temps de prélèvements ont été choisis pour être représentatifs de l'exposition aux THM. Dans la cuisine, les prélèvements ont été réalisés pendant la durée de préparation et de prise du repas (en moyenne 1 heure). Dans le salon, les prélèvements ont été démarrés le matin et arrêtés en fin d'après-midi (en moyenne 8 heures). Dans la chambre, les échantillonnages ont duré toute une nuit (en moyenne 7 heures). Dans la salle de bain, les prélèvements ont été réalisés par un enquêteur lors d'une douche simulée, en conditions contrôlées afin de déterminer les principaux facteurs de la contamination de l'air par les THM. L'enquêteur a procédé de la façon suivante :

- réalisation d'un prélèvement de 10 minutes avant la douche (évaluation de la contamination de « base ») ;
- réalisation d'un prélèvement de 10 minutes dans la douche en fonctionnement. La température et le débit de l'eau sont mesurés. Un échantillon d'eau est aussi prélevé pour quantifier le niveau des THM ;
- à l'issue de la douche, un troisième prélèvement de 10 minutes est réalisé. Selon la saison (été ou hiver) les conditions d'aération de la salle de bain sont modifiées par l'enquêteur (fenêtre ouverte ou fermée).

Tous les points de prélèvements ont été réalisés à hauteur des voies respiratoires dans un souci de représentativité de l'exposition par inhalation (1,5 m dans la salle de bain, la cuisine et le salon ou 0,5 m dans la chambre).

Contamination

Un premier examen des résultats bruts montre que la contamination moyenne en THM totaux (somme des quatre espèces) de l'air est inégale selon les pièces avec un maximum pour la salle de bain (19 µg/m^3 sous la douche et 52 µg/m^3 après la douche en moyenne) et des valeurs significativement plus faibles pour les autres pièces (les concentrations moyennes mesurées sont respectivement de 1,84 µg/m^3, 1,29 µg/m^3,1,46 µg/m^3 pour la cuisine, le séjour et la chambre).

L'étude de la répartition des différents THM selon les pièces montre une évolution de leur distribution qui se traduit par une perte relative des composés bromés (les moins volatils) lors du passage des pièces sources vers les pièces réceptrices.

L'étude approfondie de l'organisation des salles de bain échantillonnées (baignoire avec ou sans rideau, ou receveur de douche) ainsi que le comportement des habitants en fin de douche (rideau ou porte de douche laissé ouvert ou refermé) conduit à la mise en évidence de cinq types de salle de bain : baignoire sans rideau (type 1), baignoire avec rideau fermé ouvert après la douche (type 2), baignoire avec rideau fermé après la douche (type 3), douche avec porte ouverte après la douche (type 4) et douche avec porte refermée après la douche (type 5). Les espèces chlorées sont prédominantes dans l'air pendant la douche pour les types 1 à 3 (baignoire) tandis que les composés bromés sont relativement plus importants lorsque la douche est simulée dans une cabine (types 4 et 5). Cette différence de comportement entre les espèces chlorées et bromées peut s'expliquer à partir des propriétés physico-chimiques des

molécules. La substitution d'un atome de chlore par un ou plusieurs atomes de brome plus lourd entraîne une augmentation de la masse molaire et de la température et corrélativement une diminution de la volatilité (constante de Henry). Cette observation peut aussi s'expliquer par un phénomène d'entraînement préférentiel des produits bromés dans l'eau d'écoulement (par la bonde) provoqué :

- soit par la position généralement accroupie adoptée dans une baignoire sans protection, qui réduit la distance entre le jet de douche et la bonde et par conséquent le temps de diffusion ;
- soit par la présence d'un rideau de douche dont la mobilité entraîne une réduction de la distance avec le mur de la salle de bain, créant un effet venturi qui accélère le transfert des composés vers la bonde (ce phénomène se traduit par le fait que le rideau « colle » souvent aux jambes de l'utilisateur).

Déterminants

La recherche de relation entre les différentes concentrations moyennes conduit à la mise en évidence d'une relation entre les valeurs moyennes de THM mesurées dans l'air après la douche et les concentrations moyennes dans l'eau.

Pour les salles de bain de type 1 et 4, la concentration en THM mesurée dans l'air pendant la douche est corrélée significativement ($p < 0,05$) à la teneur en THM dans l'eau et pour les salles de bain de type 3 avec la concentration dans l'air avant la douche et le volume de la salle de bain. Contrairement à de nombreux résultats publiés, les autres paramètres (débit, température…) ne semblent pas influer sur les concentrations en THM dans l'air de la salle de bain. Ceci peut s'expliquer par le nombre restreint de logements pour certains types de salle de bain (type 3 et 5) limitant les possibilités d'interprétation.

Pour les pièces réceptrices, des liens statistiques ont été recherchés entre les contaminations mesurées, l'intensité des émissions et les diverses causes de perte de substances vers l'extérieur (un carnet journalier renseigné sur un pas de temps de 15 minutes permet de connaître notamment les périodes d'ouverture des portes et fenêtre des logements). Cependant, les faibles niveaux mesurés conjugués avec la multiplicité des facteurs lorsque l'on s'éloigne des sources d'émission n'ont pas permis de mettre en évidence de relations significatives au plan statistique.

Estimation de l'exposition

L'exposition se définit comme le contact entre un organisme vivant et une situation ou un agent dangereux. La dose d'exposition est la quantité d'une substance présentée à l'une des barrières biologiques de l'individu exposé (dose externe) ou l'ayant traversée (dose interne).

La méthode retenue est la méthode indirecte. Elle repose sur la combinaison des mesurages micro-environnementaux et des données sur le temps passé par les individus dans les différents micro-environnements (sous la douche, après la douche, dans la cuisine, le salon et la chambre).

Elle s'exprime par une concentration d'exposition sur la période d'exposition considérée obtenue par la relation suivante :

$$Ce = [Ci \times Ti]/Te$$

avec : Ce = concentration d'exposition sur la période d'exposition considérée
Ci = concentration du polluant dans les différents micro-environnements fréquentés
Ti = temps passé dans les différents micro-environnements
Te = durée de l'exposition considérée.

Deux types de scénario d'exposition sont retenus : un scénario d'exposition moyen (utilisant les concentrations et les temps de séjour moyens) et un scénario d'exposition majorant (utilisant les percentiles 95 des concentrations et des temps de séjour).

Les données utilisées concernant le temps passé par les individus dans les différentes pièces proviennent de la campagne nationale réalisée par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) sur un parc de logement français entre 2003 et 2005. Compte tenu de la grande variabilité de ces valeurs en fonction de l'activité et de l'âge des individus, trois classes de population sont définies : les personnes de moins de 15 ans, les adultes actifs et inactifs.

Les concentrations d'exposition sont calculées sur 24 heures par agrégation des expositions relatives aux différentes pièces du logement. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

		Concentration d'exposition agrégée sur 24 h [µg/m³]		
Groupe de population		Adultes actifs	Adultes inactifs	Moins de 15 ans
$CHCl_3$	Moyenne	0,58	0,70	0,69
	Maximisée	3,90	4,29	3,75
$CHCl_2Br$	Moyenne	0,29	0,31	0,30
	Maximisée	2,45	2,55	2,37
$CHClBr_2$	Moyenne	0,42	0,46	0,45
	Maximisée	2,60	2,72	2,46
$CHBr_3$	Moyenne	0,48	0,53	0,55
	Maximisée	2,57	2,69	2,49

Les scenarii majorants conduisent, pour le chloroforme ($CHCl_3$), à des valeurs 6 fois supérieures à celles obtenues avec les paramètres moyens d'exposition. Pour le dichlorobromométhane ($CHCl_2Br$), ce ratio est de l'ordre de 8, alors qu'il est proche de 5 pour le dibromochlorméthane ($CHBr_2Cl$) et le bromoforme ($CHBr_3$). La contribution de la douche n'apparaît pas dominante au regard de l'exposition globale sur une journée. Par contre, la contribution des pièces peu contaminées (salon et chambre) peut être significative en raison des temps de séjour élevés. Cependant, la moindre précision sur la mesure des très faibles concentrations en THM induit une incertitude plus élevée sur l'estimation de l'exposition par inhalation dans ces pièces.

La dose d'exposition externe journalière par inhalation peut être estimée à partir du débit respiratoire moyen de la population française et comparée à l'exposition externe par ingestion calculée à partir des données de consommation d'eau de boisson. Les résultats obtenus montrent que ces deux voies d'exposition ont des contributions sensiblement voisines.

Valorisation des résultats

Au final, il apparaît clairement que l'exposition au THM par inhalation à l'intérieur de l'habitat est compétitive au regard de celle due à l'ingestion d'eau de boisson. Or actuellement, les références de qualité pour l'eau distribuée dans les foyers sont établies uniquement à partir d'une évaluation des risques fondés sur l'ingestion.

Il est nécessaire de faire reconnaître la contribution de cette voie auprès des autorités sanitaires compétentes, de sorte que, dans l'avenir, elle soit prise en compte dans l'élaboration des valeurs limites.

Valorisation et formations

L'École des Hautes Études en Santé Publique délivre des formations dans le champ environnement et santé. On trouve notamment parmi celle-ci la formation des ingénieurs de génie sanitaire et celle des ingénieurs d'études sanitaires. Les données acquises lors de ce travail contribueront à enrichir, entre autre, le contenu de ces formations.

Publications

- **Bessonneau V., Thomas O., Clément M.** *Exposure assessment to trihalomethanes through inhalation in different parts of housing.* 1st European Doctoral College on Environment and Health, Rennes, 7-11 June 2010.
- **Bessonneau. V, Hamel-Paulus H., Thoma O., Clément M.** *Assessment of THM indoor air contamination in 57 French housings* Publication soumise à « Science of the total environment ».

Évaluation des expositions à la pollution atmosphérique liées à la circulation routière dans l'étude Incitra sur les malformations congénitales

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur

Mireille CHIRON
Mireille.chiron@inrets.fr
UMR T9405 UMRESTTE
Unité Mixte (Inrets/InVS/Lyon1)
de Recherche Épidémiologique
et de Surveillance Transport
Travail Environnement
INRETS
25 avenue François-Mitterrand
Case 24
69675 Bron CEDEX

AUTRES MEMBRES

Lucie ANZIVINO-VIRICEL
Joannie TIEULENT-LORTET

MOTS CLEFS

Exposition, pollution, trafic, oxydes d'azote, domicile, lieu de travail, femme enceinte.

Contenu et objectifs du projet

Une précédente étude écologique (Cordier *et al.* 2004) avait porté sur les malformations congénitales chez les populations habitant près d'unités d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) en Rhône-Alpes. Certaines catégories d'anomalies, telles que les dysplasies rénales, étaient plus fréquentes dans les populations exposées, et le risque de malformations urinaires obstructives augmentait avec l'exposition aux UIOM. Ce risque augmentait aussi de façon linéaire avec la densité du trafic environnant. Une nouvelle étude fut donc mise en place pour tester l'hypothèse d'un lien entre, d'une part, l'exposition aux UIOM et/ou au trafic, et d'autre part, le risque d'anomalies congénitales du tractus urinaire : étude InciTra, dirigée par Sylvaine Cordier.

Ce rapport présente la partie de cette étude consistant à évaluer l'exposition au trafic de 620 femmes enceintes en région Rhône-Alpes. Cette exposition est évaluée en utilisant un modèle d'exposition des lieux de séjour (en façade) aux gaz d'échappement des véhicules (ExTra).

Les objectifs sont :

- d'évaluer l'exposition de femmes enceintes de la région Rhône-Alpes à la pollution issue du trafic, pendant le 1er trimestre de grossesse ;
- d'analyser la distribution et les déterminants de cette exposition ;
- de fournir ces données pour une étude cas-témoins sur les malformations congénitales urinaires (étude InciTra, Sylvaine Cordier Inserm U325 Rennes).

Présentation des travaux de recherche

Les principales étapes de réalisation

Les cas ont été recrutés via le Registre Centre-Est des malformations congénitales (Institut des génomutations IEG, à Lyon). Ce registre utilise de nombreuses sources d'information, principalement les maternités et services de pédiatrie volontaires, fournissant des informations standardisées.

Pour la présente étude, les enfants nés dans les huit départements de Rhône-Alpes entre janvier 2001 et début 2004, et domiciliés dans cette région ont été sélectionnés. Afin d'augmenter les effectifs et la puissance statistique, des anomalies congénitales similaires ont été regroupées. Tous les enfants porteurs d'anomalies rénales (ICD10 Q61.0, Q61.4, Q61.5, Q61.8, Q61.9) ou urinaires obstructives (ICD10 Q62) ont été sélectionnés. On a exclu les porteurs d'anomalies chromosomiques. Parmi les 304 cas répondant à ces critères de sélection et ayant une adresse valide, 187 familles (62 %) ont été d'accord pour participer à l'enquête. Les mères ont été interrogées soit par téléphone soit en face à face, ou ont renvoyé

un questionnaire rempli. Pour les 117 familles restantes, les données de base ont été recueillies dans les dossiers médicaux. Apparié à chaque cas, un témoin était recruté : le premier enfant du même sexe né dans la même maternité immédiatement après le cas, exempt de malformation majeure et pesant plus de 2,500 kg. Si la mère du cas avait été transférée dans un hôpital spécialisé, le témoin était sélectionné dans l'hôpital qui aurait reçu la mère du cas en l'absence d'anomalie, c'est-à-dire la maternité de proximité. Seulement 93 familles de témoins ont pu être recrutées selon ce protocole. Il a donc été nécessaire de trouver de nouveaux témoins, issus de la population générale. Un institut de sondage a tiré au sort des familles dans la région Rhône-Alpes. L'échantillon était stratifié par département de naissance, sexe et année de la naissance, en fonction de l'échantillon des cas. Un échantillon de 226 témoins répondant aux critères d'inclusion a ainsi été interviewé.

Au total, 319 témoins et 304 cas ont donc participé à l'enquête : 623 enfants et leur mère.

La période d'intérêt pour les expositions des mères s'étendait d'un mois avant la conception à la fin du premier trimestre de grossesse.

- Utilisation d'un logiciel spécifique ExTra intégrant les émissions (NOx, en tant que traceur de la pollution du trafic) du parc actuel automobile, les données météorologiques locales et les caractéristiques géométriques du lieu de séjour (domicile et lieu de travail). L'indice a été validé auparavant[1]. Il est exprimé en concentration moyenne de NOx en façade du lieu de séjour.
- Calcul d'un indice d'exposition au domicile (moyenne sur 4 mois), d'un indice au travail et d'un indice global pour chaque femme.
- L'exposition comprend une part « de fond » et une part issue du trafic de proximité.
- Les niveaux de pollution de fond sont largement déterminés par le trafic, et sont des niveaux mesurés en routine par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, ou modélisés à distance des capteurs. Dans les villes, un rayon de décroissance est appliqué pour prendre en compte la distance au centre-ville. Les variables météorologiques jouant sur la dispersion en dessous des niveaux des toits (rose des vents) ont été fournies par Météo-France pour les périodes d'intérêt.

- Pour la composante locale du modèle, les municipalités ou autres services locaux de la voirie ont fourni des mesures de trafic si elles existaient, ou ont attribué aux voiries d'intérêt une des 4 catégories de trafic journalier prévues par le logiciel (très faible : < 1 000 ; faible : [1 001 ;4 800]; moyen : [4 801 ;31 200] et important : >31 200). Le modèle intègre aussi les paramètres topographiques du lieu de séjour (étage, hauteur des bâtiments de chaque côte de la rue, largeur des voies de circulation et des trottoirs).

- Description de la répartition des expositions, et par la mise en évidence des inégalités d'exposition (analyse sur les femmes témoins) : figures 1, 2 et 4.

- Mise en évidence du rôle du trafic de proximité dans l'exposition totale : figure 3.

- Mise en évidence du rôle de l'exposition au travail dans l'exposition totale.

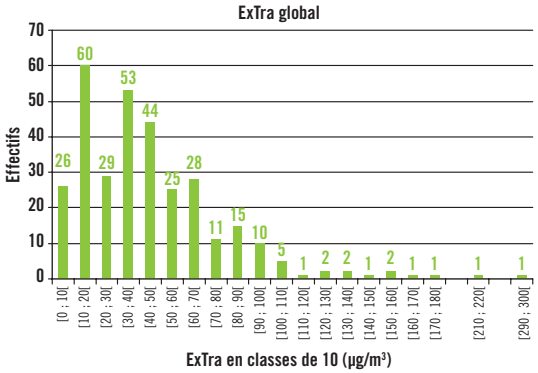


Figure 1 • Distribution des expositions totales chez les témoins.

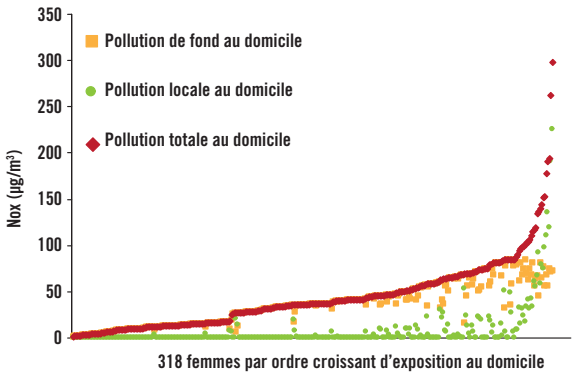


Figure 2 • Distribution des expositions totales chez les témoins (médianes).

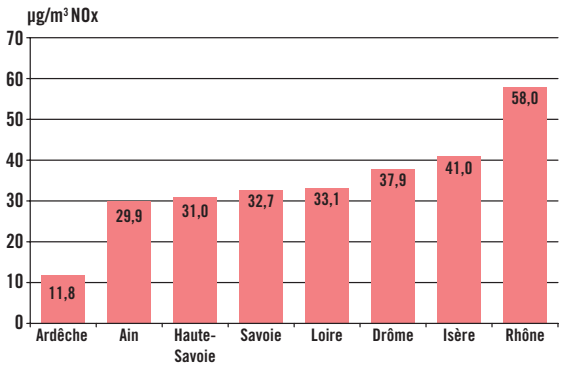


Figure 3 • Indices d'exposition au domicile : total, fond et trafic, chez les témoins.

1. Reungoat P., Chiron M., Le Moullec Y., Momas I. Assesment of Exposure to Traffic Pollution Using the ExTra Index : Study of Validation, Environ Res, 93(1): 67-78, 2003.

Résultats

L'exposition totale, mesurée par l'indice global ExTra, exprimé en teneur moyenne de NOx (µg/m³) est une moyenne pondérée (en fonction des temps de séjour respectifs) entre l'exposition totale (fond+trafic) au domicile et l'exposition totale au travail. Au final, l'exposition est surtout corrélée à l'exposition du domicile en raison de la prédominance du temps passé en ce lieu. Dans la majorité des cas, surtout pour les femmes peu exposées au domicile, la prise en compte du travail augmente l'exposition totale.

Cependant les variations individuelles sont très importantes, principalement en raison du trafic de proximité, pour les domiciles comme pour les lieux de travail. C'est la proximité du trafic qui entraîne les plus fortes disparités (figure 3). Ainsi les expositions maximales sont finalement observées en Haute-Savoie et en Isère chez des femmes habitant en bordure d'un fort trafic (figure 4).
Au total, chez les 318 témoins, les valeurs d'Extra varient de 1,3 à 298,0 µg/m³ NOx, avec une moyenne à 44,8 µg/m³ NOx (=35,2) et une médiane à 37,9 µg/m³ NOx.
La part attribuable au trafic de proximité varie de 0 à 225,0 µg/m³ NOx, elle est en moyenne de 8,1 µg/m³ NOx (=21,8).

Dans ce groupe témoin, il existe une corrélation statistiquement significative entre l'indice ExTra en 3 classes ([0;30[, [30; 90[, ≥90) et la densité au niveau de l'Iris[2], le score de pauvreté, le département. L'indice ExTra est aussi corrélé à d'autres expositions telles que les dioxines (atmosphériques ou sous formes de dépôts) ou métaux issus des IUOM, ou la présence d'autres sources industrielles de dioxines.

En revanche l'indice Extra n'est corrélé ni à l'âge de la mère, ni aux professions du père ou de la mère, ni aux origines des grands-parents maternels, ni au niveau d'éducation du père ou de la mère.

Valorisation des résultats

Influence de l'exposition au trafic sur les malformations congénitales urinaires (hors contrat Primequal)

L'exposition à la pollution atmosphérique issue du trafic (ici mesurée par l'indicateur NOx, moyenne sur 4 mois) ne montre aucun lien avec l'incidence des malformations

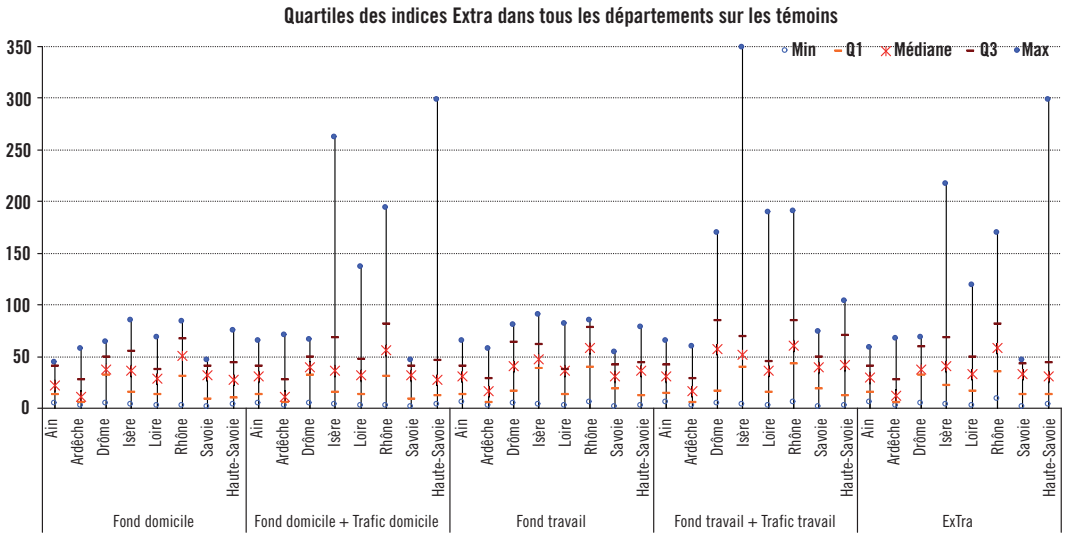


Figure 4 • Indices d'exposition au domicile : total, fond et trafic, chez les témoins.

2. L'iris est un découpage du territoire effectué par l'INSEE, un sigle qui signifiait « Îlots Regroupés pour des Indicateurs Statistiques « et qui faisait référence à la taille visée de 2 000 habitants par maille élémentaire. Il constitue la brique de base en matière de diffusion de données infra-communales. Les communes d'au moins 10 000 habitants et une forte proportion des communes de 5 000 à 10 000 habitants sont découpées en IRIS. Ce découpage constitue une partition de leur territoire. La France compte environ 16 100 IRIS dont 650 dans les DOM.

rénales congénitales. En revanche, l'exposition aux dépôts de dioxines issues des incinérateurs d'ordures ménagères est liée à cette incidence[3].

L'utilisation du logiciel ExTra a permis de décrire la distribution des expositions, et de lever le doute qui persistait sur l'effet du trafic sur les malformations congénitales (corrélation trouvée dans une étude antérieure).

Autres utilisateurs potentiels

- prise en compte ou étude par les épidémiologistes de l'effet de la pollution issue du trafic,
- prise en compte des fortes inégalités d'exposition (dans les Plan de Déplacements Urbains (PDU), Plan Régional Santé Environnement (PRS), Loi de Santé publique (LSP), etc.), et prévention de l'exposition à la pollution du trafic de proximité par des mesures d'urbanisme ou aménagement du territoire.

Tableau 1 • Odds Ratios (OR)* ajustés : modèle final de l'analyse cas-témoins sur les malformations urinaires, région Rhône-Alpes Région, 2001-2004

Après imputation	OR ajustés	IC 95 % †	p +
Exposition au trafic (ExTra) µg/m³ NOx			
[0;30[	ref		
[30;90[	0.90	0.60-1.34	0.59
≥90	0.76	0.37-1.59	0.47
Exposition aux dioxines (dépôts)			
Non exposées	ref		
Exposées en dessous de la médiane	1.18	0.59-2.33	0.64
Exposées au-dessus de la médiane	2.21	1.17-4.15	0.01
Antécédent de malformation urinaire dans la famille 1° degré			
Oui	12.95	1.57-106.92	0.02
non	ref		
Origine de la mère			
Europe	ref		
Afrique du nord	9.40	4.30-20.55	<0.0001
Autres (y compris mixte)	2.50	1.28-4.87	0.01
Consommation d'alcool en début de grossesse			
Moins d'un verre par semaine	ref		
Au moins un verre par semaine	1.79	1.01-3.16	0.05

IC 95 % : intervalle de confiance à 95 %
* Un **Odds ratio** (OR), est une mesure utilisée en épidémiologie, permettant de mesurer le degré de dépendance entre des variables qualitatives (ici le département de naissance, le sexe, l'année de naissance, l'exposition au tabac et la prise d'acide folique en début de grossesse). Il permet de mesurer l'effet d'un facteur. C'est une approche du risque relatif (risque chez les exposés rapportés au risque chez les non-exposés) utilisable dans les études cas-témoins.
+ p : degré de signification.

Valorisation et formations

L'étude a servi de matière pour un stage :
★ **Galès Jean**. *Exposition des femmes enceintes à la pollution atmosphérique issue du trafic routier.* Stage de fin d'étude de l'École nationale de santé publique, filière Ingénieur du génie sanitaire. Septembre 2007.

Publications

★ **Chiron M., Anzivino-Viricel L., Tieulent-Lortet J.** *Évaluation des expositions à la pollution atmosphérique liées à la circulation routière dans l'étude Incitra sur les malformations congénitales et la pollution atmosphérique.* Rapport Umrestte n° 1001 de fin de contrat Primequal-Predit. 51 p.

★ **Tieulent J., Chiron M., Hours M., Anzivino-Viricel L., Monfort C., Amar E., Robert-Gnansia E., Cordier S.** *Exposure to traffic and urinary birth defects : a case-control study in France.* Environment International (soumis 2010).

3. Cordier S., Lehébel A., Amar E., Anzivino-Viricel L., Hours M., Monfort C., Chevrier C., Chiron M., Robert-Gnansia E. *Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects, Occupational and Environmental Medicine,* 2010, 67: 493-499.

Évaluation de l'exposition des citadins aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur
Claudine DELAUNAY
claudine-delaunay@interieur.gouv.fr
Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP)
39bis, rue de Dantzig
75015 Paris

AUTRES MEMBRES
Ghislaine GOUPIL
Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP)

AUTRES ÉQUIPES
Hanitriniala RAVELOMANANTSOA
Alain PERSON
Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris (LHVP)

Sophie MAZOUE
François MORAWSKI
Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP)

MOTS CLEFS

Exposition individuelle, modes de locomotion, pollution urbaine, air, citadin, heures de pointe, trafic, transports alternatifs, déplacements, voiture, bus, vélo, métro, tramway, piéton.

Contenu et objectifs du projet

- Évaluation de l'exposition à laquelle sont soumis les Franciliens pendant leurs déplacements aux heures de pointe, selon les modes de locomotion utilisés,
- comparaison des niveaux mesurés avec les données fournies par les stations du réseau de surveillance AIRPARIF, permettant de juger de la pertinence ou non de l'utilisation de ces mesures en site fixe pour évaluer l'exposition des Franciliens au cours de leurs déplacements,
- comparaison avec les niveaux d'exposition enregistrés il y a 10 ans dans une étude similaire permettant de quantifier l'évolution de cette exposition en région parisienne.

Présentation des travaux de recherche

Ce travail a cherché à documenter les niveaux d'exposition aux polluants atmosphériques auxquels sont soumis les Franciliens au cours de leurs trajets quotidiens entre leur domicile et leur lieu de travail selon le mode de locomotion qu'ils utilisent : véhicule particulier, vélo, marche ou transports collectifs (métro, RER, autobus et tramway).

Tous modes de déplacement confondus, 20 types de trajets domicile-travail ont été retenus correspondant à 16 itinéraires différents : deux d'entre eux ont en effet été parcourus selon plusieurs modes de locomotion les mêmes jours. Les mesures d'exposition ont été réalisées, en période hivernale, aux heures de pointe du matin et du soir. Les prélèvements du soir, correspondant au parcours du lieu de travail vers le domicile, ont été cumulés avec ceux du lendemain matin sur le parcours inverse. La durée des trajets a été fixée à une heure dans chaque sens de façon à simuler de façon réaliste l'exposition des Franciliens. Chaque trajet a été parcouru 15 fois dans chaque sens conduisant globalement à près de 300 résultats par polluant.

Les polluants gazeux mesurés sont le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO_2), les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM), le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acétone.

Pour la phase particulaire, les indicateurs retenus ont été la concentration pondérale des particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µm (PM2,5) et le coefficient d'absorption de ces particules qui reflète leur charge en carbone suie. En complément, sur un échantillon plus réduit de trajets, un programme complémentaire a été mis en œuvre afin de caractériser la distribution granulométrique de la concentration numérique des particules de diamètre optique supérieur à 0,3 µm.

Il s'agit donc essentiellement de polluants traceurs des émissions du trafic routier par les véhicules à moteurs essence ou de type Diesel (oxydes de carbone et d'azote, hydrocarbures, aldéhydes, particules fines et suies), sauf pour l'acétone dont les niveaux sont en lien avec la présence humaine à l'intérieur d'un espace clos. S'agissant des aldéhydes et des hydrocarbures aromatiques, autres que le benzène, une contribution des matériaux et revêtements dans l'habitacle – voitures particulières ou transports en commun – peut éventuellement s'ajouter aux émissions de combustion.

À l'exception du CO qui est analysé sur un pas de temps d'une minute par un capteur Drager Pac III, tous les autres polluants sont prélevés sur filtre (particules PM2,5), filtre imprégné (NO_2) et adsorbants (HAM, aldéhydes et acétone) puis analysés en différé au laboratoire. Ces méthodes de prélèvement et d'analyse ont été préalablement validées et les limites de détection et de quantification calculées.

Comparaison des expositions aux polluants atmosphériques selon les modes de locomotion

L'usager du véhicule particulier est globalement le plus exposé, notamment celui qui emprunte le boulevard périphérique. C'est plus particulièrement le cas pour le dioxyde d'azote NO_2, le benzène, le toluène, le monoxyde de carbone CO et l'indice de carbone suie. Ainsi, aux heures de pointe, le niveau médian de dioxyde d'azote (NO_2) présent dans l'habitacle d'une voiture roulant dans Paris est de 130 µg/m³ ; il est de 150 µg/m³ sur l'autoroute et atteint 218 µg/m³ sur le boulevard périphérique. De même, les niveaux médians de benzène sont de 10 µg/m³ sur le boulevard périphérique (maximum 15 µg/m³) et de 6 à 8 µg/m³ sur les autres trajets. Pour le toluène, les teneurs médianes sont assez homogènes quel que soit le trajet, soit entre 28 et 39 µg/m³. L'indice de carbone suie, mesuré par le coefficient d'adsorption des filtres sur lesquels ont été collectées les PM2,5 est également particulièrement élevé sur le boulevard périphérique (230.10^{-6} m^{-1} en médiane). Enfin pour le CO, même si les niveaux restent faibles (valeurs médianes entre 1,7 et 3,3 ppm et maximale à 6,5 ppm) au regard des teneurs de référence, ce mode de transport est le seul qui présente encore des teneurs mesurables par les dispositifs portables utilisés.

Dans les rames de métros et dans les RER les niveaux des polluants gazeux sont globalement faibles sauf pour l'acétone, dont les teneurs (de 19 à 28 µg/m³) traduisent la densité d'occupation des rames aux heures de pointe. C'est une pollution atmosphérique particulaire plus élevée sur les lignes dont le parcours est essentiellement souterrain qui caractérise ce mode de locomotion. Ainsi sur le RER A et sur les lignes 1 et 14, les teneurs médianes en PM2,5 sont comprises entre 119 et 155 µg/m³ et les maxima atteignent respectivement 311, 262 et 264 µg/m³. Cette pollution résulte pour une large part d'émissions internes

dont l'origine principale est le système de freinage des matériels roulants.

On note également, sur ces mêmes lignes souterraines, l'indice de carbone suie, qui, bien que moins élevé que dans les véhicules particuliers se distingue aussi par rapport aux autres modes de transport (valeurs médianes comprises entre 149 et 181.10^{-6} m^{-1}).

L'exposition des passagers du bus est souvent intermédiaire entre celles de l'automobiliste et du cycliste. Ces passagers sont soumis à une exposition à la pollution atmosphérique proche de celle des usagers de véhicules particuliers pour trois polluants : NO_2, PM2,5 et formaldéhyde. Par contre les niveaux de benzène et de l'indicateur de carbone suie sont nettement inférieurs à ceux mesurés dans la voiture. Enfin, le niveau d'acétone dans le bus est élevé – caractéristique de tous les transports en commun.

L'exposition en vélo est généralement intermédiaire pour tous les polluants. Malgré sa proximité géographique au trafic automobile, la configuration « à l'air libre » dans

laquelle se trouve le cycliste, contrairement aux précédents modes de transport, conduit à une diminution assez nette des niveaux de la plupart des polluants. Les niveaux de particules fines sont toutefois proches de ceux mesurés dans le bus aussi bien en masse qu'en richesse en carbone suie mesurée par réflectance.

Le piéton marchant dans le quartier piétonnier et l'usager du tramway sont les moins exposés tous polluants confondus (hormis acétone et formaldéhyde s'agissant des passagers du tramway). Les piétons empruntant les autres itinéraires et les cyclistes subissent des niveaux d'exposition intermédiaires.

Sur un nombre plus limité de trajets, des mesures de comptage de particules de diamètre optique supérieur à 0,3 micromètre ont été réalisées en les répartissant par classe granulométrique. Globalement, pour chaque fraction de taille, c'est dans les rames de métros et de RER que les concentrations les plus élevées ont été obtenues. Tous déplacements confondus, la fraction des particules submicroniques (< 1 µm) représente plus de 97 % de la concentration numérique totale et les grosses particules > 10 µm constituent la fraction très minoritaire avec moins de 0,1 %.

S'agissant des aldéhydes : formaldéhyde et acétaldéhyde, les niveaux sont plus élevés dans les véhicules particuliers, puis dans les bus et les rames de métros et RER. L'origine de la pollution est sans doute en lien avec les émissions des moteurs avec en complément une contribution des matériaux et revêtements utilisés dans ces modes de transport. L'exposition des piétons et des cyclistes qui se déplacent en extérieur est plus faible. L'usager du tramway apparaît également peu soumis à cette pollution par les aldéhydes.

Comparaison des résultats aux mesures issues des stations fixes du réseau de surveillance

Dans les véhicules particuliers, les niveaux observés sont comparables à ceux relevés sur les sites installés en proximité du trafic routier pour le NO_2 et les PM2,5 et plus élevés en ce qui concerne les HAM et le CO ; cependant, dans l'habitacle du véhicule circulant sur le boulevard périphérique les niveaux atteints pour ces quatre indicateurs de pollution sont toujours nettement plus élevés que ceux enregistrés par la station de la porte d'Auteuil située en bordure de ce même boulevard périphérique.

Pour le piéton, les niveaux d'exposition en NO_2 et PM2,5 sont comparables aux concentrations mesurées sur des stations urbaines. L'exposition du cycliste au NO_2 est également proche des mesures relevées sur les stations urbaines alors qu'il subit une exposition plus élevée en PM2,5.

D'une manière générale, dans les habitacles – des véhicules particuliers et des transports collectifs –, les valeurs mesurées sur les stations fixes peuvent sous-estimer l'exposition de la population, notamment en voiture particulière sur le boulevard périphérique (tous polluants), dans les rames de métros et de RER (PM2,5) ou dans l'autobus de la ligne 91 (NO_2, PM2,5). Les teneurs dans les habitacles dépendent de la pénétration de la pollution extérieure, des phénomènes de réactivité chimique qui peuvent conduire à la formation de polluants secondaires et/ou à la disparition de substances par adsorption sur les parois et surfaces et des sources spécifiques que peuvent générer les individus. Il apparaît donc que dans les situations les plus exposées à un ou plusieurs polluants (tous polluants pour les véhicules particuliers sur le boulevard périphérique, NO_2 pour l'autobus sur la ligne 91, PM2,5 pour les rames de métro et de RER circulant en voies ferroviaires souterraines), les stations du réseau de surveillance ne rendent pas compte de l'exposition subie.

Il est également constaté pour le dioxyde d'azote que la variabilité des teneurs d'exposition au cours des déplacements n'est, le plus souvent, que faiblement expliquée par celle des niveaux ambiants mesurés sur les stations fixes de fond ou de proximité automobile.

Comparaison des résultats de mesures à ceux de l'étude menée en 1998

Les résultats de la présente étude ont été comparés avec ceux obtenus lors d'une précédente campagne menée dans des conditions similaires il y a environ 10 ans (1996-1998). Le monoxyde de carbone, le benzène, le toluène et l'indice de fumée noire ont été suivis sur 11 trajets rigoureusement identiques (l'indice de fumée noire et le coefficient d'absorption sont tous les deux issus de mesures de réflectance et un abaque de conversion entre ces deux indicateurs a été construit).

L'amélioration globale de la qualité de l'air en région parisienne entre 1998 et 2008 se traduit pour ces trois polluants, par une diminution très importante des niveaux d'exposition lors des déplacements, qui est de l'ordre de 80 %, tous trajets confondus. Le pourcentage d'abaissement varie peu d'un type de trajet à l'autre sauf pour le monoxyde de carbone (CO) pour lequel la décroissance est moindre pour les types de déplacements les plus à l'écart du trafic : trajets en RER et trajets pédestres en quartier piétonnier.

Ces résultats concordent avec le constat de l'amélioration de la qualité de l'air sur l'agglomération parisienne pendant la même période pour ces trois polluants. Sur les stations urbaines du réseau de surveillance Airparif, il est enregistré une diminution de 74 % des teneurs en benzène, de 65 % de celles en CO et de 26 % pour l'indice de fumée noire. De même les concentrations atmosphériques, sur les stations « trafic » du réseau de surveillance décroissent de 68 % et de 89 % respectivement pour le CO et le benzène.

En conclusion, il convient aussi de souligner que ces mesures restent des valeurs d'exposition externe et que

l'inhalation des polluants dépend non seulement des concentrations ainsi mesurées mais également du temps d'exposition (les trajets en voiture sont en général plus longs que ceux effectués à pied) ainsi que du débit ventilatoire de la personne qui, du fait de l'effort physique développé est plus important pour le cycliste que pour les autres modes de locomotion.

Les résultats obtenus dans ce travail s'inscrivent de manière cohérente dans ceux des campagnes d'études françaises et internationales menées récemment sur le même thème. La présente étude se distingue particulièrement par le nombre important d'indicateurs de pollution pris en compte ainsi que par le grand nombre de moyens de locomotion étudiés, couvrant de manière assez exhaustive l'ensemble des modes de locomotion utilisés par les habitants de l'agglomération.

Valorisation des résultats

Nature et utilisateurs potentiels

- Projet européen TAPAS (Transportation, Air Pollution and Physical Activities) programme de recherche pour évaluer les effets sur la santé des mobilités actives en milieu urbain et promouvoir ces modes de transport.
- Projet d'étude dans l'habitacle des véhicules automobiles avec Renault.

Modalités pratiques du transfert de connaissances produites

- Mise à disposition d'une synthèse des données de référence sur l'exposition individuelle dans les moyens de transport en région parisienne.
- Utilisation de ces données comme base de départ de nouvelles études d'exposition (actions RATP dans les autobus et le tramway pour compléter les données et réfléchir à de nouvelles actions; actions RATP pour réduire les expositions dans les rames de métros et RER).
- Mise à disposition de méthodologie et protocoles opératoires.

Pistes en termes de transfert vers les praticiens et les pouvoirs publics

- Réfléchir sur des solutions visant à développer les transports alternatifs à la voiture :
  - aménagement de nouvelles pistes cyclables sur de larges avenues ou boulevards à une distance la plus éloignée possible des axes routiers ou dans des rues à trafic très réduit,
  - extension de quartiers tranquilles où évolueraient cyclistes et piétons,
  - développement du tramway en centre-ville,
  - multiplicité des parkings en périphérie des villes ou autour des gares pour favoriser l'abandon progressif de la voiture au profit des transports en commun.

- Diminuer au maximum les sources de pollution liées aux moyens de transport :
  - renouvellement soutenu du parc automobile visant à tendre vers des véhicules plus performants en termes d'émissions et le développement des véhicules propres en ville,
  - installation de bornes de recharge de batteries des véhicules électriques sur les sites RATP d'autobus à l'étude,
  - amélioration de la qualité de l'air dans les espaces souterrains ferroviaires par le renouvellement du matériel roulant (amélioration du freinage électrique sur les nouveaux matériels), mais aussi par la création et le renforcement de la ventilation mécanique de tunnel qui favorise le renouvellement d'air des stations.

- Favoriser un comportement éco-citoyen par des politiques publiques volontaristes :
  - inciter le citadin à prendre un vélo ou marcher plutôt que d'emprunter sa voiture sur les trajets courts,
  - accompagnement des jeunes enfants en toute sécurité vers leurs groupes scolaires de type pedibus ou aménagements de l'espace de quartier pour vélos ou roller,
  - synergies entre le transport collectif et les modes de déplacements doux comme le vélo,
  - politique volontariste de baisse de l'utilisation de la voiture avec accès généralisé aux transports alternatifs.

Valorisations et formations

- Groupe de Travail 1 « Réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé » du PRSE2 (présentation orale).
- 18e symposium international Transport et Pollution de l'Air à Dübendorf les 18 et 19 mai 2010 (présentation orale).
- 15th World Clean Air Congress IUAPPA à Vancouver du 13 au 17 septembre 2010 (poster).
- Journées Santé Environnement portes ouvertes du LHVP du 13 au 17 septembre 2010 (poster).
- Déjeuner presse à l'Assemblée Nationale le 21 octobre 2010 (présentation orale).
- Colloque « Les Respirations d'Enghien » les 8 et 9 octobre 2010 (2 présentations orales session grand public et session médecins).

Publications prévues

- Pollution Atmosphérique
- Risque et Environnement

Gestion des pollutions de proximité

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

L'élaboration ainsi que la mise en œuvre de stratégies d'amélioration de la qualité de l'air et de réduction de ses impacts s'établit à différentes échelles spatiales : logement, rue, quartier, ville, communauté urbaine, région… mais également à différentes échelles temporelles.

La pollution atmosphérique de proximité présente en outre des spécificités dues au fait qu'elle se superpose souvent à d'autres facteurs environnementaux défavorables (bruit, paysage et habitats dégradés, autres sources de nuisances…) qui sont générateurs d'un fort ressenti des problèmes rencontrés et peuvent catalyser une perception plus globale des problèmes d'environnement par les populations qui doit être prise en compte dans la gouvernance en matière de pollution. La construction de stratégies de gestion doit donc à la fois s'appuyer sur les connaissances scientifiques quantitatives permettant d'estimer les risques et les impacts de la pollution et à la fois s'intéresser aux modalités d'utilisation des outils à travers des questions liées à la gouvernance et à l'implication des populations.

Les travaux présentés dans cette session correspondent à 4 situations très diverses de gestion :

- l'utilisation de matériaux photochimiquement actifs pour capter les oxydes d'azote et les aldéhydes ;
- l'évaluation de l'information sur la présence des pollens (pollinier sentinelle du Jardin Botanique de Nantes et bulletin d'information diffusé par le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA)) comme outil de prévention contre l'allergie ;
- la prise en compte des risques de dépôts de polluants liés au trafic routier à proximité des voies de circulation sur les espaces agricoles, maraîchers et horticoles ;
- l'étude de la perception qu'ont les individus de la pollution de proximité et l'apport des indications de capteurs de mesure portatifs.

Photochimie du bâti : sources et puits de polluants oxydants (photoBAT)

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur
Christian GEORGE
IRCELYON
Institut de Recherches sur la Catalyse
et l'Environnement de Lyon
UMR 5256 CNRS/Université Lyon1
2, avenue Albert-Einstein
69626 Villeurbanne CEDEX
Christian.George@ircelyon.univ-lyon1.fr
http://www.ircelyon.univ-lyon1.fr/
AUTRES ÉQUIPES
Jean-François DOUSSIN
Laboratoire Interuniversitaire
des Systèmes Atmosphériques (LISA)
Universités Paris 7 et 12, CNRS (UMR 75 83)
61 avenue du Général-de-Gaulle
94 010 Créteil CEDEX
doussin@lisa.univ-paris12.fr
Abdelwahid MELLOUKI
ICARE (Institut de Combustion,
Aérothermique, Réactivité et Environnement)
CNRS (Centre National de la Recherche
Scientifique) - UPR3021
1C, avenue de la Recherche scientifique
45 071 Orléans CEDEX 02
mellouki@cnrs-orleans.fr

DÉFINITIONS

NO_2 - Dioxyde d'azote
O_3 - Ozone
R - Hydrocarbure
RO_2 - Péroxyle
HO_2 - Radical hydro péroxyle
O - Atome d'oxygène
RO - Radical alkoxyle
OH - Radical hydroxyle
NO_x - Oxydes d'azote
HONO - Acide nitreux
TiO_2 - Oxyde de titane

MOTS CLEFS

Ozone (O_3), pic de pollution, sources de radicaux, acide nitreux (HONO), mur anti-pollution, photocatalyse.

Contenu et objectifs du projet

Pour limiter l'impact des épisodes de pollution photochimique, de drastiques contraintes ont été mises en place sur un certain nombre de sources de polluants (par exemple l'automobile pour les NO_X) pour limiter les pics de pollution. En complément à ces limitations, des solutions de remédiation active sont proposées dans lesquelles des matériaux photochimiquement actifs sont (ou vont être) déployés dans les sites urbains afin d'agir en tant que puits pour certains polluants tels que les oxydes d'azote.

Ainsi, les exceptionnelles propriétés des oxydes de titane sont employées pour la formulation de matériaux autonettoyants (verres, enduits, peinture…) et sont en voies d'être massivement répandues compte tenu des coûts engendrés par la rénovation permanente du bâti.

Ce projet a répondu aux deux objectifs suivants :

- étudier les cinétiques réactionnelles de la conversion de NO_2 et du formaldéhyde sur des matériaux autonettoyants/dépolluants,
- caractériser et simuler ces conversions dans des conditions atmosphériques.

Présentation des travaux de recherche

Contexte général

La pollution de l'air dans les grands centres urbains est une préoccupation majeure de nos concitoyens. Cette pollution se traduit de manière très généraliste par la formation de pics de pollution à l'ozone se formant par le schéma réactionnel **très simpliste** suivant :

$RH + \underline{OH}$	→	$R + H_2O$	(1)
$R + O_2$	→	RO_2	(2)
$RO_2 + NO$	→	$RO + \underline{NO_2}$	(3)
RO_2	→ →	$R'CHO$	(4)
$\underline{R'CHO} + O_2 + h\nu$	→	$R'CO + HO_2$	(5)
$HO_2 + NO$	→	$NO_2 + OH$	(6)
$NO_2 + h\nu$	→	$NO + O$	(7)
$O + O_2$	→	$\underline{O_3}$	(8)

Certaines espèces sont surlignées dans ce schéma afin de souligner leur importance. Ces espèces sont les clefs de ces cycles d'oxydation. Ce sont le dioxyde d'azote (sa photodissociation crée l'ozone) et les aldéhydes (leur photodissociation crée des radicaux conduisant à un cycle catalytique de production d'ozone et ces composés sont par ailleurs cancérigènes).

C'est à travers des mélanges désormais bien connus de composés organiques volatils (COV) et des oxydes d'azote, en présence de lumière, que se forment l'ozone troposphérique et les photooxydants atmosphériques. Ainsi, pour lutter

contre ces pics de pollution de nombreuses réglementations ont été mises en place visant une limitation des sources émettrices de polluants.

Les propriétés dépolluantes de ces matériaux proviennent de la photocatalyse qui est un phénomène naturel dans lequel une substance, appelée photocatalyseur, modifie la vitesse d'une réaction chimique sous l'action de la lumière. Lors de cette réaction, le catalyseur n'est ni consommé, ni altéré. Ainsi, en utilisant l'énergie lumineuse, l'eau et l'oxygène de l'air, les photocatalyseurs engendrent la formation de molécules très réactives, capables de décomposer par oxydoréduction certaines substances organiques et inorganiques présentes dans l'atmosphère.

Sur ce dernier aspect, différents travaux exploratoires ont été menés. Une première expérience utilisant du bitume photocatalytique sur une route a été réalisée. La surface asphaltée d'une portion de Via Morandi à Segrate (Italie), une rue longue de 230 mètres et large de 10 mètres, parcourue chaque jour par environ 1 000 véhicules/heure, a été revêtue d'un mortier photocatalytique. Le suivi de la pollution a mis en évidence une réduction d'environ 60 % des oxydes d'azote sur la voie urbaine. Une seconde expérience a été réalisée cette fois sur des pavés autobloquants posés sur 8 000 m^2 d'un site industriel dans la province de Bergame. L'expérimentation a montré que dans la zone recouverte par les pavés, la concentration en oxydes d'azote mesurée est nettement inférieure à une autre zone utilisée pour la comparaison. La réduction calculée sur la base de valeurs moyennes des résultats enregistrés est d'environ 45 %.
Mais dans tous ces travaux, le suivi n'a été effectué que sur la diminution des oxydes d'azote (donc la caractérisation d'un puits), sans chercher la caractérisation des effets annexes (apparition d'intermédiaires réactionnels, tels que l'acide nitreux). Or, cela est parfaitement insuffisant pour réellement pouvoir prétendre à une réduction de la pollution urbaine.

C'est pourquoi nous avons étudié les propriétés photocatalytiques de ces matériaux (tels que ceux disponibles dans le commerce) mais dans des conditions réellement atmosphériques afin d'établir quel rôle vont jouer ces matériaux en tant que puits et sources de polluants.

Capture du dioxyde d'azote

La dégradation (ou la capture) de NO_2 sur un film contenant le photocatalyseur TiO_2 dans une matrice inerte de SiO_2 a été étudiée. Comme cela a été décrit précédemment, le dioxyde d'azote est effectivement dégradé efficacement à la surface de ces matériaux photocatalytiques en présence de lumière (dans l'obscurité, la dégradation de NO_2 est extrêmement lente). Dans ce cas précis, nous avons pu faire varier la teneur en photocatalyseur entre 10 et 100 %. La vitesse de dégradation (exprimée dans nos travaux sous forme de coefficient de capture) croît si la teneur en TiO_2

croît également. Ainsi, plus la teneur en TiO_2 sera grande plus l'effet dépolluant sera marqué.

Nous avons observé la formation d'acide nitreux (HONO) pour toutes les teneurs en TiO_2 testées, tandis que NO n'était formé que pour des teneurs entre 10 et 55 % en TiO_2. Par ailleurs, le rendement cumulé en HONO + NO dans toutes les conditions testées était inférieur à 100 % indiquant la formation d'ions nitrate à la surface de ces matériaux photocatalytiques.

Ces ions nitrates ne sont pas un produit final d'oxydation mais sont recyclés en partie vers la phase gazeuse sous forme de NO et conduisent, à la surface des photocatalyseurs, à la formation de traces d'ozone.

Capture du formaldéhyde

La réactivité du HCHO a été étudiée sur des surfaces de TiO_2 mélangées ou non à du SiO_2 représentatifs des matériaux autonettoyants. Les cinétiques de capture soulignent une forte influence de la lumière UV dans le domaine 340 - 420 nm (irradiance de 1,45 mW cm^{-2}). Les coefficients de capture BET résultant, exprimant l'efficacité de la dégradation hétérogène, sont compris entre $(3{,}00 \pm 0{,}45)\times10^{-9}$ et $(2{,}26 \pm 0{,}34)\times10^{-6}$. Ils dépendent de la concentration initiale du HCHO dans le domaine (3,5 - 32,5 ppbv), de l'humidité relative entre 6 et 70 %, de la température entre 278 et 303 K et de la concentration massique du TiO_2 dans le substrat minéral entre 1 et 100 %. L'importance de la réaction hétérogène du HCHO à la surface d'oxydes minéraux a été décrite vis-à-vis des processus photochimiques

majeurs de disparition du HCHO soit sa photolyse et sa réaction avec les radicaux OH en termes de vitesse de déposition et de temps de vie. Les résultats indiquent que cette voie de disparition devient compétitive avec les puits mentionnés dans un environnement urbain dense, si au moins 10 % de la surface urbaine est constituée de matériaux autonettoyants couverts de couches de TiO_2 pur.

En d'autres termes, la présence de matériaux photocatalytiques peut inhiber l'apparition de pics photochimiques, certes par la dégradation des NOx mais aussi, et, de façon plus efficace, en intervenant sur d'autres espèces chimiques (comme le formaldéhyde).

Étude en chambres de simulation atmosphérique

L'approche suivie pour conduire les études en chambre de simulation dans le cadre de ce projet repose sur les considérations suivantes : les chambres de simulation, par leur réalisme, constituent des outils irremplaçables pour remettre en perspective, dans les conditions atmosphériques, les résultats obtenus en laboratoire. Elles ne sont cependant pas dénuées d'artefacts potentiels. En particulier, elles comportent nécessairement des parois qui sont évidemment absentes dans l'atmosphère et qui peuvent initier des réactions hétérogènes. Considérant le fait que le projet PhotoBat s'intéresse justement à la quantification de réactions hétérogènes et à leurs impacts sur la composition de l'air, une stratégie expérimentale basée sur l'utilisation de chambres présentant des parois très différentes a été adoptée pour déconvoluer le signal d'intérêt atmosphérique de celui propre à l'instrument. L'une faite d'acier inoxydable – la chambre CESAM du Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA) et trois autres faites d'un film de Téflon – de l'Institut de Combustion Aérothermique, Réactivité et Environnement (ICARE).

À ICARE, les trois chambres de simulation atmosphérique en Téflon possèdent des caractéristiques différentes mais complémentaires ; deux sont à irradiation artificielle par tubes fluorescents et une à irradiation naturelle. Quant à la chambre du LISA, elle diffère des trois autres par la nature des parois mais aussi par le type de source lumineuse employée (lampe à arc à haute pression de Xénon) et par la possibilité d'y faire le vide pour assurer la minimisation des effets mémoire.

Les matériaux étudiés

Au cours de ce projet, deux surfaces commerciales ont été étudiées, d'une part des verres « autonettoyants » et d'autre part des matériaux de couverture.

Afin d'assurer la comparaison des résultats obtenus, une attention particulière a été portée au choix des matériaux. Les verres utilisés dans le cadre de PhotoBat proviennent non seulement du même fournisseur et sont du même type mais ils sont en plus du même lot de production. Une série de plaques de verre ordinaire, d'une part, et de verre *Activ®* de la société *Pilkington™*, d'autre part, a donc été acquise, façonnée et répartie selon leurs besoins entre les partenaires.

La surface totale d'exposition des plaques installées dans les chambres d'ICARE lors des expériences est de 0,5 à 1,55 m^2. Avant chaque expérience, les plaques ont été rincées avec de l'eau ultra pure. Pour les expériences menées sur CESAM, le même protocole a été observé mais la surface des plaques était de 2,88 m^2.

Études de l'impact des matériaux photocatalytiques sur le système chimique NOx/matériaux/air/lumière

Les expériences réalisées dans les différentes chambres de simulation atmosphérique ont montré que la présence de matériaux contenant du TiO_2 conduit à une perte significative de NO_x. Dans les différentes chambres, en Téflon ou en acier inox et irradiation artificielle ou naturelle, la consommation de NO_2 s'accompagne d'une production de HONO et d'ozone. Il a aussi été observé que le verre Activ Glass® (Pilkington™) et la membrane *Eco-Activ®* (Siplat™) se comportent de la même manière.

Ces observations indiquent clairement que la réduction des NO_x est principalement due à la présence du TiO_2 dans les matériaux étudiés. Elles montrent aussi qu'une part des oxydes d'azote piégés est recyclée en acide nitreux. Or l'acide nitreux est une espèce photo labile qui conduit à la formation de radicaux OH eux-mêmes étant, en présence de COV, catalyseur de la formation d'ozone dans le panache des agglomérations.

Nos travaux ont aussi montré que la disparition de NO_2 est suivie d'une formation importante d'ozone qui disparaît à son tour en fin de tests.

Études de l'impact des matériaux photocatalytiques sur le système chimique NOx/propène/matériaux/air/lumière

Afin d'approfondir les rétroactions sur la qualité de l'air de l'usage des matériaux traités au TiO_2, nous avons étudié en chambre de simulation au LISA et à ICARE, le système NOx/propène/air/matériaux/lumière. Ce système chimique a été adopté pour rendre compte de la production photochimique d'ozone dans le panache des agglomérations selon le mécanisme dit du « SMOG photochimique ». En effet, l'accumulation d'ozone et d'autre photooxydants (formaldéhyde, acétaldéhyde, PAN) fait intervenir une oxydation progressive des composés organiques volatils photocatalysés par l'interconversion NO/NO_2 via l'intermédiaire du radical OH. Le propène joue dans ce système le rôle de substitut censé représenter l'ensemble des COV présent en atmosphère urbaine. Il a été choisi pour sa réactivité mais aussi parce que sa chimie atmosphérique est bien connue.

Une série d'expériences a été conduite dans la chambre de simulation atmosphérique en Téflon de 7,3 m^3 (ICARE) et dans la chambre CESAM (LISA). Afin d'observer l'effet photocatalytique du TiO_2, les expériences se sont déroulées dans deux configurations différentes : en présence de plaques de verres autonettoyants (traitées en TiO_2 par Pilkington™ Activ™) et en présence de plaques non traitées.

Les tests ont consisté en l'observation du propène seul dans la chambre sans et avec irradiation, en présence des plaques (traitées et non traitées). Les expériences menées sans irradiation ne montrent aucune différence de perte du propène entre les plaques traitées et non traitées. À l'issue du test, NO est introduit dans la chambre et observé dans l'obscurité pendant 30 minutes minimum en présence du propène.

Une série d'expériences a été conduite à ICARE avec des concentrations de propène initiales de l'ordre de 1,2-1,4 ppm. D'après les observations, 10 % de consommation additionnelle de NO est observée pour la plaque traitée par comparaison avec la plaque non-traitée. À la fin de cette période d'observation, les lampes sont allumées. Une décroissance plus importante du propène et du NO en présence des plaques traitées en TiO_2 par comparaison aux plaques non traitées est observée. En 4 heures de réaction, 40 % du propène initialement présent est consommé pour les surfaces non traitées alors que 58 % sont consommées pour les plaques dopées en TiO_2. Cette différence de consommation devient plus importante pour un temps de réaction plus élevé. Quant à la consommation de NO, l'effet photocatalytique du TiO_2 est plus prononcé mettant en évidence une consommation de 99 % pour les plaques traitées et de 43 % pour les plaques non traitées.
Ces expériences ont permis de mettre également en évidence la formation d'un certain nombre de produits. Parmi les oxydants formés, une forte concentration d'ozone est observée (> 200 ppb) pour les deux types de plaques avec cependant des délais d'apparition dans le temps différents. Pour les plaques traitées, une concentration de 100 ppb était atteinte en 4,6 heures alors que pour les surfaces non traitées, 9 heures ont été nécessaires. Les concentrations en acide nitreux atteintes se sont révélées 2,5 fois supérieures en présence de TiO_2, conduisant à une concentration d'environ 8 ppb en présence de plaques traitées. Le formaldéhyde a été également mesuré comme produit de réaction avec une différence notable sur un intervalle de temps de réaction de 4 heures entre les plaques non traitées et traitées, 72 ppb et 309 ppb, respectivement. La formation des produits en phase gazeuse s'accompagne également d'une formation significative de particules (> $8x10^3$ cm^{-3}) avec des délais d'apparition plus faibles pour les plaques dopées en TiO_2 (2,5 h) que pour les plaques non traitées (7,5 h).

Au LISA, dans la chambre CESAM, plusieurs séries d'expériences ont été conduites en présence de concentrations plus faibles : concentrations d'oxyde d'azote de l'ordre de 50 ppb d'une part, et de 100 ppb d'autre part et concentrations de COV de 150, 300 et 400 ppb.

Ces expériences ont permis de suivre dans des gammes de concentrations proches de celles retrouvées en atmosphère urbaine/périurbaine les déterminants du phénomène estival d'accumulation d'ozone. À partir du COV modèle (le propène), la production d'ozone mais aussi celles d'aldéhydes majeurs (formaldéhyde et acétaldéhyde) et de composés irritants (nitrate de peroxyacétyle – PAN) ont pu être quantifiées. De façon similaire, les résultats montrent qu'il semble que l'oxydation du composé organique volatil soit significativement accélérée en présence de surfaces traitées au TiO_2.

Conclusions

Le projet a consisté à étudier la réactivité de divers matériaux photocatalytiques en mettant en évidence des cinétiques de dégradation très rapide avec cependant l'apparition de produits secondaires. Ces derniers dépendent fortement du matériau et de son utilisation.

Par ailleurs, si l'on considère l'effet des piégeages précurseurs d'ozone en particulier les oxydes d'azote et de recyclage de sources de radicaux, l'effet sur la production d'ozone de la réactivité des surfaces photocatalytiques est ambivalent. Leur évaluation n'est pas directe et, en particulier, il semble indispensable que les phénomènes mis en évidence lors de nos études soient considérés en parallèle de la dynamique atmosphérique (dispersion, réalimentation, changement de régime) et de la dynamique d'échanges entre la phase gazeuse et les surfaces urbaines (dynamiques micro-échelles, effet de Streets canyon…). Pour cela, la modélisation numérique pourrait constituer une approche de choix vers une compréhension spatialisée (3D) de ces effets.

Enfin, le dimensionnement de ce projet n'a pas permis d'obtenir une conclusion ferme sur les bénéfices des matériaux catalytiques car cela requiert une étude en milieu réel, ce qui est désormais planifié dans le cadre d'un projet européen Life + PhotoPaq.

Néanmoins les conclusions suivantes peuvent être avancées :

- les matériaux photocatalytiques ont le potentiel de réduire l'apparition de pollution photochimique ;
- des effets secondaires sont possibles mais semblent minoritaires ;
- leur efficacité dépend de leur implantation sur le terrain (ce n'est pas une solution universelle).

Le projet a cependant clairement mis en évidence le fait que des processus de recyclage de sources de radicaux atmosphériques étaient efficaces dès les conditions de concentrations habituellement rencontrées dans l'atmosphère. Cette identification vient confirmer le fait que la prise en considération d'un simple abattement en oxyde d'azote était insuffisante. Elle met aussi en évidence que la rémission par les surfaces considérées de composés photo-chimiquement actifs aurait profondément affecté les cycles de production d'ozone en modifiant notamment l'extension spatio-temporelle. Enfin, les études cinétiques menées ont permis de produire les données physico-chimiques de base indispensables à l'établissement d'outils de modélisation prenant enfin en compte la complexité des interactions des matériaux photocatalytiques avec leur environnement atmosphérique.

Valorisation des résultats

Comme indiqué, le transfert de PhotoBat a eu lieu à l'échelle européenne, puisque du projet PhotoBat est issu Photopaq dont le dimensionnement, l'implication d'industriels et d'autorités locales, permettra de répondre aux questions soulevées par PhotoBat.

Publications

Revues à Comité de lecture (rang A)

- Kinetics of the tropospheric formaldehyde loss onto mineral dust and urban surfaces. Maria Sassine, Laurence Burel, Barbara D'Anna, Christian George. Atmospheric Environment. doi :10.1016/j.atmosenv.2009.07.044.
- Nitrogen dioxide removal and nitrous acid formation on titanium oxides surfaces – an air quality remediation process ? Maria Eugenia Monge, Barbara D'Anna and Christian George*. Phys. Chem. Chem. Phys., 2010, DOI : 10.1039/b925785c.
- Ozone formation on titanium dioxide glasses. Monge M.-E., George C., D'Anna B., Doussin J.-F., Jammoul A., Wang J., Eyglunent G., Solignac G., Daele V., Mellouki W. J. Am. Chem. Soc., 2010, 132 (24), pp 8234-8235.
- Loss of NO_x on commercial TiO_2 containing materials under atmospheric conditions. Solignac G. , Eyglunent G., Cazaunau M., Bernard F., Daële V. and Mellouki A. Chemosphere, In preparation.
- NitroMAC, a new instrument for HONO measurement : development and intercomparison with LOPAP. Afif C., Jambert C., Colomb A. Eyglunent G., Borbon A., Daële V., Doussin J.-F., Perros. P.-E. Atmospheric Measurement Techniques 2010, in preparation.
- The influence of TiO_2 coatings onf the chemistry of propene/Nox/light system under atmospheric conditions. Jammoul A., Cazaunau M., Wang J., Bernard F., Pangui E., Solignac G., Daële V., Doussin J.-F., Mellouki A. Atmospheric Environment, 2010, in preparation.

Communications et participations à des congrès

2008

- Atmospheric Chemical Mechanisms, 10-12 décembre, Davis CA, USA.
  Photo-Enhanced Deposition of Trace Gases at the Interface of Organic Surfaces.
  C. George (présentation orale, conférencier invité).
- 1st Sino-French Joint Workshop on Atmospheric Environment, Urban and Regional Air Quality : Emissions, Processes, Monitoring and Regulations, Beijing, 29-31 October.
  Loss of NOx by photocatalyst TiO_2 under simulated atmospheric conditions.
  G. Eyglunent, F. Bernard, V. Daële et A. Mellouki.

2009

- Journées Européennes de Photocatalyse, 21-22 septembre, Bordeaux, France.
  Photocatalytic Remediation Processes on Air Quality.
  Monge M., George. C, D'Anna B., Doussin J.-F., Jammoul A., Wang J., Eyglunent G., Solignac G., Daele V., Mellouki W. (présentation affichée).
- Goldschmid 2009 - « Challenges to Our Volatile Planet », 21-26 Juin, Davos, Suisse.
  Uptake and Release of Traces Gases at the Mineral Dust Surface (présentation orale).
  D'Anna B., Ndour M., Sassine M., Nicolas M., Ka O. et George C.

Pollutions de Proximité, Transport et Agriculture (PPTA)

Contenu et objectifs du projet

Le projet Pollution de Proximité, Transport et Agriculture (PPTA) s'est proposé d'évaluer et d'étudier les risques de dépôts de polluants liés au trafic routier, à proximité des voies de circulation sur les espaces agricoles, maraîchers et horticoles. L'approche développée a combiné (1) la quantification des dépôts de polluants au voisinage des routes, (2) la perception des risques et les adaptations des acteurs concernés par ce type de pollution (agriculteurs, riverains, consommateurs, prescripteurs), et (3) une analyse des impacts à l'échelle de la région Île-de-France et des aménagements possibles pour circonscrire l'impact de ces risques potentiels. Ce projet s'est centré sur la notion de « distance de sécurité » ou « distance d'impact », en analysant les paramètres physiques et les déterminants sociaux qui jouent sur sa définition. Le projet a été structuré en trois volets : un volet ***« production d'indicateurs métrologiques »,*** basé sur l'utilisation de modèles de dispersion et de dépôts de polluants à proximité immédiate des voies de transport et la validation de ces modèles par des campagnes de mesure ; un volet ***« analyse des formes de perception et d'adaptation des acteurs »*** à cette pollution atmosphérique de proximité, qui visait à analyser comment les acteurs concernés (producteurs agricoles, consommateurs, décideurs locaux et riverains) « apprécient » la pollution de proximité et par quels moyens ils s'y adaptent, le cas échéant ; un volet ***« évaluation à l'échelle de l'Île-de-France des distances d'impact et étude de solutions pour diminuer ces impacts »***, visant à réaliser une évaluation régionale des surfaces agricoles les plus exposées à la pollution routière de proximité en région parisienne et d'étudier des solutions pour en diminuer les effets.

Présentation des travaux de recherche

Volet 1

Le volet 1 du projet a eu pour objectifs :

- de quantifier des dépôts de polluants à proximité d'un axe routier via une campagne de mesures et la mise en œuvre de modèles ;
- et de comparer les performances de trois modèles de dispersion et de dépôt de polluants à proximité des axes routiers : les modèles CALPUFF et ADMS-Urban utilisés par Airparif et le modèle FIDES développé par l'INRA. Cette comparaison a montré un comportement sensiblement identique sur les concentrations de polluants mais des différences importantes concernant la prise en compte du dépôt. Le dépôt simulé par FIDES et ADMS-Urban étant plus important près de la route que celui simulé par Calpuff.

L'étude de la sensibilité des modèles aux paramètres d'entrée a mis en avant l'influence prépondérante de la stratification thermique, de la rugosité du site, de la direction du vent et de la hauteur de la source dans la simulation des concentrations à proximité des axes routiers. Cette étude a également montré l'influence prépondérante du type de polluant (gaz, particules) et de la stratification thermique dans la simulation du dépôt mais aussi dans une moindre mesure de la rugosité, de la hauteur de la source et de la direction du vent.

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur

Benjamin LOUBET
UMR INRA-AgroParisTech
Environnement et Grandes Cultures
78 850 Thiverval-Grignon
loubet@grignon.inra.fr

AUTRES MEMBRES
Amir Ali FEIZ
Brigitte DURAND
Pierre CELLIER

AUTRES ÉQUIPES
Christine AUBRY
Caroline PETIT
Élisabeth RÉMY
Cécile BLONDEAU
UMR INRA-AgroParisTech SADAPT
christine.aubry@agroparistech.fr

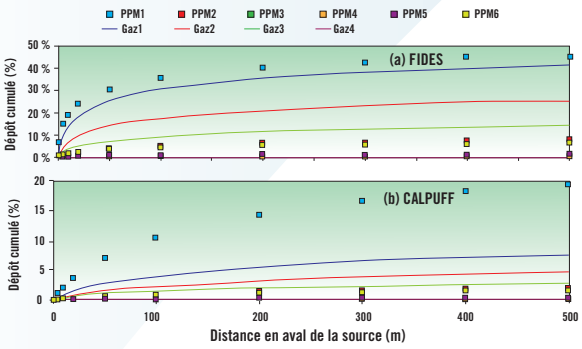
Fabrice DUGAY
Cécile HONORE
Anne KAUFMANN
Christophe AMPE
AIRPARIF

Julie MISSONNIER
Erwan CORDEAU
Cécile MAUCLAIR
Laure DE BIASI
Christian THIBAULT
IAU (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme) de l'Île-de-France

MOTS CLEFS

Pollution de proximité, trafic routier, perception de la pollution, impact agricole, distances de dépôt

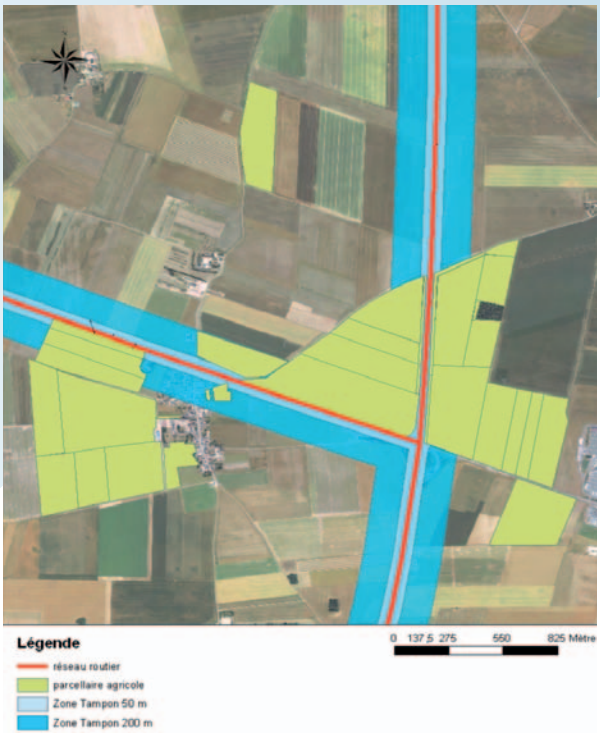
Une campagne de mesures de quatre semaines a été réalisée dans une exploitation agricole, le long de l'autoroute A6, durant laquelle les concentrations et dépôts de polluants ont été mesurés. Les concentrations en NO_x, PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu pendant quatre semaines par Airparif et les dépôts de métaux lourds ont été estimés par accumulation sur cette période dans des plantes et sur des supports passifs (INRA). Les concentrations en NO_x, PM2,5 et PM10 étaient plus faibles que sur les zones de fort trafic d'Île-de-France mais l'accroissement des concentrations près de l'autoroute a été clairement mis en évidence. La zone à proximité de l'autoroute a montré des dépôts de fer, de plomb, de cuivre et zinc accrus par rapport au site de fond. Du cadmium a été détecté à des niveaux très faibles. Globalement, pour des raisons de directions de vent peu favorables, les mesures de dépôt présentent un coefficient de variation très fort. Toutefois, les mesures semblent indiquer que les niveaux de dépôt de plomb et cadmium mesurés sont en dessous des normes concernant la consommation de légumes.



Simulation des concentrations et dépôts dumulée de 4 gaz types et des 6 classes de particules avec les modèles FIDES (a) et CALPUFF (b).

Les simulations des modèles ont été confrontées aux mesures de concentration et de dépôt. Il en ressort que la qualité des prédictions des concentrations par les modèles est bonne pour les NO_x, les PM10 et PM2,5 à 10 et 100 m de l'autoroute. Par ailleurs les dépôts de métaux lourds simulés par FIDES sont dans la gamme des mesures, tandis que Calpuff et ADMS-Urban sous-estiment les mesures. Il est toutefois difficile de conclure sur la qualité des modèles étant donné les arguments contradictoires qui découlent de ces comparaisons :

- il est attendu que les mesures de dépôt ne soient pas uniquement représentatives de l'impact du trafic routier, car elles incluent la remise en suspension des poussières issues de toutes les sources, tandis que les modèles eux ne prennent pas cette part en compte. Cet argument tendrait à indiquer que Calpuff et ADMS-Urban donnent des résultats réalistes et que les particules ont une taille de l'ordre du micron ;
- toutefois les modèles gaussiens que sont Calpuff et ADMS-Urban tendent par construction à sous-estimer le dépôt en champ proche. On est donc en droit d'attendre une sous-estimation de ces modèles, mais sans doute pas d'un ordre de grandeur tel que nous l'avons observé ici ;
- le modèle FIDES pour les particules ne prend pas en compte la sédimentation du panache et il doit donc sans doute surestimer la distance maximum de dépôt pour les particules supérieures au micron. Des mesures plus précises de la granulométrie des particules déposées et une période d'accumulation plus longue semblent nécessaires pour lever l'incertitude sur l'adéquation modèles-mesures.



Cas d'adaptation à la proximité des routes (induit par un cahier des charges) : distances de sécurité de 50 m pour des herbes aromatiques annuelles (en bleu clair) et 200 m pour des herbes pérennes (en bleu foncé). En vert, le parcellaire de l'agriculteur.

Volet 2

Le volet 2 a eu pour objectifs d'analyser les perceptions et formes d'adaptation de trois catégories d'acteurs, a priori concernés par les éventuelles relations entre pollutions dues au trafic routier et cultures : les agriculteurs, les filières d'aval, les associations de riverains.

On montre, par des enquêtes auprès d'agriculteurs dans deux régions agricoles franciliennes à systèmes de production différenciés (Plaine de Versailles à dominante céréalière ; Plaine de Bière à dominante maraîchère), que la pollution atmosphérique liée au trafic routier n'est pas un déterminant courant des décisions de localisation des cultures (et pas du tout de leur conduite). Seuls deux cas d'adaptation ont été repérés dans notre échantillon.

On met par contre en évidence qu'il existe dans les filières agricoles trois secteurs qui intègrent des critères de distances par rapport aux routes, traduites dans des cahiers des charges techniques : les céréales dans certains créneaux de niche, peu présents en Île-de-France, l'alimentation infantile et les herbes aromatiques. Les cahiers des charges incluent des distances de 250 ou de 50 mètres d'éloignement entre les parcelles contractées et les routes et des intensités de trafic de 5 000 ou 15 000 véhicules/jour selon les secteurs commerciaux. L'élaboration de ces critères semble, après analyse des secteurs concernés, ne pas s'appuyer sur des fondements scientifiques approfondis : par ailleurs, une étude bibliographique large a montré que ces notions de distance de dépôt, distance de sécurité ou distance d'impact des polluants issus du trafic routier font l'objet d'encore relativement peu de travaux, et que les données disponibles se caractérisent par une forte variabilité de ces distances y compris pour un même polluant.

Une simulation cartographique basée sur ces deux types de critères montre que les parcellaires des agriculteurs enquêtés seraient impactés en moyenne de l'ordre de 4 % pour une distance de 50 m et en moyenne de 30 % pour une distance de 250 mètres, pour un trafic de plus de 5 000 véhicules/jour. Ces impacts sont ressentis par les agriculteurs comme difficiles à intégrer dans leurs systèmes de production, si ces critères venaient à se généraliser, et en particulier dans les systèmes maraîchers, déjà très contraints dans la localisation de leurs cultures et successions de cultures.

Trente-quatre entretiens semi-directifs concernant 23 associations locales ou antennes associatives régionale/nationale (FNE, IDFE, ESF) ont été réalisés dans les deux mêmes petites régions. Ils ont permis de saisir les différents *points de vue* des associations environnementales concernant la qualification des problèmes liés à la pollution atmosphérique. La notion de point de vue est alors à saisir dans la double acception critique et géographique de : *point de vue sur/point de vue duquel on se place*. Ainsi, avec pour objectif d'interroger les notions de distance et de proximité, il s'agit non seulement de *l'expression d'opinions et de prises sur* un sujet donné mais aussi, du *lieu depuis lequel la vue sur cet objet est particulièrement intéressante*. Autrement dit, quels liens font les associations entre « Pollution atmosphérique de proximité, Transports et Agriculture » ?

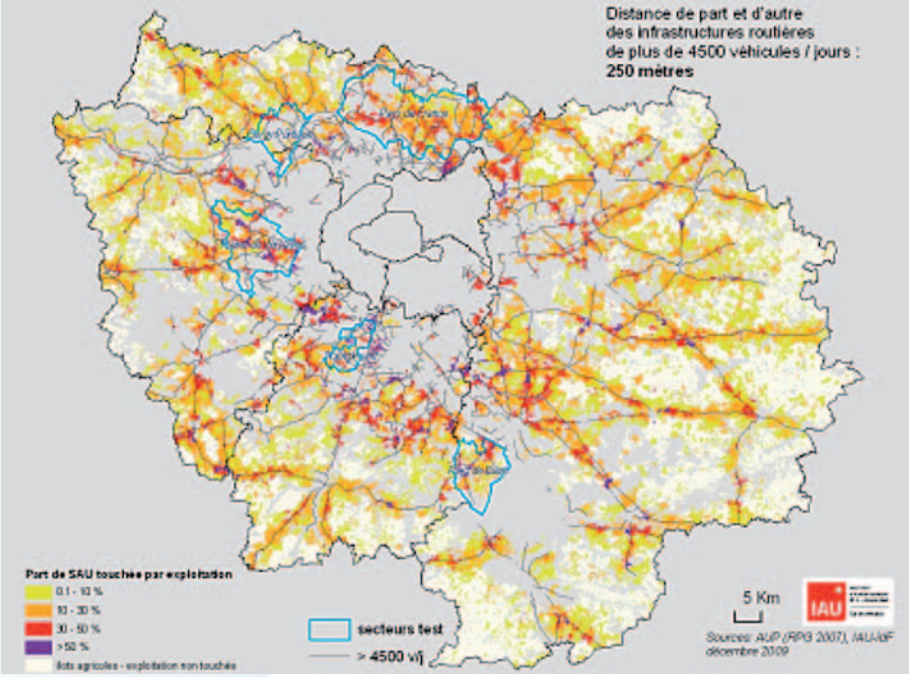
Tandis qu'en plaine de Bière il s'agit d'associations créées principalement face à des problèmes existants posés par les infrastructures routières et l'augmentation constante de la circulation, en plaine de Versailles, nous observons de nombreux collectifs regroupant diverses associations, lesquelles se mobilisent principalement autour de projets routiers/autoroutiers à venir. Les proximités à la pollution se traduisent sans prise de mesures sur les secteurs concernés et combinent deux points de vue : la pollution atmosphérique est un fait avéré « *on est dedans* » et dans

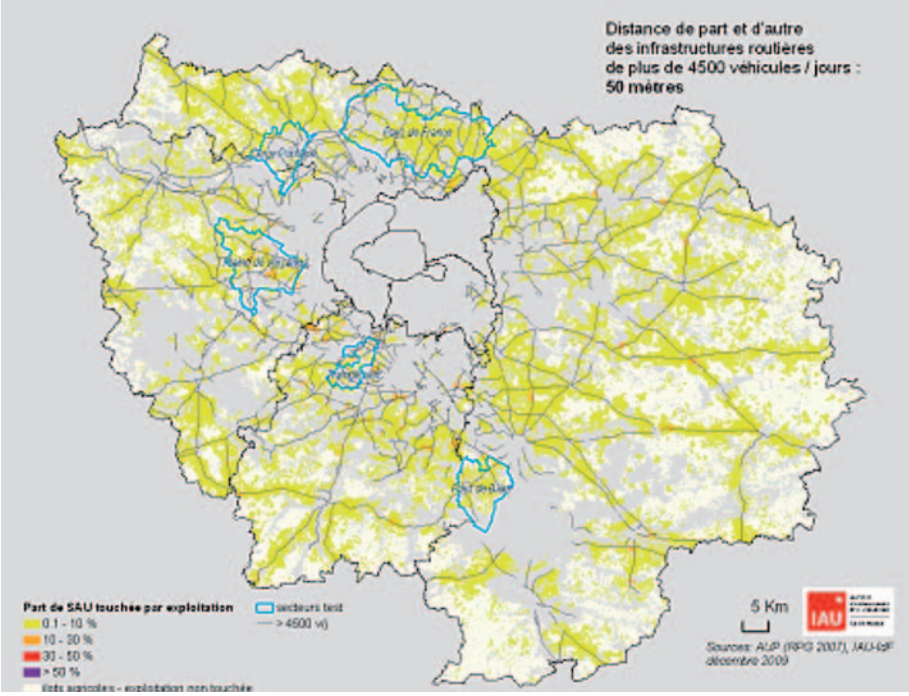
le même temps, elle n'est pas facile à appréhender. Pour cela, elle est saisie par les acteurs associatifs *via* des prises corporelles (irritations, bronchites etc.) et des connaissances sensibles en lien avec les autres nuisances ressenties à proximité des routes (sonores, visuelles, odorantes).

Certaines associations rappellent les incertitudes généralement attribuables aux modèles utilisés par les scientifiques qui ont l'inconvénient de gommer les spécificités locales auxquelles celles-ci sont attachées. Il s'agit alors de faire reconnaître une définition changeante et aléatoire des paramètres de proximité étayés par des connaissances sensibles des lieux et une attention aux sensibilités individuelles.

Les proximités au trafic mises en cause ne concernent pas uniquement les autoroutes. Les routes départementales et nationales sont souvent critiquées à cause des nuisances qu'elles génèrent. Dès lors, une connaissance fine de l'état des trafics et de ses conséquences au quotidien fixe un ordre de priorités : l'insécurité routière, le bruit, les vibrations, la saturation des réseaux… Plus difficiles à appréhender, les préoccupations liées à la pollution diffuse ne sont pas directement mises en avant mais sont néanmoins bien présentes.

Les relations de ces associations à l'agriculture sont complexes : d'une part, la crainte de perdre de la surface agricole pour la région, de l'autre des situations conflictuelles en raison de problèmes de circulations des engins agricoles et d'usage jugé trop important des pesticides et autres traitements chimiques. C'est pourquoi les associations locales n'ont pas encore créé de liens avec les agriculteurs pour interroger la pollution d'origine routière subie par le monde agricole.


Distance de part et d'autre
des infrastructures routières
de plus de 4500 véhicules / jours :
250 mètres
Part de SAU touchée par exploitation
0.1 - 10 %
10 - 30 %
30 - 50 %
> 50 %
îlots agricoles - exploitation non touchée
secteurs test
> 4500 v/j
5 Km
IAU
Sources: AUP (RPG 2007), IAU-IdF
décembre 2009


Distance de part et d'autre
des infrastructures routières
de plus de 4500 véhicules / jours :
50 mètres
Part de SAU touchée par exploitation
0.1 - 10 %
10 - 30 %
30 - 50 %
> 50 %
secteurs test
> 4500 v/j
5 Km
IAU
Sources: AUP (RPG 2007), IAU-IdF
décembre 2009

Cependant, IDFE (Ile De France Environnement) vient tout juste d'évoquer et de proposer cette question comme recommandation au Plan Régional de la Qualité de l'Air auquel elle participe. Cette recommandation inscrit de fait des attentes et des objectifs plus précis quant à la mise sur agenda du problème de l'impact des routes sur les productions agricoles.

Volet 3

Le volet 3 a été consacré à l'extrapolation maximaliste de ces précautions « commerciales » issues des cahiers des charges techniques sectoriels, à l'échelle régionale : il s'agit de l'estimation régionale des surfaces agricoles susceptibles d'être touchées par une clause de cahier des charges prescrivant un recul de 250 mètres ou de 50 mètres des voies dont le trafic routier s'élève à plus de 5 000 véhicules/jour. Les données disponibles ont permis également de mesurer ces impacts à l'échelle des exploitations et des territoires infrarégionaux.

Après analyse des bases de données géographiques disponibles, une couche spécifique sur le réseau de voies routières à fort trafic a été construite à partir de la combinaison de la base Top Adresse de l'IGN (sélectionnée pour sa précision géographique et ses renseignements sur l'emprise des voies) et de la couche Trafic de l'IAU ÎdF (sélectionnée pour ses données trafic routier par brin). Les zones les plus urbaines ont été exclues. Pour sélectionner les brins routiers, une marge de 10 % de la valeur trafic par rapport au seuil de 5 000 véhicules/jour a été retenue (soit 4 500 véhicules/jour), afin d'éviter les ruptures de linéaire. Les espaces et les exploitations agricoles ont été étudiés au travers du Registre parcellaire graphique (RPG) de l'Agence ASP, qui renseigne les îlots agricoles déclarés en Île-de-France au titre de la PAC. Cette base permet d'interpréter environ 98 % de l'espace agricole régional, avec une très bonne précision géographique compatible avec la base Top Adresse. Le RPG permet également de connaître les cultures pratiquées par îlot (année 2007 utilisée pour ce travail) ainsi que les îlots exploités par une même exploitation.

La combinaison de ces deux couches d'information par traitement SIG a montré que la surface agricole à moins de 250 m des axes routiers ayant un niveau de trafic supérieur à 4 500 véhicules par jour est d'environ 54 500 hectares en Île-de-France, soit près de 10 % de la surface agricole utile (SAU) régionale. 48 % des exploitations agricoles franciliennes ont au moins un îlot dans la bande de 250 mètres. Pour 24 % d'entre elles, plus de 30 % de leur surface agricole se trouve dans cette bande, dont 8 % touchées sur plus de la moitié de leur surface. Les exploitations agricoles de la ceinture verte régionale, situées entre 10 et 30 km autour de Paris, sont particulièrement sensibles à ces contraintes étant donné la densité d'infrastructures routières et les niveaux de trafic. Une distance de recul de 250 mètres imposée par précaution, mais dont les fondements scientifiques sont relativement ténus quant à la contamination des sols ou des cultures comme l'a montré le volet 2, pourrait être particulièrement néfaste pour l'agriculture francilienne.

En revanche, seule 1,5 % de la SAU régionale se trouve à moins de 50 m d'une route de niveau de trafic supérieur à 4 500 véhicules par jour. Toutefois, ces zones sont des secteurs privilégiés de maraîchage et d'arboriculture, plus exposées aux polluants que des céréales protégées par leur enveloppe : 17 % des zones maraîchères et 16 % des vergers sont situés dans des îlots dont une partie se trouve à moins de 50 m d'un axe routier à fort trafic.
Pour protéger les cultures, des aménagements ponctuels le long des axes pourraient faire écran et absorber une partie de la pollution. Les aménagements les plus préconisés sont des murs anti-bruit, associés à des plantations arbustives d'au moins 10 mètres de large. Néanmoins, ce type d'aménagement ne peut pas se concevoir à grande échelle pour des raisons paysagères, financières ou foncières. Le traitement de cette problématique suppose une prise en compte à un niveau plus global du territoire régional, par des mesures de réduction de la pollution à la source et de rationalisation des infrastructures de transports.

Perspectives

✦ Volet I

Compte tenu des incertitudes liées aux mesures de dépôts d'Éléments Traces Métalliques (ETM), et à la difficulté que nous avons rencontrée pour conclure sur la qualité des simulations de dépôts par les modèles, il nous semble nécessaire de réaliser une nouvelle campagne de mesure :

- sur une période plus longue d'intégration (au moins deux à trois mois) afin d'augmenter la sensibilité de la mesure d'ETM ;
- en mesurant les ETM d'intérêt mais aussi tous les autres ETM ainsi que les cations et anions majeurs afin de pouvoir identifier la part issue du trafic dans les dépôts ;
- en mesurant la granulométrie des particules déposées afin de permettre une validation des modèles ;
- en mesurant ou en estimant la granulométrie et la hauteur des émissions (par exemple en ayant un poste de mesure le long de la route).

Il nous semble que c'est en combinant ces différentes mesures qu'il sera possible d'améliorer la validation des modèles de dépôt et de lever l'ambiguïté que nous avons rencontrée.

Un des objectifs du volet 1 était de produire des indicateurs du dépôt. Nous n'avons pas atteint cet objectif dans le temps imparti au projet. Il serait toutefois envisageable d'utiliser les simulations de dépôts cumulés à des distances de 1, 5, 10, 50, 100, 250 et 500 m pour les 10 classes de polluants étudiées ici (gaz et particules) et pour l'ensemble

des cas traités dans l'étude de sensibilité. Cette base de données pourra être enrichie (dans le cadre d'autres études) par des simulations supplémentaires afin de multiplier les conditions météorologiques et les angles du vent par rapport à la route. Ces données, une fois combinées avec les SIG développés dans le volet 3 et enrichis de cartographies précises des émissions de polluants, pourraient être utilisées pour déterminer une cartographie des dépôts d'ETM sur les parcelles agricoles en Île-de-France.

✦ Volet2

Compte tenu des résultats portant sur les agriculteurs et les filières, il serait intéressant de poursuivre ce travail sur plusieurs points :

- approfondir la connaissance des impacts des « distances de sécurité » imposées par les filières, en enquêtant auprès des exploitations ayant contractualisé ce type de cahier des charges (donc en sortant de l'Île-de-France). Il s'agirait d'analyser à la fois leur fonctionnement technique et les répercussions économiques pour l'exploitation (rapport entre la valorisation des produits par le cahier des charges et l'exclusion de certaines zones de l'exploitation). Il s'agirait aussi de mesurer les conséquences de ces applications en termes de perception des risques dans les zones concernées.
- Compte tenu de la diffusion inter-filières déjà constatée (de céréales à herbes aromatiques) de ces critères d'éloignement, il s'agirait de suivre l'évolution des prescripteurs actuels et l'arrivée éventuelle de nouvelles filières dans ce type de prescription.
- Le développement de circuits courts actuellement constaté dans les zones urbanisées interroge inévitablement la qualité des produits agricoles cultivés en bord de route. Il serait important de pouvoir mener des enquêtes auprès des couples producteurs-consommateurs dans au moins une partie de ces circuits, particulièrement représentés en Île-de-France par ailleurs.

Il y aurait de même des recherches à mener sur les modalités techniques de productions susceptibles de contenir les risques de dépôt sur les cultures (serres, bâchage…).
Si l'on veut instruire correctement toutes les questions que soulève la notion de « distance de sécurité », il faut aller jusqu'à l'évaluation concrète du risque alimentaire, et donc monter des programmes de recherche avec des spécialistes de l'alimentation et de la santé humaine : ces recherches sont aujourd'hui très rares.

Le *point de vue* associatif tel que nous l'avons défini donne ainsi une évaluation sensible et fluctuante de la relation Pollution/Transport/Agriculture et Environnement. Compte tenu de ces résultats, il serait intéressant de :

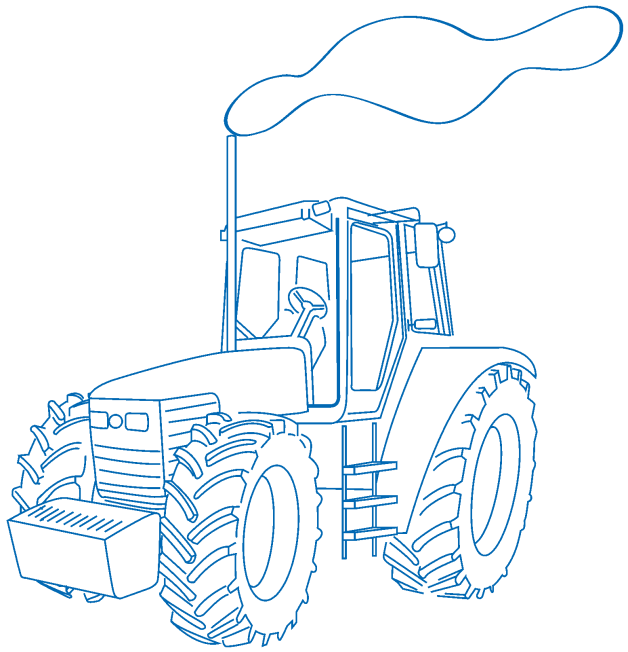
- mener un travail d'actualisation sur ces associations en interrogeant le type de ressources mobilisées et les nouvelles étapes dans la qualification des problèmes (y compris par rapport à la réception de ce rapport).
- poursuivre l'étude sur les mails échangés par les résidents franciliens avec Airparif permettrait également afin de saisir l'évolution des préoccupations des Franciliens en termes de pollution atmosphérique.

✦ Volet 3

La réalisation d'un certain nombre de travaux complémentaires pourrait améliorer ou affiner les résultats du volet 3. Grâce à la spatialisation des zones impactées par un recul autour des axes d'un certain trafic, plusieurs configurations de sites adaptés pourraient être proposées pour la mise en place d'un dispositif expérimental de longue durée (axe des vents dominants, cultures spécialisées, configuration en déblai/remblai…), permettant d'affiner le cumul des dépôts sur une longue période et la comparaison avec les normes pratiquées pour la consommation alimentaire.

La spatialisation régionale pourrait par ailleurs être améliorée en prenant en compte les caractéristiques locales des brins routiers (direction par rapport aux vents, profil des voies…) et les caractéristiques de dépôts associés. Cela suppose de créer une couche d'information géographique compatible avec l'occupation du sol qui puisse intégrer l'ensemble de ces caractéristiques.

Enfin une troisième piste serait de compléter la couverture de l'occupation agricole francilienne sur les cultures les moins représentées dans le Registre Parcellaire Graphique (RPG), c'est-à-dire les cultures spécialisées. Cela pourrait nécessiter la création, par photo-interprétation et peut-être à l'aide d'autres recoupements, d'une couche spécifique sur les cultures spécialisées.



Valorisation des résultats

Pour l'IAU îdF, en tant que bureau d'études techniques auprès de la Région Île-de-France, pour l'accompagnement de ses politiques d'aménagement du territoire, les travaux du volet 3 ont apporté plusieurs éclairages tout à fait intéressants. En effet, les résultats montrent la vigilance à accorder au suivi des critères introduits dans la contractualisation avec les agriculteurs, par rapport aux conséquences qu'elles sont susceptibles d'entraîner sur l'espace régional. Ces travaux ont également montré les limites d'une protection physique ponctuelle aux pollutions générées par le trafic routier et la nécessité de penser globalement le lien entre développement des réseaux d'infrastructures et agriculture, tout particulièrement en ceinture verte où les pressions sont fortes.

En termes d'acquis scientifiques sur l'utilisation de bases de données géographiques, le projet a montré l'importance de la concordance des couches pour l'analyse et la nécessité d'utiliser des données compatibles entre elles. Sur un plan plus technique, ces travaux nous ont par ailleurs permis de tester la pertinence de l'utilisation du registre parcellaire graphique en lien avec les bases de données de l'IAU îdF.

Ce projet a permis d'améliorer la prise en main des modèles de dispersion et de dépôts utilisés pour la prévision de la qualité de l'air à proximité des voies de trafic par AIRPARIF. En effet la confrontation des sorties des modèles aux valeurs mesurées sur le terrain et l'étude de sensibilité aux paramètres d'entrée a permis de faire ressortir les qualités de ces modèles ainsi que les points d'amélioration.
Ce projet a permis l'organisation d'un séminaire intitulé « Routes et pollutions de l'air en Ile-de-France : un défi sanitaire et territorial », soutenu par la Région Ile-de-France dans le cadre du DIM Santé-Environnement-Toxicologie, 2009-2010, coordonné par E. Rémy et C. Petit (Inra UMR Sad-Apt) et Jean-François Petit (Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien).

Valorisation et formations

- **Blondeau C.** (2009). *Construire un espace de proximité commun entre trafic routier, pollution, débats publics et associations environnementales*. Congrès de l'Association Française de Sociologie, April 14-17, France, Paris.
- **Blondeau C., Rémy E.** (2009). *Construire la riveraineté par un savoir sur les pollutions diffuses*. Congrès de l'Association Française de Sociologie, avril 2014-17, France, Paris.
- **Feiz Amir Ali, Benjamin Loubet, Fabrice Dugay, Cécile Honoré, Brigitte Durand and Pierre Cellier**. *An evaluation of pollutant dispersion and deposition models downwind from a traffic line*. 15th IUAPPA World Clean Air Congress, 12-16 Septembre, Vancouver, Canada. Oral presentation. http://www.iuappa2010.com/pdf/IUAPPAAbstractsOnly.pdf
- **Loubet B., Amir Feiz, Fabrice Dugay, Cécile Honore, And Pierre Cellier. A model study of dry deposition of gaseous and particulate pollutants downdind from a traffic line**. CLIMAQS Workshop 'Local Air Quality and its Interactions with Vegetation'. January 21-22, 2010, Antwerp, Belgium. Poster presentation. 1pp. http ://193.191.168.142/AQ-Vegetation-workshop/abstract/Loubet_poster.pdf
- **Loubet B., Fabrice Dugay, Christophe Ampe, Cécile Honore, Anne Kauffmann, Brigitte Durand, Amir Feiz and Pierre Cellier**. *Concentrations and deposition of pollutants in the vicinity of a highway near Paris*. CLIMAQS Workshop 'Local Air Quality and its Interactions with Vegetation'. January 21-22, 2010, Antwerp, Belgium. Oral presentation. 5pp. http ://193.191.168.142/AQ-Vegetation-workshop/abstract/Loubet_oral.pdf
- **Petit C., Aubry C.** (2009). *Road traffic pollution : how should farmers and retailers adapt ?*, Farming Systems Design, August 23-26 - USA, Monterey, CA.
- **Petit C., Aubry C., Ducoulombier-Crépineau C.** (2008). *State of knowledge of road traffic pollutants effects on agricultural lands at the edge of roads*, 9th European Meeting on Environmental Chemistry, Escola Politècnica Superior Girona, Catalonia, Spain, 3-6 december 2008.

Stage de fin d'études en Master Sciences et Technologies du Vivant, Spécialité de recherche Agronomie. 2008.

- **Petit C.** (2008). Doctorat : *Analyse des formes de perception et d'adaptation des acteurs à la pollution atmosphérique de proximité*.
- **Amir A. Feiz**. Post-doctorat déc. 2009-juillet 2010 : *Détermination d'indicateurs d'impacts de pollution issue des transports sur l'agriculture en région parisienne*.

Publications

- **Petit C., Rémy E., Aubry C.** (2009). Trafic routier et distances de sécurité : Le dilemme de l'agriculture en Ile-de-France, *VertigO* - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 9 Numéro 1 | mai 2009, [En ligne], mis en ligne le 23 mai 2009. (http://vertigo.revues.org/8413). Consulté le 29 avril 2010.
- **Petit C., Rémy E., Aubry C.** (accepté pour publication). *Agriculture and proximity to roads : how should farmers and retailers adapt ? Examples from the Ile-de-France Region*. Land Use Policy.
- **Rémy E., Blondeau C.**, La pollution en ligne(s), Annales de la Recherche Urbaine. *Soumis*.
- **Feiz A., Loubet B., Dugay F., Honoré C., Durand B., Cellier P.** Experimental and numerical investigation of pollutants dispersion and deposition near a heavy traffic road near Paris, *En rédaction*.

Rôle de l'information sur la présence des pollens dans la prévention de la pollinose

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur
Claire SÉGALA
SEPIA-Santé
31 rue de Pontivy
56 150 Baud
csegala_sepia@orange.fr

AUTRES MEMBRES
Marie-Thérèse GUILLAM
Christelle LE GRAND
Mandy LEJEUNE
Gaëlle PEDRONO
Angéline VINAT

AUTRES ÉQUIPES
Alain MEUNIER et Daniel RIVIÈRE
ARS Pays de la Loire

Laurent-Charles ANTOINE
Dominique CHEVALLIER
Yann DUBREIL
Odile MORIN
Isabelle BEAUGENDRE
AEROCAP, Nantes

Claude FIGUREAU
Romaric PERROCHEAU
Jardin Botanique Ville de Nantes

Michel THIBAUDON
RNSA

MOTS CLEFS

Pollinose, graminées, pollens d'arbre, système d'information, étude d'intervention, symptômes, épidémiologie, pollinier sentinelle, Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA).

Contenu et objectifs du projet

La rhino-conjonctivite pollinique touche 10 à 20 % de la population en Europe et en France, la prévalence a triplé en 25 ans. Un des moyens de prévention est l'information des patients sur le démarrage des pollens afin que ceux-ci puissent démarrer la prise en charge de leur affection en toute connaissance de cause : modification de certains comportements, consultation de leur médecin et prise de traitement(s). Le but général des études réalisées est d'évaluer l'impact sur la morbidité de deux systèmes d'information sur la présence des pollens, existant dans la région nantaise. Les études sont du type « intervention randomisée » sur deux groupes parallèles (un groupe prévenu, un groupe non prévenu).

Le premier système évalué est celui du « pollinier sentinelle du Jardin Botanique de Nantes », mis en place en 2003. Ce « pollinier » comprend 21 espèces locales dont 13 herbacées et 8 ligneuses (arbres nanifiés) et l'observation quotidienne de la libération des pollens permet de déterminer le tout début de la pollinisation pour chaque espèce. Deux études d'intervention ont été menées :

- en 2007, l'intervention consistait à prévenir les sujets du groupe intervention du démarrage des pollens de graminées et à leur demander de démarrer un traitement préventif antihistaminique.
- en 2009, l'intervention était basée sur la seule information du groupe intervention du démarrage des pollens. Dans la mesure où les arbres allergisants tels que le bouleau, le frêne et le chêne ne sont pas arrivés à maturité au niveau du pollinier, il n'est pas encore possible d'évaluer l'impact du « système pollinier » dans son ensemble et l'analyse principale a porté pour cette étude, comme pour l'étude 2007, sur les volontaires uniquement sensibilisés aux graminées.

Le deuxième système évalué est celui du Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) qui diffuse chaque semaine un bulletin d'information contenant un risque prévisionnel, appelé RAEP (Risque Allergique lié à l'Exposition aux pollens) allant de 0 (nul) à 3 (élevé) pour le grand public. Ce score est basé sur les comptes polliniques, des bulletins cliniques recueillis auprès d'un réseau sentinelle d'allergologues, les prévisions météorologiques et des informations phénologiques. L'étude a été menée en 2009 et l'intervention était basée sur la seule information du groupe intervention du démarrage des différents pollens.

Pour ces trois études, les objectifs étaient de mesurer l'effet de l'intervention sur :

- le nombre de jours sans symptôme de pollinose (symptômes nasaux, oculaires, respiratoires),
- la fréquence des différents symptômes de pollinose,
- les traitements,
- la qualité de vie,
- les recours aux soins.

En 2009, des analyses complémentaires ont également été menées cherchant à mesurer l'effet groupe (groupe intervention vs. groupe témoin) sur la présence de symptômes nasaux après ajustement sur les facteurs temporels, les caractéristiques individuelles et les facteurs environnementaux, dont les comptes polliniques.

Présentation des travaux de recherche

Impact du pollinier sentinelle

✦ Étude 2007

Quatre-vingts-un patients (dont 42 dans le groupe intervention) ont été recrutés par 6 médecins allergologues selon les critères d'inclusion suivants : âgés de 15 ans ou plus, atteints de pollinose aux graminées depuis au moins 2 ans, résidents dans un rayon de 30 km autour de Nantes, non-fumeurs. Les sujets ayant des tests cutanés positifs aux pollens d'arbre, aux allergènes animaux, aux moisissures et aux acariens avec symptômes étaient exclus. Les deux groupes ont été formés par tirage au sort avec les critères de randomisation suivants : sexe, âge, désensibilisation en cours. Durant 4 mois, les patients renseignaient dans un carnet journalier quant aux symptômes, traitements et débit de pointe. Au vu des années précédentes (début d'émission des herbacées début avril), le démarrage de l'étude était prévu à la mi-mars. Le pollinier annonçant les premiers pollens de « flouve odorante » le 27 février, le déclenchement de l'intervention a été avancé au 9 mars avec demande du remplissage du carnet à partir du 5 mars. À cette date, certains patients présentaient déjà des symptômes de pollinose. L'analyse du critère principal consistait à tester la différence de la proportion moyenne de jours sans symptômes de pollinose entre les deux groupes.

En premier lieu, nous avons constaté une très bonne adhésion au protocole de la part des patients et leur très bon suivi avec un retour de 97 % des questionnaires journaliers, la concomitance des premiers symptômes de pollinose avec les données du pollinier et la très grande précocité des données du pollinier par rapport aux comptes polliniques. La proportion de jours sans symptômes nasaux est inférieure dans le groupe témoin (différence non significative). Si l'analyse est restreinte aux sujets sans symptômes de pollinose au démarrage de l'étude, la proportion de jours sans symptômes nasaux est de 45,8 % dans le groupe témoin contre 65,2 % dans le groupe intervention ($p = 0,03$). En revanche, on n'a pas observé de différence pour d'autres symptômes de pollinose, tels les symptômes oculaires ou sur les autres critères de jugement de l'intervention : traitements, recours au soin, fonction pulmonaire et qualité de vie (SF12®).

✦ Étude 2009

Cent-huit volontaires ont été inclus et randomisés (sexe, âge et groupe de sensibilisation) : 52 dans le groupe pollinier, et 56 dans le groupe témoin.

Trois alertes « arbres » en provenance du pollinier sentinelle ont été émises pour le noisetier (le 26 janvier), pour le saule (le 23 février) et pour le cyprès de Provence (le 2 mars). Les autres arbres du pollinier (bouleau, frêne et chêne notamment) étaient en 2009, encore trop jeunes pour fleurir. On constate que les alertes noisetier et saule ont précédé la détection des pollens correspondants par le capteur (pour le cyprès, une seule espèce est actuellement mature au niveau du pollinier, alors que le capteur détecte tous les pollens de cupressacées et taxacées détectés par le capteur). Les alertes concernant la floraison de sept graminées se sont succédé entre le 9 avril (flouve odorante) et le 18 juin. Au niveau du capteur, les comptes polliniques de graminées allaient de 0 à 6 grains/m^3 avant le 9 avril, puis de 0 à 11 grains/m^3 entre le 9 avril et le 18 mai, puis ont commencé à réellement augmenter (au-dessus de 20 grains/m^3) à partir du 19 mai seulement, avec un pic autour du 1er juin (valeur maximale le 2 juin avec 277 grains/m^3). Notons que des quantités importantes de pollens de graminées étaient toujours présentes lorsque l'étude s'est terminée.

Les scores de qualité de vie estimés début juin, pendant le pic des graminées sont supérieurs à ceux mesurés au démarrage de l'étude quel que soit le groupe étudié, avec une qualité de vie moins bonne surtout en ce qui concerne les problèmes pratiques (besoin d'avoir des mouchoirs, besoin de se frotter le nez et/ou les yeux, besoin de se moucher fréquemment) et le retentissement sur les activités (à la maison ou au travail, avec les autres, de plein air). Le groupe prévenu a, durant le pic de graminées, une meilleure qualité de vie que le groupe témoin : les différences sont significatives pour le score global, le retentissement sur le sommeil, les problèmes généraux et les problèmes pratiques.

Dans le groupe de volontaires uniquement sensibilisés aux graminées (respectivement 17 et 27 personnes), la proportion de jours sans symptômes nasaux du groupe pollinier est supérieure de 16 % à celle du groupe témoin ; la différence est proche du seuil de signification statistique. Toujours dans cette population, une deuxième méthode d'analyse des données va dans le même sens avec un risque de symptômes nasaux inférieur dans le groupe prévenu versus le groupe témoin (OR = 0,50 ; IC95 % : 0,22-1,10 ; p = 0,08), après prise en compte de nombreux facteurs de confusion et de l'autocorrélation des données. Aucune différence n'est observée entre les deux groupes en ce qui concerne l'indicateur « beaucoup de symptômes nasaux » ou les autres symptômes (oculaires, respiratoires et fatigue).

La proportion de jours sous traitement antihistaminique des volontaires sensibilisés aux graminées uniquement est plus basse dans le groupe prévenu que dans le groupe témoin (p = 0,07) pendant la période entre la première alerte graminées et le 18 mai (moins de 20 grains/m^3 de pollens de graminées) et est significativement inférieure toujours dans le groupe prévenu entre le 19 mai et la fin de l'étude.

Impact du bulletin d'information du RNSA contenant un risque prévisionnel RAEP

Cent-dix volontaires ont été inclus et randomisés (sexe, âge et groupe de sensibilisation) : 54 dans le groupe RNSA et 56 dans le groupe témoin (le même groupe que pour l'étude pollinier).

Les bulletins ont été diffusés tous les vendredis. Le premier risque « arbre » a été émis le 6 février pour le noisetier, suivi par l'aulne, le cyprès, le frêne, le peuplier, le saule, le bouleau, le platane et le chêne le 17 avril. Pour les graminées, un risque de niveau 2 a été émis le 27 mars, suivi de risques de niveau 1 les semaines suivantes, puis de nouveau un risque de niveau 2 à partir du 15 mai, suivi d'un risque de niveau 3 à partir du 29 mai jusqu'à la fin de l'étude. Rappelons que les pollens de graminées n'ont été mesurés en quantité supérieure à 20 grains/m^3 qu'à partir du 19 mai.

Les scores de qualité de vie estimés début juin sont supérieurs à ceux mesurés en janvier quel que soit le groupe étudié, avec une qualité de vie moins bonne surtout en ce qui concerne les problèmes pratiques (besoin d'avoir des mouchoirs, besoin de se frotter le nez et/ou les yeux, besoin de se moucher fréquemment) et le retentissement sur les activités (à la maison ou au travail, avec les autres, de plein air). Le groupe RNSA a tendance à avoir, durant le pic de graminées une meilleure qualité de vie que le groupe témoin, les différences sont significatives pour le retentissement sur les activités et les problèmes pratiques, et la différence du score global entre les deux groupes est proche du seuil de signification (p = 0,08).

Pendant la période entre le premier risque émis pour le noisetier et la fin de l'étude, on observe une proportion inférieure de beaucoup de symptômes nasaux chez les volontaires du groupe prévenu par rapport au groupe témoin. Dans le groupe des volontaires sensibilisés aux graminées, on observe également une proportion inférieure de symptômes nasaux (quelle que soit la fréquence) et une tendance à une moindre consommation d'antihistaminiques chez ceux du groupe prévenu par rapport au groupe témoin entre la première alerte graminées et la fin de l'étude. Dans cette population, une deuxième méthode d'analyse des données confirme le risque de symptômes nasaux inférieur dans le groupe prévenu versus le groupe témoin (OR = 0,60 ; IC95 % : 0,37-0,98 ; p = 0,04), après prise en compte de nombreux facteurs de confusion et de l'autocorrélation des données. Enfin, on observe également une tendance à moins de symptômes nasaux dans le groupe prévenu par rapport au groupe témoin pendant les périodes de risque pour le frêne d'une part et le bouleau d'autre part, pour les personnes sensibilisées aux pollens correspondants (résultats non significatifs).

Discussion

Les deux études 2007 et 2009 se sont déroulées de façon satisfaisante avec une très bonne adhésion des volontaires au protocole, comme en témoignent les taux de retour des questionnaires. Les études réalisées vont dans le sens d'un impact positif de l'information et sont riches d'enseignements.

Le premier résultat concerne la qualité de vie. Il est montré que la qualité de vie se dégrade pendant le pic des graminées dans les trois groupes, mais que l'ensemble des volontaires des groupes prévenus conserve une qualité de vie meilleure durant le pic de graminées que celle du groupe témoin.

Pour les personnes recevant les bulletins polliniques du RNSA, pendant toute la période entre le premier risque émis pour le noisetier et la fin de l'étude, on observe une proportion inférieure de symptômes nasaux pour l'indicateur « beaucoup de symptômes » par rapport au groupe témoin. On observe également une tendance (résultats non significatifs) à moins de symptômes nasaux pendant les périodes de risque pour le frêne d'une part et le bouleau d'autre part, pour les personnes sensibilisées aux pollens correspondants.

Les symptômes nasaux sont très fréquents et augmentent graduellement au cours de l'étude. Au moment du pic des graminées, plus de 95 % des volontaires disent souffrir de tels symptômes. Globalement, même si tous les résultats n'atteignent pas le seuil de signification de 5 %, chez les volontaires sensibilisés aux pollens de graminées, les proportions de jours sans symptômes nasaux sont supérieures dans les groupes prévenus, par rapport au groupe témoin à partir des premières alertes « graminées » (27 mars pour le RNSA et 9 avril pour le pollinier) : quelle que soit la méthode d'analyse des données.

Comme dans l'étude 2007, on ne constate pas de différences entre les groupes « prévenu » et « témoin » pour les symptômes oculaires et respiratoires. En revanche, cette nouvelle étude ne montre pas de différence entre les groupes pour le symptôme de fatigue. En 2007, le groupe prévenu avait signalé significativement plus de fatigue que le groupe témoin ; mais rappelons que les volontaires du groupe prévenu avaient la consigne de démarrer un traitement antihistaminique. Même si les antihistaminiques de 2e et 3e générations sont formulés pour ne pas avoir d'effet sédatif, leur influence sur la fatigue du groupe prévenu ne pouvait être totalement exclue.

Enfin, les études 2009 tendent à montrer que les personnes des groupes prévenus consomment un peu moins de traitement antihistaminique, ce qui est un des effets attendus de l'intervention : les personnes étant informées de la présence des pollens auxquels ils sont sensibilisés peuvent mieux se prendre en charge, éviter des comportements à risque et au final moins consommer de médicaments.

D'autres points suivants peuvent être évoqués :

- Les saisons polliniques sont très variables d'une année à l'autre, en termes de dates d'apparition des différents pollens, en termes d'espèces responsables d'une année sur l'autre des quantités de pollens émis… et la planification d'études d'intervention reste délicate. Si la première étude avait été perturbée par le démarrage très précoce des graminées (fin février), en 2009 au contraire, les graminées étaient toujours très présentes au moment de la fin de l'étude et les émissions de pollens d'arbres ont été relativement peu importantes par rapport à d'autres années.

- Les patients atteints de pollinose constituent une population hétérogène en termes de gravité et de recours aux soins notamment, et les deux études successives ont été réalisées sur des populations très différentes. En 2007, il s'agissait d'une population de patients inclus par leurs médecins allergologues, plus jeunes avec une moyenne d'âge autour de 31 ans (vs. 38 ans dans l'étude 2009), dont la pollinose évoluait en moyenne depuis 13-14 ans (vs. 20 ans dans l'étude 2009), dont 64 % étaient en cours de désensibilisation (vs. 19 % dans l'étude 2009) et qui malgré la désensibilisation avaient souffert de symptômes la saison précédente. Les volontaires de l'étude 2009 ont été recrutés principalement suite à des annonces dans la presse. Beaucoup d'entre eux n'avaient jamais consulté

de médecin allergologue et ont, lors de la visite d'inclusion, effectué leur premier bilan allergologique (rappelons qu'un certain nombre de personnes pensant souffrir de rhinoconjonctivite saisonnière n'ont pas été incluses dans l'étude, car elles n'étaient sensibilisées à aucun pollen).

• Les études ont eu des objectifs complémentaires : l'étude 2007 a testé et montré l'intérêt d'une information précoce de la présence des pollens dans une population de patients suivis médicalement et atteints d'une pollinose liée aux seules graminées. Une ordonnance de médicaments avait été fournie aux patients par leur médecin et il avait été demandé au groupe prévenu de démarrer la prise d'antihistaminique au démarrage de l'émission des graminées. Dans la mesure où de plus en plus souvent les patients sont polysensibilisés (parmi les 162 volontaires inclus en 2009, 55 % étaient sensibilisés à la fois à des pollens d'arbres et aux graminées), où le traitement au long cours par antihistaminique est discuté, et où beaucoup de personnes atteintes de pollinose ne sont qu'insuffisamment prises en charge, il avait été décidé de tester, pour l'étude 2009, l'impact de la seule information précoce de la présence des pollens, d'une part par le système des bulletins polliniques mis en place par le RNSA, d'autre part par les informations délivrées par le pollinier sentinelle du jardin botanique de Nantes, cette information étant susceptible d'influer le comportement des patients qui peuvent éviter des comportements à risque et se traiter lorsque des symptômes gênants apparaissent (automédication et/ou recours à un médecin). Comme attendu, les deux systèmes d'information font la preuve de leur intérêt en termes d'une diminution des symptômes nasaux et d'une meilleure qualité de vie lors du pic des graminées, en notant qu'à l'heure actuelle, le pollinier n'est en mesure d'apporter une information pertinente que sur les graminées. La connaissance précise du début de la pollinisation permet d'adapter un traitement précoce et d'éviter ainsi les exacerbations de la maladie, notamment au niveau respiratoire. Elle constitue une aide précieuse à un diagnostic étiologique allergologique et permet la mise en place ciblée d'une désensibilisation spécifique dont il convient de rappeler qu'elle constitue à ce jour le seul traitement étiologique de la pollinose. Son efficacité a atteint un niveau de preuve suffisant, comme en attestent les dernières recommandations de la Société de Pneumologie de Langue Française et de la Société Française d'Allergologie concernant le traitement de l'asthme et de l'allergie. L'immunothérapie spécifique par voie sous-cutanée vis-à-vis des acariens et/ou des pollens est efficace sur les symptômes d'asthme, la consommation en médicaments et le niveau d'hyperréactivité bronchique. Son efficacité n'est pas démontrée sur l'obstruction bronchique. Les effets cliniques d'une immunothérapie spécifique par voie sous-cutanée peuvent persister, même après l'arrêt de ce traitement. L'immunothérapie spécifique évite l'acquisition de nouvelles sensibilisations à des pneumallergènes chez l'enfant. L'immunothérapie chez le rhinitique diminue de plus le risque d'asthme.

• Ce travail a de plus montré l'intérêt d'utiliser un questionnaire de qualité de vie spécifique. Si dans l'étude 2007, l'utilisation d'un questionnaire générique de qualité de vie avait été décevante, le questionnaire de Juniper (mis gracieusement à notre disposition) a été en mesure de juger d'une dégradation de la qualité de vie des volontaires et d'estimer une différence entre groupes prévenus et groupe témoin. Il est intéressant de noter que l'amélioration de la qualité de vie pendant le pic des graminées concerne l'ensemble des volontaires des deux groupes prévenus.

Valorisation des résultats

La prévention des allergies a été actée par le Plan National Santé Environnement (PNSE2) fiche 7 : Protéger la santé et l'environnement des personnes vulnérables du fait de leur état de santé, action 22 : prévenir les allergies et intégrée dans le Plan Régional Santé Environnement (PRSE2) de la région Pays de Loire action 1 : réduire l'exposition aux substances chimiques et allergisantes de l'air extérieur, opération 1.4 : suivre l'expérimentation du système d'alerte précoce d'émission de pollens (pollinier sentinelle) de Nantes et opération 1.5 : créer un réseau régional de polliniers sentinelles.

Dans ce contexte, un logiciel de recueil et diffusion des données sera développé par le ministère chargé de la santé pour un réseau de polliniers sentinelles en cours de constitution avec les villes de Laval, Rennes, Cholet, La Rochelle voire (discussions en cours) Caen et Le Havre.

Les partenaires du « pollinier sentinelle » réfléchissent sur l'information qui sera diffusée aux personnes atteintes de pollinose dès l'année prochaine. Actuellement, les données sont disponibles sur deux sites, celui de l'Agence Régionale de Santé (ARS) Pays de Loire : http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr/envir/, et celui de Air Pays de Loire : http://www.airpl.org/pollens/pollinier_sentinelle. D'autres types d'informations avaient été prévus au démarrage du projet, mais avaient été suspendus pour ne pas perturber les études en cours. Différentes solutions sont possibles et actuellement explorées : informations diffusées sur les panneaux lumineux de la ville de Nantes, alertes individuelles via un serveur, alertes reprises par le bulletin d'Air Pays de Loire sur la pollution atmosphérique, collaboration avec Météo-France…

Quant aux bulletins polliniques du RNSA, il est déjà possible de s'inscrire : soit par mail gratuit sur www.pollens.fr, soit en téléchargeant le widget gratuit mis au point par Stallergenes et téléchargeable sur tous les smartphones et ordinateurs.

Par ailleurs, une nouvelle étude « Étude de la relation entre les comptes polliniques et les symptômes de pollinose », dont le RNSA est promoteur, est actuellement en cours retenue par l'AFR environnement-santé 2008 de l'Afsset. SEPIA-Santé et Météo-Suisse sont les partenaires de cette étude et plusieurs médecins allergologues nantais participent au recrutement des volontaires.

L'objectif principal est d'étudier la relation à court terme entre les comptes polliniques mesurés dans l'air et la survenue des symptômes de la rhino-conjonctivite allergique chez des adultes monosensibilisés respectivement aux pollens de bouleau, de graminées et d'ambroisie et recrutés dans plusieurs villes françaises et suisses par des médecins libéraux. Les objectifs secondaires sont d'étudier la forme de la relation dose-réponse entre symptômes et comptes polliniques, les interactions éventuelles entre les effets des polluants, des facteurs météorologiques et des pollens, et d'identifier les facteurs personnels modifiant la sensibilité des individus à l'exposition aux pollens, et notamment la prise de traitements. Il est prévu que le côté multicentrique de l'étude (plusieurs villes en France et en Suisse) permette outre de faciliter le recrutement d'un nombre suffisant de sujets, la mise en œuvre d'analyses stratifiées par ville ou zone géographique et après prise en compte d'une éventuelle hétérogénéité géographique, de relier la quantité de pollen et la survenue des symptômes pour un pollen donné, quel que soit le lieu de résidence des patients.

Le projet consiste à suivre trois panels de sujets adultes ayant une hypersensibilité démontrée au préalable respectivement aux pollens de bouleau, de graminées et d'ambroisie durant la période de pollinisation correspondante.

Valorisation et formations

- **Pédrono G., Le Grand C., Guillam M.-T., Meunier A., Rivière D., Figureau C., Thibaudon M., Vinat A., Dubreil Y., Chevallier D., Antoine L.-C., Morin O., Ségala C.** *Short term effects of pollen counts and sentinel botanic garden observations on pollinosis symptoms : a French panel study.* Congrès de l'ISEE (International Society for Environmental Epidemiology), août 2009, Dublin, Irlande.
- **Meunier A, Ségala C.** *Pollinoses : le pollinier sentinelle, un outil d'alerte en temps réel.* Colloque Asthme et Société. Bordeaux. 30-31 janvier 2008.
- **Chevallier D.** *Pollinier sentinelle : un outil de prévention des pollinoses.* 3e Congrès francophone d'Allergologie 2008, Paris.
- **Ségala C., Meunier A., Figureau C.** *Étude d'intervention : impact du pollinier sentinelle de Nantes sur la morbidité liée aux pollinoses.* ADELF, septembre 2008, Paris.

Publications

- **Guillam M.-T., Antoine L.-C., Chevallier D., Dubreil Y., Figureau C., Morin O., Pédrono G., Rivière D., Ségala C., Meunier A.** Prévention des pollinoses : étude d'une intervention par information et mise sous traitement des patients. *Revue française d'Allergologie et d'Immunologie clinique.* Accepté pour publication.
- **Guillam M.-T., Ségala C.** Pollens et effets sanitaires : synthèse des études épidémiologiques. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie.* 2008 ; 48 :14-19.

Approche psycho-sociologique de la quantification de la pollution de proximité au trafic et de ses implications dans l'agglomération parisienne

ÉQUIPES PARTENAIRES
Coordinateur
Lionel CHARLES
Fractal
26 rue des Rigoles
75020 Paris

AUTRES MEMBRES
Géraldine LE NIR
Anne KAUFMAN
Airparif

MOTS CLEFS

pollution de proximité, trafic automobile, exposition, quantification, indicateurs, agglomération parisienne, santé.

Contenu et objectifs du projet

En contexte urbain, qui rassemble aujourd'hui plus de quatre-vingts pour cent de la population française, le passage d'une pollution d'origine massivement industrielle à une pollution dans laquelle les transports ont une part prépondérante s'est progressivement accompagné d'une transformation importante des dispositifs de surveillance. Confrontés à la multiplicité des sources et à leur mobilité, ceux-ci se sont structurés de façon à permettre une caractérisation d'ensemble des émissions polluantes reposant sur un nombre limité d'indicateurs, adossé à un système de normes et de valeurs limites définissant des seuils réglementaires d'information et d'alerte en cas de dépassement. Ces dispositifs ont largement bénéficié des ressources de la modélisation, qui a rendu possible la mise en place de la prévision. Soumis à des perfectionnements constants, ils n'offrent cependant qu'une information générale, de même que les travaux épidémiologiques menés en relation à ceux-ci n'autorisent qu'une appréhension statistique de l'impact sanitaire des pollutions à court et à long terme, présentant donc d'importantes incertitudes. De fait, ils ne permettent pas de connaître à échelle fine, individuelle, l'exposition à la charge polluante ou ses incidences sanitaires. L'évolution des techniques de mesures rend cependant progressivement possible de contourner certains aspects de cette difficulté avec en particulier le développement de capteurs légers, portables, qui peuvent accompagner un individu au long de ses déplacements, et rendent donc possible une évaluation beaucoup plus précise de son exposition quotidienne à un ou plusieurs polluants et l'exploration des situations de proximité. Ces nouvelles possibilités en matière de mesure ont des implications très importantes dans l'appréhension quantitative de la pollution et peuvent amener à terme à revoir de façon significative le regard porté sur elle à travers des approches différenciées. C'est cette réalité nouvelle et les questions qu'elle soulève que visait à aborder cette étude, dont l'objectif était de cerner la perception que des individus en proximité au trafic ont de cette extension de la mesure comme de la façon dont elle était susceptible de les amener à en envisager l'impact.

L'étude s'est déroulée en deux phases successives :

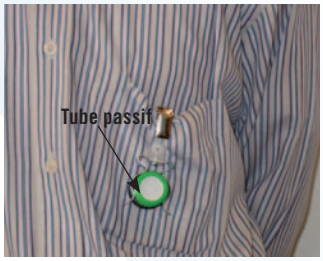
- une première phase, orientée sur la mesure, visait à identifier un nombre limité d'individus exposés à des niveaux élevés de pollution en situation de proximité. On a constitué dans un premier temps un large échantillon des populations concernées. Au sein de cet échantillon, on a ensuite par contact direct retenu un certain nombre de volontaires répondant aux conditions de l'étude qui ont effectué les mesures, dont les résultats ont fait l'objet de traitements statistiques.
- Une deuxième phase s'est attachée à l'investigation psycho-sociologique des participants. Une partie des individus ayant participé aux mesures a fait l'objet d'entretiens approfondis portant sur l'ensemble des aspects en relation avec la pollution et l'exposition en situation de proximité,

en prenant pour une part appui sur les éléments quantitatifs et qualitatifs recueillis lors de la passation des mesures.

Présentation des travaux de recherche

Le dioxyde d'azote (NO_2), polluant émis à plus de 50 % en région parisienne par le trafic routier, est un bon indicateur de la pollution atmosphérique de proximité au trafic. Les concentrations observées dans le cœur dense de l'agglomération parisienne ainsi qu'en proximité au trafic dépassent l'objectif annuel de qualité (40 µg/m³). L'état des connaissances actuel permet de réaliser des cartographies de pollution, mêlant mesures et modélisation, utilisées comme point de départ pour la recherche de personnes vivant dans les zones les plus polluées.

Sélection des volontaires et des mesures à effectuer



Les volontaires devaient, pour participer à l'étude, résider ou travailler en proximité du trafic routier, sur l'un des axes choisis par Airparif après l'étude des cartes de pollution au NO_2 (année 2007) et accepter les conditions de l'étude, notamment en termes de mesure (installation de trois capteurs pendant deux journées). Une répartition géographique des participants a été retenue : 40 % résidant ou travaillant dans Paris intra-muros, 45 % en Petite couronne et 15 % en Grande couronne, avec une répartition non homogène sur les différents départements. Le panel de 56 volontaires ainsi constitué ne se veut pas représentatif des Franciliens, leur nombre, leur localisation et leurs modes de vie ne répondant pas aux critères de représentativité.

Réalisation de la campagne de mesure

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs spécifiques au composé choisi. Il s'agit d'un petit capteur portatif, autonome et facile d'emploi. Le fonctionnement métrologique de ce capteur est fondé sur le piégeage du polluant recherché sur un support (le tube), contenant un réactif chimique spécifique, à partir de la diffusion passive de l'air ambiant. Une analyse ultérieure en laboratoire permet d'estimer la concentration moyenne à laquelle le volontaire a été exposé. L'incertitude de la mesure est estimée à 25 %. On évalue ainsi pour chaque volontaire la concentration moyenne de NO_2 qui lui est propre, fonction des environnements traversés au cours de sa journée.

Trois mesures ont été réalisées simultanément sur une durée de 24 heures (de 8 h à 8 h) : individuelle, de l'air intérieur et de l'air extérieur. Un questionnaire d'activités (déplacements, cuisine au gaz, consommation de cigarettes, etc.) a été rempli par chaque volontaire afin de pouvoir expliquer ses niveaux individuels. Les mesures en air intérieur, ont été effectuées soit dans une pièce de l'habitation, soit sur le lieu de travail, celles en extérieur sur le même lieu (à la fenêtre), avec les mêmes capteurs. Les mesures ont été effectuées deux fois une journée, les jeudis 26 juin et 25 septembre 2008, par chaque participant. En parallèle, des mesures en extérieur ont été réalisées dans différentes stations permanentes du réseau d'Airparif (6), aussi bien en situation de fond qu'en proximité automobile, avec toujours le même dispositif de mesure.

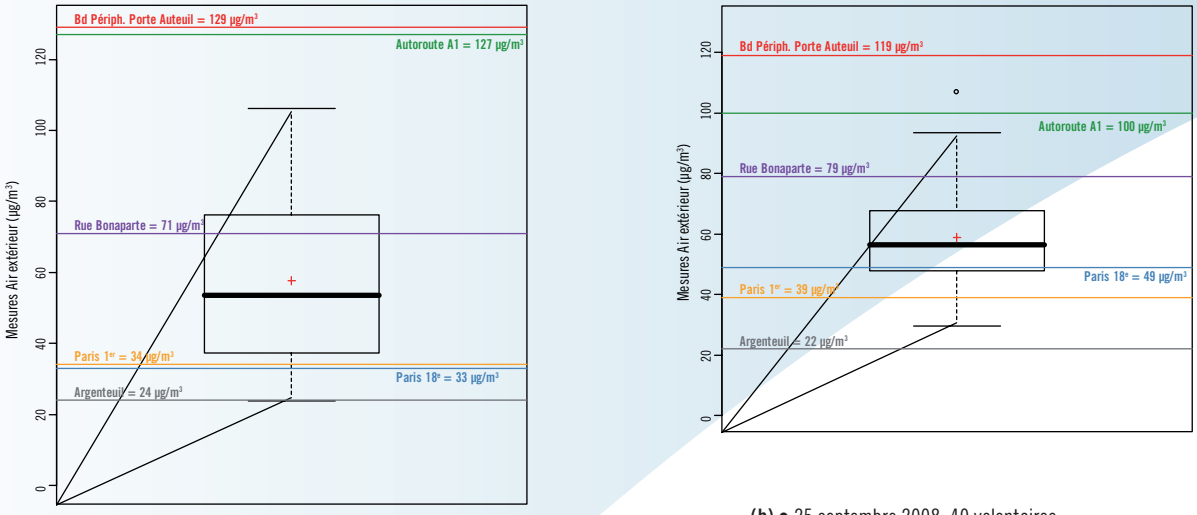
Résultats

D'un point de vue statistique général sur l'échantillon, 41 personnes ont pu effectuer les relevés dans de bonnes conditions pour les deux journées de mesure. Les volontaires étaient majoritairement des hommes (60 %) habitant (ou travaillant) dans un appartement (85 %). Ils ont pour la plupart (85 %) effectué les mesures en intérieur à leur domicile.

Les niveaux mesurés lors des deux journées aux stations permanentes sont comparables et s'expliquent par des conditions météorologiques semblables (temps nuageux).

D'une manière générale, les concentrations en air extérieur sont les plus fortes, ce qui est cohérent avec les résultats d'études antérieures[1]. Les niveaux d'exposition individuelle sont en moyenne plus élevés que les mesures fixes en intérieur. Ceci s'explique par les micro-environnements traversés dans la journée (transports, espace confiné), influençant les mesures.

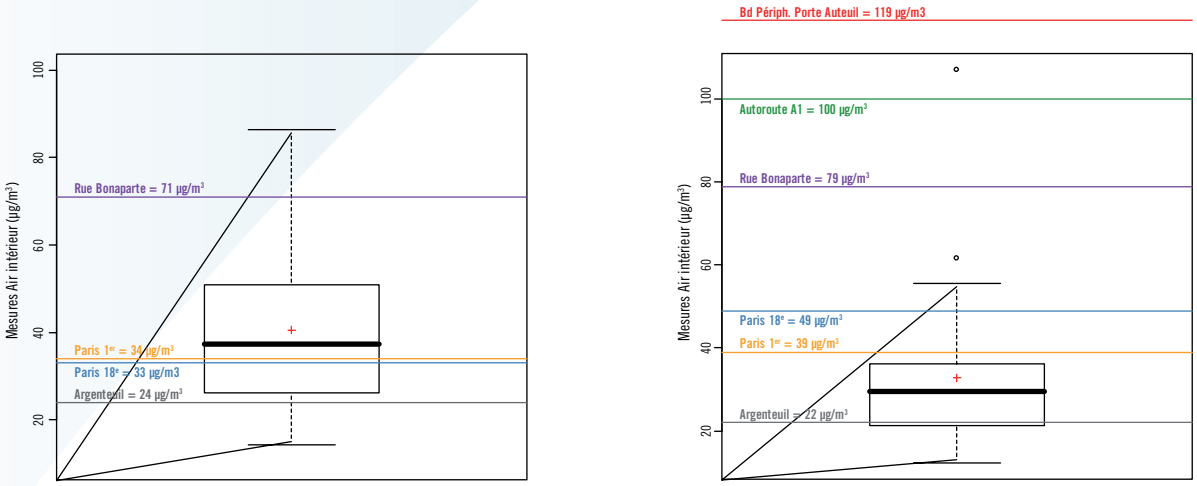
1. « Caractérisation de la qualité de l'air à proximité des voies à grande circulation, Premier volet : campagne de mesure portant sur le boulevard périphérique au niveau de la porte de Gentilly », Airparif, février 2008.



(a) • 26 juin 2008, 41 volontaires

(b) • 25 septembre 2008, 40 volontaires

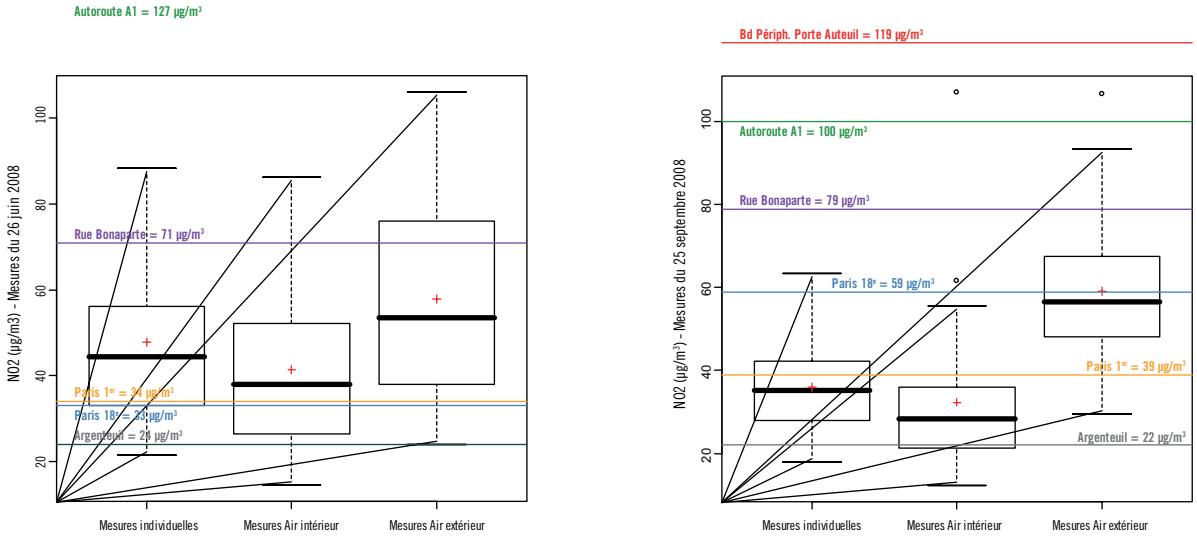
Figure 1 • Boîte à moustache des concentrations en air extérieur, avec en référence les niveaux mesurés aux stations Airparif.



(a) • 26 juin 2008, 40 volontaires

(b) • 25 septembre 2008, 41 volontaires

Figure 2 • Boîte à moustache des concentrations en air intérieur.



(a) • 26 juin 2008, 41 volontaires

(b) • 25 septembre 2008, 41 volontaires

Figure 3 • Boîte à moustache des concentrations d'exposition individuelle.

✦ Mesures en air extérieur et positionnement vis-à-vis des résultats des stations permanentes

Les mesures en extérieur les plus faibles correspondent à la concentration enregistrée à la station permanente d'Argenteuil (95), en situation de fond, de l'ordre de 20 µg/m³ lors des deux journées de mesure. Elles sont toutes inférieures aux teneurs enregistrées à la station trafic du boulevard périphérique (supérieure à 120 µg/m³ lors des deux journées). Dans les deux cas, la moitié des candidats ont des niveaux extérieurs intermédiaires entre les relevés de la station urbaine de Paris Les Halles et la station trafic rue Bonaparte, soit 54 µg/m³ le 26 juin et 57 µg/m³ le 25 septembre.

Une analyse selon la localisation des volontaires (Paris, banlieue) montre que la dispersion des résultats est comparable, avec une répartition (minimum, maximum, médiane) voisine.

✦ Mesures en air intérieur

Malgré les nombreux facteurs influençant les concentrations de l'air intérieur (sources, aération…), les niveaux sont cohérents avec les mesures en extérieur et généralement comparables aux niveaux de fond. Les maxima en air intérieur coïncident avec de fortes valeurs en extérieur, mettant en évidence un transfert extérieur/intérieur du NO_2. Les relevés intérieurs diffèrent également en fonction de la localisation de l'habitation (Paris/banlieue), avec des niveaux clairement plus élevés à Paris (en termes de minimum, maximum, moyenne, médiane) et une dispersion qui diffère selon la localisation des mesures. À Paris, la médiane des niveaux intérieurs était de 44 et 40 µg/m³ pour chacune des deux journées, contre respectivement 39 et 28 µg/m³ pour les mesures en petite et grande couronne.

✦ Exposition individuelle

Les mesures d'exposition individuelle mettent en avant des résultats cohérents entre les volontaires. Peu de différences sont observables entre les volontaires habitant à Paris de ceux vivant en banlieue. L'impact des modes de transports est par contre observable sur certains volontaires présentant les niveaux d'exposition les plus élevés.

En moyenne, les résultats d'exposition individuelle sont intermédiaires entre les concentrations en intérieur et celles en extérieur. Toutefois, ponctuellement, pour certains individus, la répartition niveaux intérieurs/extérieurs/individuelle peut être différente à cause d'événements spécifiques.

Statistiquement, des groupes de volontaires peuvent être définis en fonction de leurs résultats en air intérieur, air extérieur et d'exposition individuelle. Ainsi, les personnes habitant à Paris se différencient de ceux de la banlieue. Lors de la 2e journée de mesure, les niveaux intérieurs étaient supérieurs aux niveaux individuels pour les parisiens.

En conclusion, les résultats des mesures montrent que le panel sélectionné relève bien de situations de proximité au trafic, les niveaux rencontrés étant supérieurs au niveau de fond du secteur, que ce soit à Paris, en Petite couronne ou en Grande Couronne. Des différences apparaissent suivant la situation des logements par rapport aux axes routiers et leur situation géographique. Les niveaux rencontrés hors de Paris présentent des différences plus élevées par rapport aux niveaux de fond (ces derniers sont d'autant plus faibles que l'on s'éloigne du cœur de l'agglomération parisienne).

Perception des populations

Des entretiens approfondis ont été conduits auprès d'une douzaine de personnes du groupe qui a participé simultanément aux deux journées de mesure (26 personnes, dont 24 ont effectué l'ensemble du programme de mesures proposé). Ces entretiens offrent un regard détaillé sur la façon dont des individus particulièrement exposés à la pollution sont amenés à se situer, s'organiser et agir face aux contraintes liées non pas seulement à la pollution mais à l'ensemble des nuisances importantes auxquelles ils sont exposés en situation de proximité, lesquels peuvent, dans certains cas, entièrement déqualifier un quartier. En même temps, ils ont amené à constater un décalage très net entre certains des présupposés qui avaient conduit à l'élaboration du projet et ce qu'il était possible d'observer en ce qui concerne la compréhension, les attitudes et les choix des personnes enquêtées, remettant en question certains éléments conceptuels initiaux et les questionnements associés. Cela ne tient pas à un biais lié à la procédure utilisée (recours au volontariat pour réaliser les mesures) mais à une mésestimation de l'appréhension que la population a réellement de la pollution. Ce travail a ainsi permis de confirmer mais aussi d'éclairer, dans des situations présentant de fortes spécificités, ce que différents travaux, y compris nos propres investigations avaient déjà permis d'identifier, à savoir la nature très particulière de la préoccupation en matière de pollution atmosphérique, qui reste fondamentalement mal cernée, et à laquelle la population, malgré de multiples efforts en matière d'information et de communication, reste très peu acculturée au plan scientifique et technique, et dont elle n'a qu'une appréhension très imprécise, non ciblée. Il a permis de mettre le doigt sur l'intrication des facteurs qui motivent les comportements et les attitudes des individus face à la pollution par rapport aux contraintes importantes qui pèsent en contexte urbain, en particulier en matière de logement, de transport ou d'activité professionnelle, limitant les perspectives et surdéterminant très fortement les comportements.

Parmi les éléments les plus saillants, on peut souligner en premier lieu une méconnaissance très large de la

métrologie relative à la pollution, alors que celle-ci a constitué l'un des vecteurs majeurs de l'intervention des pouvoirs publics en la matière, également moteur de professionnalisation dans ce domaine. Le nom des polluants, leurs formules chimiques, les conditions de leurs formations, leurs devenirs et le rôle qu'y joue la météorologie, leurs effets spécifiques sur la santé apparaissent très largement méconnus des personnes interviewées. De même, les valeurs limites, les seuils d'alerte sont ignorés comme, beaucoup plus généralement, tout ce qui a trait à une appréhension quantitative de la pollution. Si Airparif jouit d'une notoriété importante, le fonctionnement technique effectif de l'association n'est guère familier à la plupart des interviewés. Il s'agit là d'un univers techno-scientifique perçu comme spécialisé, entièrement étranger à la plupart des personnes enquêtées, même quand celles-ci disposent de compétences scientifiques ou techniques. Cette méconnaissance se manifeste à travers l'incapacité dans laquelle se trouvent les personnes rencontrées de maîtriser les dimensions métrologiques de l'étude, d'en interpréter les résultats ou d'en identifier les arrière-plans, alors qu'elles ont elles-mêmes réalisé les mesures et adhéraient très largement au projet. Il y a là un point aveugle d'autant plus significatif que les personnes enquêtées ont massivement apprécié la qualité de la démarche qui leur était proposée. Cette désappropriation concernant la mesure s'accompagne parfois d'un certain dénigrement quant à son efficacité (affichage du dépassement des seuils sur les grands axes de circulation, par exemple). Cette désappropriation apparaît constitutive de la vision que les personnes enquêtées ont de la pollution. Elles sont convaincues de l'ampleur des questions que soulève la pollution, de ses risques au plan sanitaire et sont sensibles aux inquiétudes qu'elle véhicule, mais tout se passe comme si sa dimension objectivée à travers la mesure ne faisait pas partie de leur univers, n'était l'objet d'aucune élaboration précise. Cette dimension ne fait l'objet d'aucune explicitation, indication très claire de la difficulté des personnes à aborder la question. La pollution reste, pour les personnes que nous avons rencontrées, une réalité contradictoire, à la fois présente mais aussi lointaine, distante, vague, éprouvée à travers des référents indirects multiples relayés par les médias (presse, télévision), sans appréhension personnelle générale précise et sans outil pour l'interpréter. Elle possède un statut représentationnel très particulier d'objet largement non identifié.

Un second aspect porte sur la notion même de proximité. Cette notion prend des sens, une portée très variables chez les personnes interviewées dont l'attitude apparaît très différente en fonction de paramètres qui n'ont rien de circonstanciel, mais tiennent avant tout à leur parcours de vie et à leur situation dans ce parcours de vie, aux différentes étapes de celui-ci. Une notion importante de ce point de vue est celle du compromis plus ou moins important que les individus sont amenés à mettre en œuvre face une réalité déstabilisante, qui n'est cependant qu'un élément d'un ensemble beaucoup plus vaste. La nature de ce compromis ne relève pas d'une dimension objective mais de la vision qu'un individu développe des composantes de sa propre vie, à l'origine de décisions importantes, en particulier en matière de logement et de parcours résidentiel et professionnel. On mesure la complexité de ces différentes étapes et des choix sous-jacents, en particulier en région parisienne, où de nombreux paramètres économiques et sociaux sont à prendre en considération (offre, prix, image du quartier, accessibilité aux transports, relations résidence travail, proximités d'une multitude de services en matière d'éducation, de santé, de commerces ainsi que familiales et sociales, etc.). De ce point de vue, la pollution ne joue qu'un rôle marginal. La raison d'un changement de vie n'est en général pas directement liée à la pollution ou plus largement à la qualité de l'environnement, quoique le cas puisse se présenter, mais bien plutôt à la maturation d'un projet personnel (cohabitation dans le cadre de la constitution d'un couple, naissance d'enfants, mutation professionnelle, fin d'activité professionnelle, etc.) se traduisant par des décisions importantes au plan individuel ou du groupe familial, qui ne seront pas facilement remises en question, malgré l'évolution des situations et des circonstances.

Par ailleurs, la question de la pollution en proximité au trafic ne peut être considérée comme une problématique spécifique isolée de l'ensemble des autres nuisances qui y sont associées, dont la première, qui joue un rôle majeur, est évidemment le bruit. Celui-ci constitue, en situation de proximité une atteinte insupportable, soulevant pour les interviewés une difficulté fondamentale. La très grande majorité des logements des interviewés et plus largement des personnes ayant participé à l'un ou l'autre journée de mesures était de fait équipée de systèmes d'isolation phoniques (doubles ou triples vitrages, exceptionnellement doubles doubles vitrages) de façon à permettre de se protéger contre une nuisance qui apparaît comme beaucoup plus immédiatement prégnante que la pollution, avec un ressenti très différent. Les deux phénomènes se situent à l'opposé et appellent des réponses de nature fondamentalement différentes : la nuisance sonore constitue une agression brutale et exige une réponse à court terme. La nuisance pollution n'est au contraire pas directement décelable, elle est faible et son effet probable se situe plutôt à long terme. En situation de proximité, la gestion du bruit tend à masquer celle de la pollution, dans la mesure où elle impose des solutions urgentes, avec un double dividende car une intervention à ce niveau a aussi pour fonction d'isoler contre la pénétration des polluants extérieurs. Ceci explique aussi pour une part la difficulté à identifier la pollution en situation de proximité.

Un autre aspect significatif et intéressant est l'absence de référence aux inégalités. Si la pollution ne fait pas l'objet d'une perception massive en situation de proximité et le bruit lié au trafic constitue une agression très fortement ressentie, ce type de situation n'est pas vécu en termes d'inégalité, mais rentre plutôt dans une configuration plus

large de réponse à une situation, d'aménagement, de négociation et de gestion à différents niveaux. De façon générale, la logique qui semble ressortir des entretiens, et de façon plus nette auprès des femmes interviewées, est celle du coping, du faire avec, qui tend à minimiser les désagréments plutôt qu'à les exacerber sauf dans le cas d'un changement important de situations (déménagement, dont la possibilité n'est jamais absente ni exclue). Les entretiens nous ont également permis d'enregistrer auprès d'un certain nombre d'interviewés ou de leurs proches des pathologies, qui ne sont pas sans poser la question d'un suivi sanitaire. Une réponse plus limitée est également celle d'initiative militante dans un cadre associatif.

L'apport majeur de ce travail ne porte donc pas tant sur la proximité en tant que référent stratégique susceptible de servir de support à une restructuration de la question de la qualité de l'air autour d'une approche nouvelle, l'acculturation à cette dimension de la part de la population ne semble pas pour le moment suffisante et son apport très limité face à l'incertitude massive qui marque la pollution atmosphérique. Elle prend un sens très différent du point de vue des institutions responsables et des populations concernées. Au plan institutionnel, mettant en évidence les contraintes auxquelles est soumise une part significative de la population, elle appelle un renouvellement des politiques publiques et une meilleure prise en compte de la charge multiforme que représente l'ensemble des nuisances liées au trafic. Du point de vue des populations, elle offre une entrée privilégiée quant à la confrontation et la gestion par les individus non pas tant de la pollution que du complexe de nuisances qu'elle véhicule et des mécanismes relativement complexes correspondants, qui font apparaître le caractère assez lourd des choix afférents, expliquant pour une bonne part l'attitude de défiance et de repli en matière de qualité de l'air : au niveau individuel, les stratégies collectives consistent plutôt à s'isoler, et dans une certaine mesure, objectivement, à se replier, mais aussi à fuir, qui constitue une forme de repli, plutôt qu'à communiquer, à échanger et à intervenir dans l'espace public face à une réalité qui présente différentes composantes associées invasives à des niveaux divers et pour une part mal cernées. La réalité des comportements face à la pollution est à rechercher ailleurs que dans la pollution, dans le poids des choix faits par les individus face aux contraintes massives imposés par les nuisances de la vie urbaine de façon à tenter de les minimiser au mieux et d'y trouver des compensations aussi substantielles que possible.

Présentation du programme Primequal

CHIFFRES CLEFS DU PROGRAMME PRIMEQUAL

- Plus de 250 actions de recherche soutenues depuis la création du programme pour un montant total d'environ 15 millions d'euros.

- 68 recherches soutenues depuis 2001 dont :
  - ★ neuf projets financés dans le cadre de l'APR « Pollution de proximité » de 2006 (colloque de présentation des résultats en janvier 2011),
  - ★ douze projets sélectionnés dans le cadre de l'APR « Pollution longue distance » de 2009 (en cours),
  - ★ neuf projets sélectionnés dans le cadre de l'APR « Qualité de l'air intérieur » de 2009 (en cours).

Primequal, programme de recherche inter-organismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale, est un programme de recherche lancé en 1995 par le ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

Il 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 intérieur et extérieur afin de réduire les risques pour la santé et l'environnement. Il présente la particularité de réunir plusieurs disciplines scientifiques concernées par la pollution de l'air et ses impacts : sciences physiques (métrologie, chimie, dynamique, météorologie…), sciences de la vie (biologie, médecine, épidémiologie, écologie…), mathématiques (modélisation, statistiques) et sciences sociales (économie, sociologie, psychologie…).

Depuis 1996, PRIMEQUAL s'articule avec le PREDIT, programme interministériel de recherche et d'innovation dans les transports terrestres au niveau du groupe opérationnel 1 « Énergie-Environnement ».

Parmi les différentes actions mises en œuvre dans Primequal, le lancement d'appels à propositions de recherche (APR) permet au MEDDTL et à l'ADEME de susciter et de soutenir des projets de recherche appliquée. Jusqu'en 2001, afin de constituer une communauté de chercheurs autour de la problématique « qualité de l'air », les APR pluridisciplinaires abordaient simultanément l'ensemble des thématiques concernées : processus atmosphériques, exposition aux polluants et ses déterminants, effets de la pollution sur la santé humaine, les écosystèmes et les matériaux, mise en place et évaluation des politiques publiques…). Depuis 2001, le programme Primequal s'est orienté vers des APR ciblés sur des sujets spécifiques :

- « ESCOMPTE » en 2002, campagne de mesures relative à la pollution photochimique sur la région Marseille-Fos-Berre,
- « Aérosols et particules » en 2003,
- « Évaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique » en 2005,
- « Pollution de Proximité » en 2006 (colloque de présentation des résultats en janvier 2011),
- « Qualité de l'air intérieur » en 2009 (en cours),
- « Pollution longue distance » en 2009 (en cours),
- « Contribution à l'évaluation des expérimentations de ZAPA » lancement prévu en 2011.

Gouvernance du programme

Le programme Primequal est doté d'un Comité d'orientation (CO) et d'un Conseil scientifique (CS).
Le Comité d'orientation est composé de représentants des parties prenantes concernées par le programme : ministères, agences et organismes, associations, milieux professionnels. Il exprime les besoins et contribue à la construction de la pertinence stratégique du programme. Le comité d'orientation est une interface entre le monde de la recherche, les gestionnaires, les décideurs politiques et administratifs, et le monde associatif. Il assure également les interfaces et la complémentarité avec d'autres programmes de recherche et veille à la valorisation des activités de Primequal.

Le Conseil scientifique est le garant de l'excellence scientifique du programme. Il est composé de personnes désignées *intuitu personae*, choisies pour leurs compétences scientifiques représentant la palette des disciplines du programme. Il est chargé de la formulation des questions scientifiques en assurant notamment la rédaction des appels à proposition de recherches à partir des demandes et orientations données par le comité d'orientation. Il statue sur la pertinence et la qualité scientifique des propositions de recherche et assure le suivi du déroulement des projets. Il contribue par ailleurs à la valorisation des résultats.

Á la gestion scientifique et technique de Primequal assurée par le MEDDTL et l'ADEME est associée une animation scientifique. Actuellement, cette fonction est assurée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS).

Mise en valeur des connaissances produites dans Primequal

• Les rapports et les synthèses de recherches, les textes des appels à propositions ainsi que les différents documents de valorisation (actes de colloque, plaquettes, etc.) sont mis en ligne sur le site Internet du programme : **http://www.primequal.fr**.

• Sept ouvrages thématiques de synthèse ont été publiés entre 2000 et 2007 dont le dernier « *Évaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique* », disponible sur **http://www.ladocumentationfrancaise.fr**, collection « transport, recherche innovation ».

Comité d'orientation

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement	
	Commissariat général au Développement durable – Direction de la Recherche et de l'Innovation Service de la Recherche – Présidence du CO
	Conseil général de l'Environnement et du Développement durable
	Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
	Direction générale de l'Énergie et du Climat
	Direction générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer
	Direction générale de la Prévention des Risques
ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie – Pilotage conjoint du programme	
ANSES – Agence nationale chargée de la Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail	
CNA – Conseil national de l'Air	
CNRS/INSU – Centre national de la Recherche scientifique/Institut national des Sciences de l'Univers	
CSTB – Centre scientifique et technique du Bâtiment	
Fédération ATMO – Fédération nationale des Associations agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air	
FNE – France Nature Environnement	
InVS – Institut de Veille sanitaire	
Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire Direction générale des Politiques agricoles, agroalimentaires et des Territoires	
Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé – Direction générale de la Santé	
PREDIT – Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres	
UIC – Union des Industries chimiques	

Conseil scientifique

NOMS	ORGANISMES
Séverine KIRCHNER	Présidente du Conseil scientifique PRIMEQUAL Centre scientifique et technique du Bâtiment (CSTB)
Patrice BLONDEAU	Laboratoire d'Étude des Phénomènes de Transfert et d'Instantanéité : Agro-industrie et Bâtiment (LEPTIAB) – Université La Rochelle
Nathalie BONVALLOT	École des Hautes Études en Santé publique (EHESP)
Dave CAMPAGNA	Cellule d'épidémiologie de la RATP
Pierre CELLIER	Institut national de la Recherche agronomique (INRA) – AgroParisTech
Lionel CHARLES	FRACTAL
Patrice CODDEVILLE	École des Mines de Douai
Isabelle COLL	Laboratoire inter-universitaire des Systèmes atmosphériques (LISA) – Université Paris 12/Université Paris 7
Émeri FREJAFON	Institut national de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS)
Evelyne GEHIN	Centre d'Études et de Recherche en Thermique, Environnement et Systèmes (CERTES) – Université Paris 12
Christian GEORGE	Institut de recherche sur la catalyse et l'environnement de Lyon (IRCELyon) – Université Lyon 1
Philippe GLORENNEC	École des Hautes Études en Santé publique (EHESP)
Valérie GROS	Laboratoires des Sciences du climat et de l'environnement (LSCE) - CEA
Walter HECQ	Centre d'Études économiques et sociales de l'environnement (CEESE) – Université libre de Bruxelles
Paolo LAJ	Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'environnement (LGGE) – Université Joseph Fournier Grenoble
Stéphane LE CALVE	Laboratoire de PhysicoChimie de l'atmosphère (LPCA) – Centre de Géochimie de la surface (CGS)
Cécile MALLET	Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS) – Université Paris 6
Isabelle MOMAS	Laboratoire Épidémiologie environnementale : impact sanitaire des pollutions atmosphériques – Faculté des Sciences pharmaceutiques et biologiques – Université Paris V
Yannick MOREL	Centre d'Étude du Bouchet (CEB) – Direction générale de l'Armement (DGA)
Jean-Ulrich MULLOT	Institut de Médecine aérospatiale du service de santé des armées (IMASSA)
Hervé PLAISANCE	École des Mines de Douai
Anne PROBST	Laboratoire d'Écologie fonctionnelle (EcoLab) – Université Paul Sabatier Toulouse III
Olivier RAMALHO	Centre scientifique et technique du Bâtiment (CSTB)
Christian SEIGNEUR	Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement atmosphérique (CEREA) – École des Ponts ParisTech
Chloé VLASSOPOULO	Centre universitaire de Recherches sur l'Action publique et le Politique (CURAPP) – Université de Picardie
Karine WEISS	Laboratoire de psychologie sociale – Université de Provence

Pollution de proximité entre Traceurs et Indicateurs

DATE DE CLÔTURE :
29 septembre 2006

NOMBRE
DE PROJETS SOUMIS : **63**

NOMBRE
DE PROJETS SÉLECTIONNÉS : **9**

Cadrage général

Le programme PRIMEQUAL-PREDIT (Programme de recherche interorganismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale et régionale) a pour objectif de fournir aux pouvoirs publics les bases scientifiques nécessaires à :

- la connaissance de la qualité de l'air, de l'ensemble de ses déterminants et de ses conséquences sanitaires et environnementales et,
- l'élaboration ainsi que la mise en œuvre de stratégies d'amélioration de la qualité de l'air et de réduction de ses impacts.

De manière générale, la construction des politiques s'établit à différentes échelles spatiales : logement, rue, quartier, ville, communauté urbaine, région…, mais également temporelles. La pollution atmosphérique demande alors à être repensée, dans une vision prospective, à travers des échelles spatio-temporelles multiples puisqu'elle témoigne de multiples risques pas toujours indépendants (régions, zones spécifiques…).

Dans le domaine de la qualité de l'air et de la pollution, la question de la pollution de proximité[1] est récurrente. Elle peut être appréhendée sous plusieurs angles et à partir de qualifications différentes : une pollution atmosphérique de proximité s'entend comme une pollution ambiante qui ne résulte pas majoritairement de transferts atmosphériques à longue distance et qui est déterminée par le voisinage de sources d'émissions fixes ou mobiles : elle se caractérise par une composition chimique de l'air, des processus, des dynamiques et des risques sanitaires ou une perception par les sens qui peuvent être significativement différents de ceux liés à l'atmosphère générale, en particulier à l'échelle urbaine ou périurbaine.

La pollution atmosphérique de proximité présente en outre des spécificités dues au fait qu'elle se superpose souvent à d'autres facteurs environnementaux défavorables (bruit, paysage et habitats dégradés, autres sources de nuisances…) par suite de situations de confinement ou d'accumulation d'activités anthropiques dans un espace réduit (typiquement quelques km^2). Ces éléments sont générateurs d'un fort ressenti des problèmes rencontrés et peuvent catalyser une perception plus globale des problèmes d'environnement par les populations.

La proximité, en matière de pollution, a aussi pour sens « la dynamique particulière de relations liées à un concernement partagé », traduisant l'identification et l'appropriation éventuelle dont les conditions demandent à être interrogées, par les populations concernées, de relations mises en évidence par l'investigation de la pollution, en particulier sur le plan sanitaire, transcendant une perspective purement spatiale. Elle pèse d'un poids d'autant plus important que la relation des populations à leur environnement proche soulève de façon aiguë la question des stratégies et de la gouvernance en matière de pollution.

1. Voir Annexe pour une présentation plus large de la proximité.

Ces différentes approches cognitives sont fondamentalement complémentaires. La recherche de connaissances destinées à éclairer l'action impose de veiller à maintenir la pluralité des appréhensions.

• Des connaissances scientifiques quantitatives avec une maîtrise des incertitudes sur les dynamiques de proximité sont nécessaires pour estimer les risques et les impacts à travers l'identification de traceurs et indicateurs.

• La question de l'utilisation de ces outils à travers la gouvernance liée à la décision et à l'action pour une meilleure intervention ou prévention face à ce type de situation. Le présent appel à propositions de recherche s'inscrit dans cette perspective d'approches complémentaires. Il est pluri et interdisciplinaire et l'on privilégiera les projets de recherche construits en ce sens.

Champs de l'appel à propositions de recherche

Les domaines de recherche relatifs à la pollution de proximité pourront être envisagés séparément ou combinés au sein d'un même projet. Il s'agit :

• d'identifier, dans un contexte d'incertitude, l'origine de la pollution de proximité, en précisant quelles en sont **les parts attribuables.** En particulier, il est souhaitable de déterminer les meilleurs **traceurs** de cette pollution au sens d'un ou plusieurs éléments permettant de suivre sans ambiguïté une pollution spécifique. Cette part attribuable ne s'entend pas exclusivement au sens environnemental. Elle est aussi nécessaire dans le domaine de la santé publique afin de comprendre l'importance d'un facteur de risque environnemental dans la survenue des pathologies. À l'inverse, dans une logique prospective, des **scénarii** portant sur la diminution des sources et les effets prévus sont attendus.

• de caractériser, analyser et communiquer sur ces pollutions, leur évolution et leurs effets en construisant **des indicateurs** véritablement représentatifs de cette pollution, respectant les points de vue des différentes disciplines, permettant un véritable dialogue et également une communication extérieure. Ces indicateurs doivent être également **utilisables sur le long terme** et prendre en compte l'évolution des éléments de la pollution (amélioration de la qualité de l'air, disparition de polluants et apparition de nouveaux contaminants, etc.).

Les impacts sur la santé humaine, les écosystèmes et le bâti seront pris en compte, y compris dans leurs implications économiques. C'est de l'appréhension croisée de ces domaines que devraient émerger les éclairages les plus pertinents sur les orientations et les évolutions qu'il est souhaitable d'envisager face à ces questions.

Thèmes spécifiques de l'APR

Partie 1 • Traceurs et parts attribuables

La qualité de l'air est l'objet d'un encadrement législatif imposant notamment de respecter ou de tendre vers des niveaux de polluants spécifiés, de surveiller les rejets et les milieux, et, d'informer le public. En cas de non-respect des niveaux de polluants définis par la réglementation dans l'air ambiant, des stratégies permanentes de réductions des émissions polluantes doivent être définies et, dans le cas particulier des pointes de pollution, des procédures temporaires d'information de la population et/ou de réduction des rejets de polluants sont mises en œuvre. Or des travaux menés par les AASQA (Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air) ont montré qu'en situation de proximité ces contraintes peuvent ne pas être respectées et que des populations sont exposées à des niveaux supérieurs aux objectifs de qualité sans que l'on en connaisse véritablement les effets et les implications sanitaires, et ce davantage si l'on élargit le spectre des pathologies à tout ce qui touche au ressenti, au bien-être. Le présent appel à propositions de recherche vise à appréhender l'ensemble des disparités que recouvre la diversité des expositions à la pollution.

Il s'agit ici de favoriser des travaux de recherche permettant **l'attribution** (localisation et quantification) **des différentes sources contribuant à la pollution de l'air** pour un environnement donné situé à proximité d'émetteurs. Il peut également s'agir, dans une démarche prospective à l'aide de scénarii pertinents, de **simuler la disparition ou la diminution de différentes sources.**

✦ Axes de recherches sollicitées

Les caractérisations des parts attribuables des sources impliquées peuvent avoir plusieurs orientations :

• La caractérisation d'un ou plusieurs traceurs pour une ou plusieurs sources identifiées et la quantification éventuelle de leur influence en un lieu donné dans l'exposition des populations. Ces recherches consisteront à identifier un ou plusieurs composés mesurables dans l'air ambiant et dont la spécificité vis-à-vis d'une source sera la plus élevée possible. À défaut de la quantification de la part attribuable, cette identification permettra de noter l'influence potentielle d'une source en un lieu donné.

• La caractérisation de la part attribuable d'une source ou d'un polluant à l'exposition. Ces recherches développeront les méthodes (modélisation inverse, approches statistiques, etc.) qui permettent d'identifier le rôle et/ou la part respective des différentes sources dans l'exposition.

• La caractérisation des parts attribuables d'une pathologie à une source de pollution atmosphérique donnée. Ces recherches encouragent à établir un lien quantitatif entre les expositions et les effets sanitaires identifiés. La confrontation avec les autres facteurs de risque de cette même pathologie permettra de mieux comprendre l'influence de l'environnement.

• **La construction de scénarii réalistes permettant d'appréhender les conséquences d'une politique ou d'une situation socio-économique** agissant sur les émissions dans le contexte de la proximité. Il conviendra d'expliciter les hypothèses prises en compte.

Les travaux proposés s'appuieront sur une caractérisation des activités/situations constituant une source ou plusieurs sources et fourniront une description des différents polluants intervenant dans la pollution de proximité.

Partie 2 • Indicateurs

Le second volet du présent APR s'intéresse à la **caractérisation de la pollution de proximité dans une perspective d'intervention et d'action** aux différentes échelles, face à des situations qui impliquent des prises en charge et des initiatives spécifiques. Celles-ci seront envisagées en termes d'indicateurs et de gouvernance.

La construction d'indicateurs et les réflexions à ce propos constituent un champ d'investigation très large. Les indicateurs sont des outils finalisés liés à des perspectives d'action et d'amélioration. **L'usage d'indicateurs répond à deux fonctions principales,** d'une part **de communication,** il s'agit d'apporter au public une information précise et fiable, d'autre part **de gestion et de gouvernance,** il s'agit de disposer d'outils d'évaluation des situations et des actions menées de façon à pouvoir suivre mais aussi conduire leur évolution. Il vise à développer la lisibilité des situations de proximité, sans pour autant lever l'incertitude inhérente à leur complexité, à l'hétérogénéité et l'intrication des phénomènes en cause. La notion d'indicateur se situe au cœur de la question de la proximité qui ne peut, de ce point de vue, s'entendre dans une perspective uniquement spatiale mais plutôt comme élaboration collective d'une intelligibilité partagée. Les situations de proximité sont complexes et les indicateurs classiques ne témoignent pas de toute leur spécificité. La difficulté porte essentiellement sur l'extension ou l'agrégation d'informations et donc la constitution d'indicateurs complémentaires capables de fonder une compréhension pertinente de la situation (ex-indicateurs sanitaires venant compléter une information quant au niveau de certains polluants lié à des conditions spatiales ou météorologiques particulières, conditions spécifiques propres aux espaces intérieurs, synergies entre polluants, etc.). Ici les dimensions (éco)toxicologiques et sanitaires sont particulièrement importantes avec l'exigence d'élaborer des évaluations quantifiées pertinentes. Le présent APR envisage la question des indicateurs et de leurs limites dans le cadre de la pollution atmosphérique de proximité. Il s'agit d'étudier et d'élaborer des indicateurs qui contribuent à la caractérisation de situations de proximité et qui prennent en compte les perspectives et les finalités que celle-ci induit (possibilités d'agrégation avec d'autres paramètres, opportunités en termes de remédiation des problèmes identifiés…). Les projets attendus sur cette thématique devront prendre appui sur les nombreux travaux existants dans ce domaine (IFEN, actions COST, indicateurs nationaux, européens ou mondiaux de développement durable, etc.).

✦ Axes de recherches sollicitées

Les indicateurs peuvent être de nature diverse, certains relèvent davantage de la connaissance des polluants et de leurs effets, d'autres s'inscrivent plus directement dans les cadres opérationnels propres à des champs spécifiques en jeu (transports, habitat, en direction des particuliers ou des professionnels, etc.). Parmi les possibilités encouragées, on peut mentionner, de manière non limitative :

- **Indicateurs d'effet et d'impact sur la santé, les écosystèmes ou le bâti**

Une demande importante est celle de critères sanitaires permettant d'évaluer les conséquences sur la santé des populations soumises à des situations de pollution atmosphérique de proximité. La question des personnes particulièrement sensibles ou vulnérables (enfants, personnes âgées) constitue ici un enjeu important, en évitant de donner prise à une stigmatisation des individus. C'est un terrain qui appelle des investigations poussées offrant à l'épidémiologie et à la toxicologie de multiples champs d'études croisées. Par ailleurs la pollution atmosphérique se détermine en fonction de ses conséquences sur l'environnement. L'utilisation de marqueurs ou d'indicateurs pour les écosystèmes, la biosphère et les bâtiments est de ce point de vue tout à fait intéressante. Il conviendra de préciser les méthodes d'évaluation et de normalisation d'indicateurs de ce type, leurs limites, ainsi que leurs utilisations potentielles.

• **Indicateurs psycho-sociologiques**
Il est nécessaire, parallèlement à des investigations sanitaires, de chercher à évaluer le ressenti de populations confrontées à ce type de situations, la conscience qu'elles ont d'être exposées à des déficits spécifiques, l'évaluation qu'elles en font sur le plan de la qualité de vie, les implications tant comportementales que sanitaires que l'on peut y associer et qui viennent s'ajouter aux atteintes potentielles liées aux expositions. Par ailleurs, dans des contextes caractérisés comme difficiles où peuvent se mêler divers déficits sociaux et environnementaux qu'en est-il de l'évaluation des divers facteurs en cause, en particulier en ce qui concerne la pollution, des élaborations subjectives correspondantes et de la capacité que se sentent les acteurs d'y porter remède ? Tout un ensemble de travaux croisant dimensions subjectives, sociales et métrologiques demanderait à être développé en relation à ce type de situations.

• **Indicateurs socio-économiques**
Ces indicateurs devront notamment servir de support à des politiques publiques dans ces domaines. Ces derniers doivent être construits à partir d'une analyse juridique, sociale et politique, en lien avec les problématiques de gouvernance.

• **Pertinence des seuils réglementaires et contextes de proximité**
La question de savoir s'il est possible de construire des indicateurs de référence ayant valeur réglementaire prenant en compte la proximité est à étudier. Les indicateurs de qualité de l'air les plus couramment utilisés permettent en effet de situer un niveau de pollution par rapport à l'indication fournie par des seuils réglementaires conçus notamment comme indicateur d'un risque sanitaire. La question de la proximité pose celle de l'inadéquation de seuils conçus en fonction de situations moyennes et de leur révision ou de leur adaptation.

• **Indicateurs et communication**
Les indicateurs visent à faire le lien entre les dimensions techniques d'observation et de mesure et l'information des publics. Quels sont les problèmes soulevés par la transparence telle qu'elle est promue par la convention d'Aarhus ? Des analyses ou des retours d'expériences sur les dynamiques en la matière seront les bienvenus. Le contexte de la proximité conduit du point de vue de la communication à des contradictions et des difficultés qui pourront faire l'objet de recherches spécifiques.

• **Indicateurs et gouvernance**
Comme indiqué précédemment, les indicateurs sont fondamentalement des outils de gouvernance. La notion de gouvernance se situe à la fois à côté et au-delà des formes traditionnelles de gouvernement, dans un rapport au social beaucoup plus large associant de manière directe les acteurs de la société civile aux orientations, aux décisions et aux mises en œuvre. Des recherches sont attendues sur cette dynamique entre des savoirs divers, plus ou moins bien partagés, et des comportements individuels et collectifs fondés sur les notions de responsabilité et d'intérêts communs articulés à des problématiques d'échelle fondant le questionnement en matière de gouvernance. Elle tire son sens d'associer, voire d'intégrer différentes échelles d'intervention et de prendre en considération avec l'ampleur et le recul suffisant, des situations spécifiques. Les recherches à mener sur ce point pourront être à la fois prospectives et larges en termes de champs techniques et sociaux mais aussi descriptives et analytiques quant aux mises en œuvre actuelles et aux conditions dans lesquelles elles sont réalisées, et également rétrospectives dans la façon dont un certain nombre d'héritages structurels sur les plans administratifs, techniques, territoriaux ou politiques constituent des freins. Elles peuvent constituer l'occasion de réexaminer un certain nombre de réalisations et de voir dans quelle mesure la proximité y a fait l'objet d'appréhension. La complexité des réponses qu'il est envisageable d'apporter à ces questions et les modalités qu'il convient de mettre en œuvre pour pouvoir le faire de façon satisfaisante se situent au cœur de cette thématique de l'APR.

Éligibilité des projets

Les recherches à mettre en place devront être des recherches « finalisées » dont les résultats sont de nature à aider la décision dans le domaine de la qualité de l'air. Dans l'ensemble des recherches, les incertitudes liées aux situations de proximité sont à évaluer. Si la recherche menée exploite des données d'observation (qu'elles soient archivées ou à acquérir), les propositions devront justifier la pertinence des observations et le choix des traceurs Les projets proposés, en particulier ceux sur les indicateurs, devront s'appuyer sur un état de l'art approfondi dans le domaine et proposer une réflexion sur la finalité des outils élaborés. Quelle que soit la recherche proposée, les méthodes prévues devront détailler, d'une part les observations expérimentales à acquérir et, d'autre part, les méthodes d'analyses de données à mettre en œuvre. Les projets ayant fait l'effort de construire une recherche articulant différents aspects de la proximité seront examinés plus favorablement.

✦ Situations environnementales visées

Il n'est pas mis en avant dans cet appel à propositions de recherche de situations pré-identifiées pour lesquelles une réponse est plus particulièrement attendue. On peut cependant préciser les situations suivantes, qui pourront éventuellement faire l'objet d'une typologie plus précise et plus détaillée en termes d'enjeux et de risques :

- des situations impliquant des sources et des expositions dans les **environnements intérieurs** (publics ou privés),
- des publics confrontés à des **multi-expositions** (professionnelles, transport, chauffage des bâtiments, air intérieur) dans des travaux orientés vers

l'identification de populations particulièrement exposées globalement,

- des sites de **proximité urbaine,** caractérisés par un trafic, chauffage des bâtiments, et/ou une activité industrielle intense,
- des sites de **caractère plus rural** et néanmoins soumis à une pollution de proximité importante (infrastructure, agriculture…).

Des travaux sont également envisageables sur des **situations à risques** où la caractérisation des problèmes est suffisamment affirmée pour susciter des réactions structurées que ce soit à l'échelle locale ou de la part d'associations ou d'organisations. Enfin les situations de proximité recouvrent des situations de crise qui mêlent des éléments objectifs et des éléments plus subjectifs de caractère intense. Des méta -analyses pluridisciplinaires de situations paroxysmiques soit dans le temps soit dans l'espace seront les bienvenues. La complexité d'une situation de proximité sollicite les sciences politiques, sciences sociales, urbanisme, transport, habitat, aménagement, échelles régionales, agglomérations, échelle locale… Des projets limités couvrant des sources de pollutions spécifiques et qui permettraient la validation d'approches plus prospectives et innovantes pourront être également soutenus. Mais, compte tenu de la thématique abordée et des multiples entrées possibles, le conseil scientifique envisage, le cas échéant, de réarticuler des projets autour d'un site atelier (soumis à une large variété de pollutions).

✦ Polluants visés

Les types de polluants visés couvrent l'ensemble de la pollution gazeuse (NO_2, ozone, COV…), particulaire (PM2,5 et PM10, concentrations en nombre, distribution de taille, composition chimique, micro et nanoparticules), chimique (pesticides, dioxines, etc.) et microbiologique (bactéries, moisissures, virus, allergènes). Les nuisances olfactives seront également prises en considération en tant que telles ou en tant que traceur d'autres pollutions. La pollution sonore ne pourra être prise en compte qu'en tant que facteur secondaire et non pas étudiée en tant que telle.

Annexe

La proximité connaît un renouveau depuis une quinzaine d'années, notamment à travers la notion de réseaux. Elle a été le prétexte à la constitution d'un cadre juridique (avec par exemple, la loi sur la démocratie de proximité, votée en 2002), tout comme elle a suscité des notions désormais largement diffusées : police de proximité ou justice de proximité.

Dans le domaine de la qualité de l'air et de la pollution, objet d'un système de surveillance aujourd'hui généralisé pour l'air extérieur, elle prend la figure particulière de situations dont les caractéristiques spatio-temporelles sont causes de concentrations importantes de polluants spécifiques ou de cocktails de polluants identifiés directement par leurs niveaux élevés (populations en proximité de trafic soumises à des taux nettement supérieurs aux niveaux de fond), ou indirectement, en particulier à travers des préoccupations toxicologiques ou sanitaires (agriculteurs et cancers du cerveau considérés comme attribuables à l'usage des pesticides par exemple, etc.). La caractérisation de telles situations est plus délicate qu'il n'y paraît, en particulier en ce qui concerne l'exposition des populations. C'est à cette échelle que se pose avec le plus d'acuité la relation entre des connaissances de plus en plus pointues et partagées et les possibilités d'action dans un contexte général d'incertitude.

Si certaines situations peuvent faire l'objet d'interventions qui mettent un terme aux expositions (arrêt d'une installation polluante, un incinérateur par exemple), d'autres apparaissent au contraire comme durables, sans possibilité d'intervention simple ou rapide (populations en proximité d'une rocade autoroutière, par exemple, ou en zone industrielle). Dans une telle perspective, le cumul sur le long terme d'expositions significatives, l'impact sur des populations à risques (enfants, personnes âgées) pose évidemment question. De telles situations soulèvent de délicats problèmes, entre autres des limites mêmes de la notion de surveillance ou de l'identification des sources sans capacité de réponse efficace, génératrice alors d'inégalités sanitaires et écologiques susceptibles de recouper et de se composer avec d'autres inégalités de revenus ou d'habitat, vecteurs de stigmatisation. Ces situations sont également très diverses dans la mesure en particulier où les préoccupations correspondantes concernent très largement l'air intérieur et donc les modes de vie (tabagisme passif, par exemple). Elles posent de façon accrue la question de l'implication des acteurs et des responsables, de la responsabilité individuelle et collective, de stratégies d'intervention appropriées et, sur un plan plus général, de gouvernance en matière de pollution atmosphérique. Le développement même des outils de caractérisation et la diffusion d'indicateurs, la multiplication des travaux de recherche contribuent à modifier la vision de la proximité en favorisant des mises en relation qui prennent ainsi, au moins sous certains angles, le caractère d'une dynamique spécifique et nouvelle.

Programme de Recherche Interorganisme pour une Meilleure Qualité de l'Air à l'Echelle Locale

Primequal Predit

Colloque

La qualité de l'air dans nos environnements de proximité

Programme du colloque de présentation des résultats

Lyon : 26 et 27 janvier 2011

PROGRAMME

Mercredi 26 janvier

9h00 - 10h00 • Accueil

★

10h00 - 10h30 • Discours d'ouverture

Claire HUBERT, *chef du service de la Recherche, direction de la Recherche et de l'Innovation, Commissariat général au Développement durable – MEDDTL*

Daniel CLÉMENT, *directeur scientifique adjoint de l'ADEME, direction exécutive Stratégie, Recherche, International (DESRI)*

Alain BONMARTIN, *vice-président de l'université Lyon 1*

★

10h30 - 11h10 • Contexte et enjeux

★

11h10 - 11h30 • Apports des recherches Primequal

Séverine KIRCHNER, *présidente du Conseil Scientifique (CS) PRIMEQUAL*

★

11h30 - 13h00 • Session 1 • Les traceurs de la pollution de proximité

PRÉSENTATION DE LA THÉMATIQUE ET ANIMATION

Patrice CODDEVILLE, *membre du CS Primequal*

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE RECHERCHE

• Fraction organique de l'aérosol urbain : méthodologie d'estimation des sources
Jean-Luc JAFFREZO, *LGGE*

• Étude de la composition isotopique moléculaire comme traceur de sources qualitatif et quantitatif des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) particulaires dans l'atmosphère
Hélène BUDZINSKI, *ISM/LPTC,Université de Bordeaux*

LE POINT DE VUE DE

Frédéric BOUVIER, *directeur du groupement d'intérêt économique ATMO Rhône-Alpes*

Échanges avec la salle après chaque présentation

★

13h00 - 14h30 • Déjeuner

★

14h30 - 16h30 • Session 2 • Exposition de la population à la pollution de proximité

PRÉSENTATION DE LA THÉMATIQUE ET ANIMATION

Dave CAMPAGNA, *membre du CS Primequal*

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE RECHERCHE

• Détermination de la contamination de l'air intérieur des habitats par les trihalométhanes, en vue d'une évaluation de l'exposition à ces substances par inhalation
Michel CLÉMENT, *LERES/EHESP*

• Exposition des femmes enceintes à la pollution d'origine automobile dans l'étude Incitra
Mireille CHIRON, *INRETS/InVS/Lyon 1*

• Évaluation de l'exposition des citadins aux polluants atmosphériques au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne. Nouvelle évaluation dix ans après
Claudine DELAUNAY, *LCPP*

LE POINT DE VUE DE

Sylvia MEDINA, *médecin épidémiologiste à l'InVS*

Échanges avec la salle après chaque présentation

★

16h30 - 17h00 • **Session poster et pause**

17h30 - 19h15 • Visite guidée de Lyon

20h00 • Dîner au Grand Hôtel Château Perrache

Jeudi 27 janvier

8 h 30 - 11 h 30 • Session 3 • Gestion des pollutions de proximité

PRÉSENTATION DE LA THÉMATIQUE ET ANIMATION

Émeric FREJAFON, *membre du CS Primequal*

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DE RECHERCHE

Photochimie du bâti, : sources et puits de polluants oxydants : **Christian GEORGE**, *IRCELYON/CNRS/Université de Lyon 1*

Pollutions de proximité, transport et agriculture : **Benjamin LOUBET** et **Christine AUBRY**, *INRA*

Rôle de l'information sur la présence des pollens dans la prévention de la pollinose : **Claire SÉGALA**, *SEPIA-Santé*

Approche psycho-sociologique de la quantification de la pollution de proximité au trafic et de ses implications dans l'agglomération parisienne : **Lionel CHARLES**, *FRACTAL*

Échanges avec la salle après chaque présentation

★

11 h 30 - 12 h 30 • Table ronde

Animée par **Marie-Odile MONCHICOURT**, *journaliste à France Inter*
Échanges avec différents acteurs de la qualité de l'air sur l'utilisation des résultats des recherches et sur les besoins d'amélioration pour demain.

★

Clôture du colloque

★

12 h 50 - 14 h 20 • Déjeuner

★

14 h 20 - 16 h 00 • Visite guidée de laboratoires de recherche (IRCELyon, LASIM, ISA à la Doua)

Retour centre de Lyon par transport en commun

★

Responsables du programme

Céline LACOUR – MEDDTL – Commissariat Général au Développement durable/ Direction de la Recherche et de l'Innovation/Service de la Recherche – Tour Voltaire – 92 055 La Défense CEDEX
Tél. : 01 40 81 33 30 – Mél : celine.lacour@developpement-durable.gouv.fr

Nathalie POISSON – ADEME – Direction Villes et Territoires durables/Service Évaluation de la Qualité de l'Air
27 rue Louis-Vicat – 75 015 Paris
Tél. : 01 47 65 20 42 – Mél : nathalie.poisson@ademe.fr

★

Animation scientifique du programme
Jean POULLEAU – INERIS – Parc technologique ALATA BP n° 2 60 550 Verneuil-en-Halatte
Tél. : 03 44 55 65 35 – Mél : jean.poulleau@ineris.fr

Commissariat Général au Développement Durable

Direction de la Recherche et de l'innovation

Service de la Recherche

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports, et du Logement

ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Direction Exécutive des Programmes

Direction Villes et Territoires Durables

Service Évaluation de la Qualité de l'Air

Lyon 1

IRCELYON

Pour plus d'informations : www.primequal.fr

Animation scientifique du programme

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable