
Des projets de recherche dans le domaine de la qualité de l'air qui intègrent les échelles et les disciplines

Isabelle Roussel

 <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/4579>

DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.4579

Référence électronique

Isabelle Roussel, « Des projets de recherche dans le domaine de la qualité de l'air qui intègrent les échelles et les disciplines », *Pollution atmosphérique* [En ligne], 223 | 2014, mis en ligne le 11 mars 2015, consulté le 25 février 2026. URL : <https://www.peren-revues.fr/pollutionatmospherique/4579>

Droits d'auteur

CC-BY

Des projets de recherche dans le domaine de la qualité de l'air qui intègrent les échelles et les disciplines

Isabelle Roussel

TEXTE

- 1 Sébastien Payan, professeur à l'UPMC et chercheur au « Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales », a accepté de nous faire part des projets mis en œuvre dans son laboratoire et ayant pour objectif une meilleure connaissance de la pollution urbaine.
- 2 Les mesures destinées à mieux connaître la pollution parisienne existent, pour le moment, à deux échelles distinctes : celle du réseau Airparif qui renseigne sur les niveaux de pollution mesurés au niveau du sol, et celle de l'observation satellitale qui permet d'avoir des mesures en continu mais avec une maille de l'ordre de la centaine de kilomètres carrés.
- 3 Or l'enjeu actuel de l'étude de la pollution atmosphérique consiste à renseigner l'exposome. En effet, le maillon faible des études sanitaires réside dans la connaissance précise de l'exposition des individus que les mesures du réseau d'analyseurs fixes ne renseignent que très partiellement puisque les Parisiens ne restent pas dans un lieu fixe et que leur exposition à l'intérieur des locaux peut différer fortement de celle qui est mesurée à l'extérieur. Pour cela, il convient de mieux comprendre la formation des particules et la répartition spatiale de l'ozone à une échelle fine, celle de la rue dans ses trois dimensions. En effet, ces deux polluants ont une incidence sanitaire forte sur les Parisiens, qu'ils soient au niveau du sol ou dans les étages. D'où la nécessité, pour mieux cerner la valeur de cette exposition, d'avoir une idée de son évolution dans le temps, puisque les conséquences sanitaires ne s'évaluent pas uniquement à travers une mesure ponctuelle. Pendant une journée, les Parisiens sont soumis à des niveaux de pollution qui varient en fonction de la mobilité des personnes et de la variabilité de la dynamique atmosphérique.



Figure 1. Le zeppelin utilisé pour l'expérimentation

Ce projet consiste à introduire un niveau de mesure supplémentaire, en altitude, au-dessus de Paris et à coupler ces mesures avec des indicateurs de pollution au sol, disposés selon un maillage beaucoup plus dense que celui du réseau d'analyseurs fixes géré par Airparif. Ce projet s'appuie sur une métrologie renouvelée qui serait couplée avec le modèle Chimère, utilisé avec une maille de 1 km et avec une maille plus fine qui serait calée sur le V^e arrondissement de Paris.

Ces mesures supplémentaires seraient effectuées à travers plusieurs campagnes déployant à la fois des mesures en altitude et au sol.

Les mesures en altitude : les analyseurs PM et ozone seraient embarqués à bord d'un dirigeable qui pourrait sillonner Paris à plusieurs reprises et à plusieurs altitudes.

- 4 Pourquoi un dirigeable ? Parce que c'est le seul engin autorisé à voler au-dessus de Paris sans perturber le système atmosphérique, comme le fait un hélicoptère. Ce zeppelin, basé en Allemagne, à Friedrichshafen (https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cad=rja&uact=8&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.carnetdevol.org%2Fzeppelin%2FFriedrichshafen.html&ei=GRdqVO3jKcvLPYz4gcAG&usg=AFQjCNEbii_7i2kwySU_y5wHTDqo8vGZ-w&sig2=hHcVbgBkC6YA15HEZc2Dgg&bvm=bv.79142246,d.ZWU), mesure 75 m de long, il est très résistant et assure la sécurité des appareils et des chercheurs. Il ne peut pas voler très bas (150 m minimum). Ce même zeppelin avait été utilisé à Paris pour faire des mesures de radioactivité qui avaient coïncidé, par hasard, avec le tsunami de Fukushima. C'est la préfecture de police qui valide les plans de vol, alors que la DGAC n'a aucun souci puisque Paris n'est pas survolé. La préfecture de police veille à l'absence de nuisances pour les Parisiens ; c'est ainsi qu'elle interdit de descendre au-dessus du jardin des Plantes pour ne pas effrayer les animaux.
- 5 Le zeppelin, gonflé à l'hélium, est activé par deux moteurs latéraux qui fonctionnent à l'essence.
- 6 Un vol expérimental a eu lieu le 18 juillet dernier pour tester la fiabilité des mesures et des appareils. Malheureusement, le compteur de particules n'a pas fonctionné, mais seule la caractérisation des particules en taille et en nombre était prévue. En revanche, cette expérience a montré, au cours des quatre ascensions verticales effectuées à différents endroits, une grande variabilité de la concentration d'ozone au cours du vol qui s'est déroulé, fort heureusement, un jour où l'atmosphère était très chargée en ozone ; ce résultat, même partiel, encourage à poursuivre l'expérimentation et à mieux connaître l'influence de la hauteur de la couche limite en fonction de ses variations renseignées par des lidars installés au sol.
- 7 **Les mesures au sol** seraient effectuées à l'aide d'analyseurs et d'une sonde hygrothermique, contenus dans un boîtier, en cours d'élaboration par une start-up associée à l'incubateur AGORANOV auquel est associée l'UPMC, qui, de la taille d'un téléphone mobile, pourraient mesurer les PM, le dioxyde d'azote et l'ozone. L'idéal serait que cet instrument puisse coûter moins de 100 € pour pouvoir multiplier les mesures dans le temps et dans l'espace.

- 8 Dans le cadre d'une chaire industrielle de LUPMC, financée par PSA et Renault, en collaboration avec des équipes de l'INSERM et de l'hôpital Saint-Antoine, qui ont l'habitude de gérer des cohortes, une école parisienne servirait de test, et les élèves pourraient être équipés dès septembre 2015 ; puis ces mesures pourraient être généralisées à d'autres écoles avec des caractéristiques en termes d'expositions différentes.
- 9 Les instruments, pour être accessibles financièrement, ne seront pas très précis mais ils pourront situer le niveau de pollution sur une échelle allant de 1 à 5, tout en donnant des indications sur la température et l'humidité. Ces données pourront être confrontées aux simulations données par le modèle pour le lieu précis auquel se situe la sentinelle. Les mesures de température et d'humidité pourront permettre, grâce à un algorithme en cours d'élaboration, de corriger les données du modèle pour donner une réponse individuelle plus précise. En effet, on sait, à partir des mesures déjà effectuées, qu'elles varient fortement en fonction des conditions atmosphériques ; donc il serait possible de corriger, *a posteriori*, la rigidité des indications fournies par les instruments en fonction de données d'humidité et de température.
- 10 Parallèlement à ces campagnes, très organisées, on peut imaginer de mettre ces capteurs sur le marché et de créer ainsi un observatoire participatif. Chaque personne intéressée et équipée de ce boîtier pourrait ainsi, grâce au Wi-Fi, connaître exactement le niveau de pollution auquel elle est soumise en couplant les mesures données par son instrument avec celles du modèle, corrigées en fonction des paramètres météorologiques.
- 11 Bien sûr, la multitude des données enregistrées au sol, en altitude et sur les satellites permettra aux chercheurs de les croiser et d'en tirer des indications quant à la variation des niveaux de polluants en fonction des émissions et des facteurs de dispersion agissant au sol comme en altitude. Ceci illustre les possibilités offertes par la gestion de grandes bases de données permettant de coupler les renseignements et d'établir des relations.
- 12 **Les bénéfices escomptés à l'issue de ce type de recherches sont nombreux**

- 13 **Cette expérience ouvre la voie à des développements métrologiques** qui suscitent un investissement industriel. Une start-up d'Agoranov est en train de développer les boîtiers. La taille du zeppelin permet d'embarquer de nombreux appareils, ce qui facilitera des intercomparaisons et des intercalibrations permettant ensuite de sélectionner les appareils les plus performants.
- 14 Si, pour l'instant, la focale est mise sur les PM et l'ozone, des développements sont prévus avec la mesure des oxydes d'azote. Il est impossible de ne pas prendre en compte la mesure du NO₂ en ville, d'une part, parce qu'il présente une certaine toxicité et, d'autre part, il est un précurseur de l'ozone. Sans NO₂, il n'y a pas d'ozone. En outre, le dioxyde d'azote peut être considéré comme un indicateur d'une pollution secondaire, particulière et complexe.
- 15 Il serait également possible d'embarquer des instruments pour faire des thermographies. La marge de poids étant large, tout l'intérêt réside dans la rentabilité des heures de vol qui sont onéreuses.
- 16 Ce projet introduit un retour vers la mesure et l'observation, parfois négligées au profit de la modélisation. Par exemple, au sein de l'IPSL, la proportion des modélisateurs a progressivement augmenté par rapport au nombre de spécialistes de la mesure, ce qui correspond à une perte de savoir-faire des chercheurs qui sont partis en retraite.
- 17 Une meilleure connaissance de l'exposition individuelle peut permettre d'affiner l'évaluation du risque sanitaire, encore mal renseigné à une échelle fine, mais elle peut aussi permettre de mieux connaître les mécanismes de transfert entre les polluants de l'air extérieur et ceux de l'air intérieur. On connaît les émissions de formaldéhyde à l'intérieur des maisons, mais les particules issues des activités domestiques sont mal connues ; or les émissions en nature et en quantité varient en fonction de la manière dont les occupants habitent leur logement. Les pratiques de ventilation ou d'aération sont extrêmement variables et influencent le niveau de pollution. On sait également qu'à l'intérieur des locaux se forment des aérosols secondaires, puisque les niveaux d'ozone diminuent dans les maisons par transformation ou par dépôt.
- 18 Cette expérience, financée au sein de l'UPMC par la chaire industrielle « Mobilité et qualité de vie en ville » est soutenue par Renault

et Peugeot qui espèrent susciter des recherches pluridisciplinaires sur la ville.

- 19 **Ces recherches, centrées sur la mobilité urbaine, sont essentiellement pluridisciplinaires**, elles mobilisent des chercheurs venant d'horizons variés mais tous convaincus de l'utilité de mettre en œuvre des investigations sur la ville dont dépend la qualité de vie de 75 % des Français. La ville est vue de manière différente selon les disciplines mais, en prenant le temps d'échanger et de se connaître, il est facile de trouver des points d'intérêts communs en dépit des différences de vocabulaire. Par exemple, l'utilisation des satellites et de l'imagerie représente un point de convergence intéressant, à condition de surmonter quelques différences dans la définition des termes. C'est ainsi qu'il faut admettre que la température indiquée par le satellite est une température de brillance qui n'est pas celle qui est lue sur un thermomètre installé au sol.
- 20 Toutes les disciplines environnementales ont pour finalité la qualité de la vie humaine et donc la connaissance non seulement des déterminants de santé mais des éléments de perception dans la mesure où la qualité de vie est une donnée essentiellement subjective. D'ailleurs, au sein de ces recherches, la connaissance de la qualité de l'air est associée à celle du bruit, non pas tant à travers des mesures et des décibels qu'en recherchant à évaluer le bruit perçu, la nuisance et la gêne. Ce qui, d'ailleurs, représente une différence avec la pollution qui, autrefois, était visible à travers les panaches des usines et les odeurs, et perçue de manière à alimenter des plaintes. Or, à l'heure actuelle, la pollution invisible est connue par les normes et les mesures qui, peut-être, ont fait trop rapidement disparaître la perception de la pollution associée à des symptômes et pathologies gênants (toux, crises d'asthme).
- 21 **La pluridisciplinarité pourrait encore être étendue** dans ce projet susceptible d'associer des mesures de gaz à effet de serre et des spécialistes du climat et des biologistes. L'étude des pollens, de leur date d'apparition, de leur concentration et de leur mode de transport en ville, compléterait avantageusement les études sur la pollution, car on connaît de mieux en mieux les interactions entre les pollens et les polluants. Les effets de la végétation en ville seraient un thème d'étude tout à fait intéressant, qui ne peut être abordé qu'à une

échelle fine. Peut-on valider le bénéfice de la végétalisation des balcons qui serait un puits de pollution avec des avantages supérieurs aux inconvénients induits par l'humidité ? Les îlots de fraîcheur entretenus par les végétaux contribuent à atténuer l'îlot de chaleur urbain, mais ces mêmes végétaux peuvent aussi avoir des effets néfastes car ils peuvent émettre des COV et des pollens allergisants.

- 22 On pourrait aussi faire des études sur les insectes, leur comportement et leurs déplacements.
- 23 **Tout un volet d'ingénierie sociale pourrait encore être développé** puisque les investigations sur la perception et la multiplicité des capteurs permettent d'impliquer davantage les citoyens. De même, les mesures effectuées dans les classes permettent aux chercheurs de développer des études, à condition d'avoir des protocoles bien maîtrisés pour renseigner les lieux traversés et les activités déployées au moment des mesures. Mais ces recherches sont aussi de remarquables outils de sensibilisation en impliquant l'ensemble des parties prenantes concernées par la qualité de l'air dans les écoles. En effet, pour que les résultats des études se traduisent par une amélioration des conditions de vie, il faut que les parents, les enseignants et les gestionnaires des locaux soient avertis et décidés à procéder aux aménagements nécessaires, en agissant aussi bien sur le cadre de vie que sur les comportements. De la même manière, un laboratoire participatif demande un minimum de conseils et d'éclairages pour pouvoir passer des mesures à l'action. La chaire UPMC développe aussi un volet éducation et communication qui aura à jouer un rôle important pour que l'ensemble du dispositif puisse porter ses fruits. À l'image du rôle joué par l'APPA dans de nombreuses études, tout un travail d'accompagnement et de pédagogie reste à développer. L'ingénierie sociale doit savoir prendre le relais de l'ingénierie technique à travers la formation d'un certain nombre de personnes qui pourront ensuite se constituer en relais d'information et tisser un véritable réseau associant les différents acteurs du projet.
- 24 **Le laboratoire est aussi impliqué dans de nombreux autres projets** : le développement de nouvelles technologies comme l'imagerie hyperspectrale avec une caméra qui doit permettre de cartographier et quantifier les émissions diffuses. D'autres instruments, embarqués dans un ballon stratosphérique, pourraient

mesurer les effets des décharges électriques qui pourraient avoir un fort impact sur la chimie stratosphérique.

- 25 De nouveaux analyseurs embarqués dans les satellites permettent d'effectuer des mesures de méthane et de CO₂ au sein de projets comme IASI-NG, MicroCarb ou Merlin.
- 26 Des développements sur la caractérisation des particules s'imposent également à l'aide de capteurs qui pourraient être installés sur des échelles de pompier ou des grues pour mieux caractériser leur distribution verticale. Un mas pourrait être dédié à ce type de mesures à Ivry-sur-Seine, sur le campus urbain AquaFutura.
- 27 **Un peu de prospective sur un plus long terme**
- 28 Les progrès futurs vont avoir pour objectif de croiser les échelles et les différentes mesures effectuées dans des domaines différents : santé, psychologie, physique de l'atmosphère, chimie, biologie, toxicologie, etc. C'est en couplant les mesures effectuées à différentes altitudes depuis le satellite jusqu'au sol qu'on pourra améliorer la prévision en gagnant une journée, voire plus... Les avancées proviendront également d'une meilleure synergie entre la recherche et l'opérationnel, entre l'expertise et la décision politique, comme c'est déjà le cas sur les questions climatiques.

AUTEUR

Isabelle Roussel