



**LE VIRUS
DE LA RECHERCHE**

**TRANSITION
ENVIRONNEMENTALE**

VALÉRIE GROS & KARINE ZEITOUNI

**COMMENT MESURER L'EXPOSITION
INDIVIDUELLE AUX POLLUANTS
ATMOSPHÉRIQUES ?
PREMIER RETOUR SUR LE PROJET
POLLUSCOPE**

PUG

La série « **Transition environnementale** »
fait partie de la collection « **LE VIRUS DE LA RECHERCHE** »

Directrice de la série: Magali Talandier
Directeur de la collection: Alain Faure
Directrice de la publication: Sylvie Bigot
Mise en page: Catherine Revil

Réalisé en collaboration avec le conseil scientifique « Capitale verte et Transition »
présidé par Magali Talandier, dans le cadre de Grenoble Capitale Verte
Européenne 2022 – Plan Climat Air Énergie – Grenoble Alpes Métropole.

Publié avec le soutien de la Banque des Territoires.

ISBN 978-2-7061-5345-7 (*e-book PDF*)

ISBN 978-2-7061-5346-4 (*e-book ePub*)



TRANSITION ENVIRONNEMENTALE

UNE SÉRIE DE LA COLLECTION « VIRUS DE LA RECHERCHE »

Face à l'urgence climatique et aux défis environnementaux, les scientifiques se mobilisent !

Placée sous l'égide du conseil scientifique « Capitale verte et transition », cette nouvelle série d'e-books propose des articles inédits signés par des chercheurs de tous horizons : sciences, sciences de la terre, sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales.

En lien avec les missions du conseil scientifique – qui rassemble près de 40 chercheurs de toutes les disciplines – ces textes courts visent à faire circuler les connaissances sur la question des transitions environnementales et de leurs impacts.

Tout au long de l'année 2022, les publications de la série viendront ponctuer la réflexion menée dans le cadre de la labellisation « Capitale verte européenne » attribuée par la Commission européenne au territoire grenoblois. Chaque mois, une nouvelle thématique sera traitée – le climat, l'air, l'énergie, les mobilités, l'alimentation, les villes, etc.

Les scientifiques sont des gens passionnés. Leurs textes dévoilent leur savoir et nous éclairent sur les controverses qui nourrissent ces sujets, exposant les ressorts sensibles du métier de chercheur – ses tâtonnements, ses doutes, ses énigmes mais aussi ses espoirs.

Bonne lecture à tous !

COMMENT MESURER L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AUX POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ?

PREMIER RETOUR SUR LE PROJET POLLUSCOPE

VALÉRIE GROS, CHIMISTE DE L'ATMOSPHÈRE (CNRS)

KARINE ZEITOUNI, INFORMATICIENNE EN SCIENCES DES DONNÉES (UVSQ, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY)

L'organisation mondiale de la santé (OMS) estime que l'exposition à la pollution atmosphérique conduit à environ 7 millions de décès prématurés chaque année dans le monde. En septembre 2021, l'OMS a revu à la baisse les seuils recommandés d'exposition aux polluants : on dispose en effet aujourd'hui de suffisamment de données qui montrent que l'effet néfaste pour la santé des polluants se produit à des concentrations bien moindres que celles initialement estimées.

C'est ainsi que le seuil annuel du NO_2 (dioxyde d'azote), gaz principalement issu du trafic automobile, a été diminué d'un facteur 4 (de $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) et qu'une nouvelle recommandation sur 24 heures a été établie ($25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Les valeurs seuils des niveaux de particules ont également été réduites de $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en valeur annuelle, et de $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à $15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne sur 24 heures pour les $\text{PM}_{2.5}$ (particules de diamètre inférieur à $2.5 \mu\text{m}$).

Avec ces nouvelles recommandations, on constate que près de 95 % des Franciliens ont été exposés à un dépassement de la valeur seuil NO_2 en 2020 et 100 % à la nouvelle valeur seuil $\text{PM}_{2.5}$ (Airparif, 2021).

Mesurer la qualité de l'air

Afin d'être en mesure de proposer des solutions pour diminuer cette exposition, il est essentiel de pouvoir l'estimer de la manière la plus juste possible.

Grâce à un réseau dense de stations de surveillance de la qualité de l'air et à des outils de modélisation associés, les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) fournissent une cartographie assez fine des concentrations

de polluants dans l'air extérieur. Mais il ne faut pas oublier que dans les sociétés occidentales, nous passons 80 à 90 % de notre temps en air intérieur. Il est donc essentiel de prendre en compte cette dimension dans l'estimation de notre exposition individuelle.

Depuis quelques années, le développement de capteurs portables (appelés parfois « microcapteurs ») de mesures de polluants atmosphériques a ouvert de nouvelles possibilités pour connaître l'exposition à laquelle nous sommes soumis en tout point et à tout moment. Toutefois, l'utilisation et l'interprétation des données imposent de la prudence, et la fiabilité de la mesure de ces capteurs portables doit être vérifiée. Malgré les progrès réalisés dans la miniaturisation des techniques de mesure, un capteur portable n'atteint pas les mêmes performances qu'un instrument dit « de référence ». Ce n'est donc qu'en qualifiant au préalable ces performances et en vérifiant qu'elles sont en adéquation avec l'objectif recherché (estimation de l'exposition individuelle, sensibilisation de la population, etc.) que les capteurs pourront apporter des informations précieuses pour caractériser notre exposition.

Polluscope, un projet résolument pluridisciplinaire

6
—

C'est dans cette démarche que s'inscrit Polluscope¹, un projet qui réunit des chercheurs du domaine de la qualité de l'air, de la santé et de l'informatique². Sous la forme d'un consortium pluridisciplinaire, il rassemble Airparif et le LSCE³ sur le volet la qualité de l'air; IPLEPS⁴ pour la santé; le Cerema pour les campagnes terrain; l'EIVP⁵; Irenav⁶ et David⁷ pour les sciences de données.

L'objectif de Polluscope est d'évaluer sur le terrain les capacités et les limitations des capteurs portables dans la compréhension fine de l'exposition individuelle à la pollution de l'air et ses effets sur la santé. Des campagnes ont été conduites

1. <http://polluscope.uvsq.fr>

2. Le projet est labellisé ANR et il a le soutien de l'IDEX Paris-Saclay et de la communauté d'agglomération Versailles Grand Parc.

3. CNRS/CEA/UVSQ.

4. INSERM/Sorbonne Université.

5. Université Gustave Eiffel.

6. ENSAM.

7. UVSQ.

impliquant une centaine de volontaires qui ont porté les capteurs partout pendant une semaine pour un suivi continu, avec, pour un quart d'entre eux, des capteurs de santé en complément afin de mesurer l'effet sanitaire.

À ce jour, la méthodologie et les outils mis en œuvre dans Polluscope ont montré l'intérêt de ce type de collecte participative pour mieux comprendre l'exposition selon les lieux fréquentés (dits « micro-environnements ») en complément du réseau d'observation des stations fixes.

Trouver des capteurs performants

La première phase, en 2017, a consisté à sélectionner des capteurs qui répondaient aux exigences du projet, à savoir être portables, être dotés d'une batterie d'une autonomie d'au moins 8 heures, présenter des performances de mesure (résolution temporelle, justesse et reproductibilité de la mesure, etc.) permettant de suivre la variabilité des concentrations de polluants, et enfin si possible être communicants, c'est-à-dire permettre la récupération des données en temps quasi-réel. Un dernier critère a concerné le prix, avec la volonté de trouver des capteurs à bas coût, mais uniquement si le critère de performance de la mesure était satisfaisant.

Différentes approches ont été mises en œuvre dans le cadre de cette recherche : lecture de la bibliographie sur le sujet, participation à des salons en lien avec la qualité de l'air, prise de contacts avec des entreprises, développement « maison » par une université partenaire, etc.

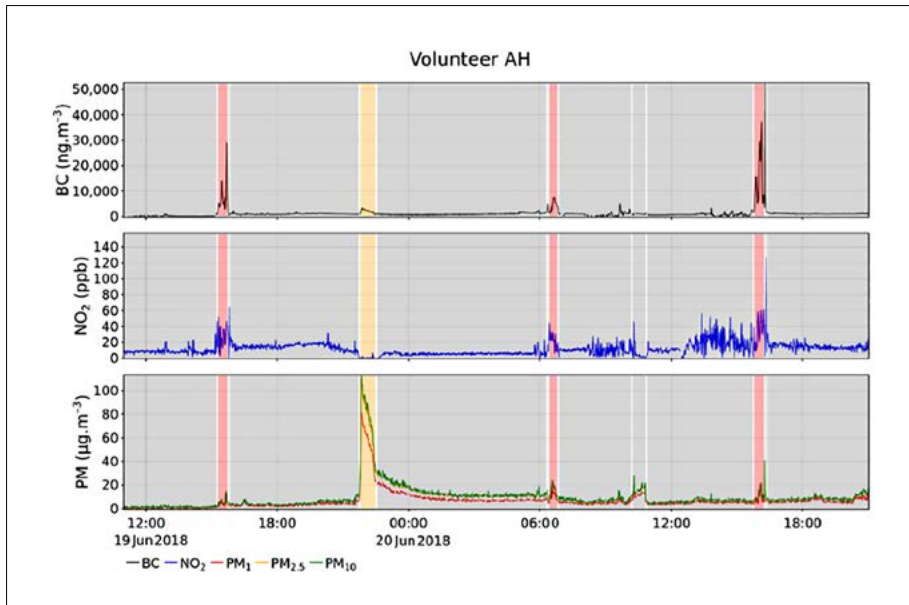
Une fois la première sélection effectuée, les capteurs ont été testés selon trois modalités : en statique, en mobilité et en environnement contrôlé. À l'issue de cette phase de tests, trois capteurs ont été sélectionnés, permettant la mesure du NO₂, du carbone suie ou *black carbon* et les particules fines de type PM1-PM2.5-PM10, même si certains compromis ont dû être faits au départ – les capteurs de NO₂ et BC ne sont pas communicants ; le prix d'achat, assez élevé, n'a permis l'achat que de 5 exemplaires du capteur BC, alors qu'aujourd'hui, le marché offre davantage de capteurs performants.

Quantifier l'exposition aux polluants en continu

Plusieurs campagnes ont été effectuées en 2018-2019, d'abord en test avec des membres du projet, puis avec des volontaires. Les campagnes de 2020-2021 ont dû être annulées en raison de la crise du Covid, et la dernière campagne s'est déroulée sur la période printemps-été 2022.

Les données recueillies lors de la campagne test du printemps 2018 permettent de documenter une série temporelle des concentrations des polluants mesurés (BC, NO₂, PM). Dans la figure 1, on note des valeurs basses une grande partie du temps (souvent associées au domicile et au lieu de travail), avec toutefois un certain nombre de périodes associées à des concentrations plus élevées d'un ou plusieurs polluants.

Figure 1. Série temporelle du volontaire AH (Languille *et al.*, 2022)



Un des objectifs de l'étude était de pouvoir relier l'exposition individuelle aux environnements traversés et à cette fin, les participants devaient noter leurs différentes activités et déplacements.

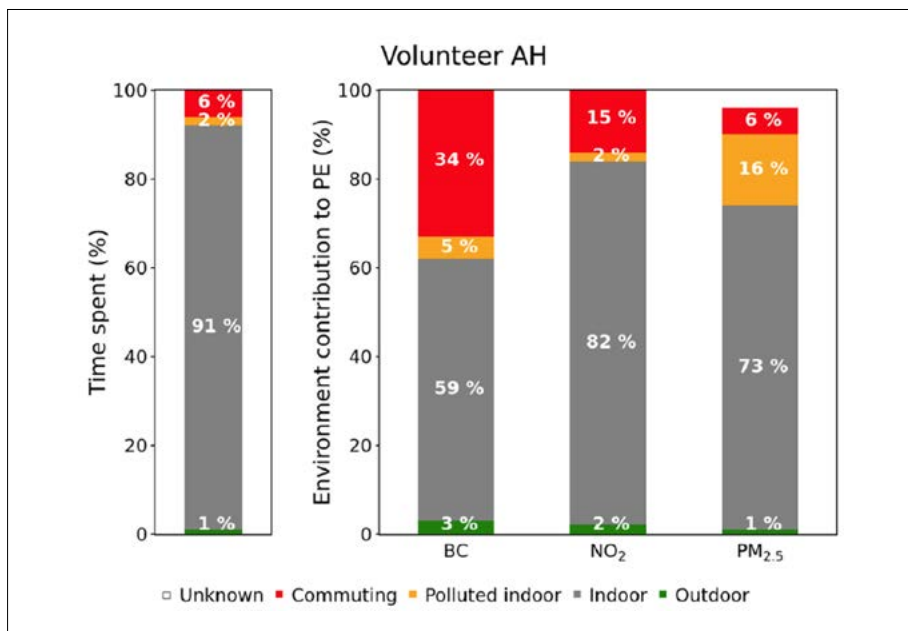
Les zones hachurées en rose correspondent à des périodes de déplacement (voiture, bus, etc.) et sont associées à des pics de concentration en NO₂ et BC. Le résultat reflète l'influence des émissions de ces polluants par le trafic.

La zone hachurée en jaune représente un événement de pollution intérieure, à savoir ici des activités de cuisine qui ont généré de très forts niveaux de PM. Des tests de cuisson d'aliments dans une cuisine individuelle ont été faits ultérieurement dans le but de mieux caractériser ce type de pollution. Ils ont montré que si la mise en route de la hotte permettait de réduire les niveaux de PM, l'action la plus efficace était l'ouverture de fenêtre.

Des sources de polluants diverses selon les environnements

Dans l'estimation de l'exposition individuelle, il est essentiel de prendre en compte également le temps passé dans les environnements correspondants.

Figure 2. Pourcentage de temps passé dans les divers environnements (volontaire AH) et contribution des environnements à l'exposition personnelle au BC, NO₂ et PM_{2.5} (Languille *et al.*, 2022).



Ainsi, pour le volontaire AH présenté ici, environ 90 % du temps a été passé en air intérieur, 6 % du temps a été associé à des périodes de déplacements et 2 % à des périodes de pollution intérieure.

En combinant ces temps d'exposition avec les concentrations mesurées associées, on constate que malgré des temps d'exposition faibles, les déplacements peuvent contribuer fortement aux expositions au BC (34 %) et au NO₂ (15 %). D'autre part, les activités « polluantes » intérieures peuvent contribuer significativement aux niveaux de PM (ici 16 %).

Ces chiffres sont individuels et ne peuvent pas être généralisés mais ils permettent d'illustrer à la fois la variété des sources polluantes (air intérieur et extérieur) et l'importance de prendre en compte le temps d'exposition et les concentrations de polluants associés pour pouvoir déterminer l'exposition individuelle.

De nouvelles perspectives pour la recherche

Ces quelques résultats montrent que si les niveaux des polluants mesurés sont généralement faibles en air intérieur (domicile/travail), ils peuvent fortement augmenter lors d'activités spécifiques comme celles liées à la cuisine, mais aussi à la consommation de tabac, l'utilisation de bougies, les feux de cheminée à foyer ouvert, l'usage de solvants, etc. L'aération apparaît alors comme le moyen le plus efficace pour réduire les niveaux de polluants.

Un autre résultat significatif concerne les périodes de déplacement en voiture, puisqu'on remarque que malgré le temps relativement faible consacré à ces déplacements, ces derniers peuvent contribuer significativement à l'exposition à certains polluants.

Notons cependant que cette étude étant focalisée sur 3 types de polluants (NO₂, BC et PM), il faudrait également mesurer d'autres familles de polluants (par exemple les composés organiques volatils) afin d'obtenir une estimation plus complète de l'exposition individuelle.

Il faudrait également disposer d'un très grand nombre de mesures pour avoir une meilleure représentativité statistique des profils d'exposition selon les environnements. Enfin, il faudrait croiser ces mesures avec des indicateurs de santé.

Polluscope a ainsi créé une véritable dynamique interdisciplinaire et des résultats préliminaires permettant une première validation de la faisabilité d'études scientifiques basées sur des capteurs portables et des protocoles collaboratifs. Ces avancées prometteuses montrent qu'il reste beaucoup à faire pour tirer des leçons définitives sur l'exposition aux risques de pollution atmosphérique et ses effets sanitaires à l'échelle d'une population plus large, observée plus longtemps et en considérant un maximum de polluants.

Découvrir d'autres titres de la collection [LE VIRUS DE LA RECHERCHE](#).