

## Peut-on redistribuer la surveillance de la qualité de l'air ?

Une enquête sur les métrologies à l'œuvre dans un concours institutionnel d'évaluation de micro-capteurs

*Can air quality monitoring be redistributed? An investigation into the metrologies at work in an institutional microsensor evaluation competition*  
*¿Se puede redistribuir el monitoreo del air? Una investigación sobre las metrologías implementadas en un concurso institucional de evaluación de micro-sensores*

Jean-Baptiste Garrocq et Sylvain Parasie

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rac/29150>

ISSN : 1760-5393

### Éditeur

Société d'Anthropologie des Connaissances

Ce document vous est offert par Fondation nationale des sciences politiques



### Référence électronique

Jean-Baptiste Garrocq et Sylvain Parasie, « Peut-on redistribuer la surveillance de la qualité de l'air ? », *Revue d'anthropologie des connaissances* [En ligne], 16-4 | 2022, mis en ligne le 01 décembre 2022, consulté le 06 décembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rac/29150>

---

Ce document a été généré automatiquement le 5 décembre 2022.



Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International  
- CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

---

# Peut-on redistribuer la surveillance de la qualité de l'air ?

Une enquête sur les métrologies à l'œuvre dans un concours institutionnel d'évaluation de micro-capteurs

*Can air quality monitoring be redistributed? An investigation into the metrologies at work in an institutional microsensor evaluation competition*  
*¿Se puede redistribuir el monitoreo del aire? Una investigación sobre las metrologías implementadas en un concurso institucional de evaluación de micro-sensores*

**Jean-Baptiste Garrocq et Sylvain Parasio**

---

- 1 Les micro-capteurs de qualité de l'air connaissent un essor important alors que la pollution de l'air est reconnue comme un problème majeur de santé publique à travers le monde<sup>1</sup>. Un marché s'est formé<sup>2</sup>, auquel participent autant de grands groupes internationaux que de jeunes startups commercialisant leurs produits aussi bien à des entreprises qu'à des collectivités territoriales ou des particuliers. Un micro-capteur de qualité de l'air est un dispositif associant au moins un élément sensible servant à quantifier la présence d'un polluant dans l'air à un système électronique permettant l'acquisition et le traitement des données. Longtemps limitée à un petit nombre d'adeptes du *do-it-yourself*, la mise en marché de ces « *low-cost sensors* », pour un prix allant d'une centaine à quelques milliers d'euros, a considérablement accru leur diffusion. Du fait de leur taille et de leur coût, ils portent la promesse de permettre à tout un chacun de mesurer la présence de polluants dans l'air (micro-particules, particules ultrafines, composés organiques volatiles, ozone, etc.), en extérieur ou en intérieur, en temps réel et à une échelle spatiale très fine.
- 2 Ce marché n'émerge toutefois pas dans un contexte d'absence de mesure. Depuis les années 1990, une infrastructure de surveillance de la qualité de l'air s'est institutionnalisée en France et au niveau européen (Boutaric, 2020 ; Charvolin *et al.*, 2017; Jas & Boudia, 2019). Des Associations Agréées de la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) sont chargées par l'État français de produire des mesures sur la pollution

de l'air en respectant des standards définis juridiquement aux niveaux national et européen. Sous l'égide d'une fédération nationale (ATMO France), chaque région dispose d'une AASQA assurant la couverture de son territoire et produisant des mesures en temps réel. Au moyen de stations coûteuses et d'une métrologie réglementaire, elles disposent d'un monopole de la production des mesures réglementaires sur la pollution de l'air, en contrepartie duquel elles doivent produire une information continue à destination des autorités et des citoyen-ne-s (sous la forme d'indicateurs, de cartes, etc.). Les mesures produites ont à la fois la vocation d'informer les populations de la qualité de l'air qu'elles respirent et de permettre le déclenchement de sanctions en cas de dépassement des seuils réglementaires.

- 3 La diffusion des micro-capteurs déstabilise le monopole des AASQA sur la production de mesures sur la qualité de l'air. Elle rend possible une nouvelle distribution de la surveillance de l'air, en permettant à chaque citoyen-ne de produire ses propres mesures, ou d'avoir accès à une pluralité de sources de mesures alternatives. Alors que la surveillance réglementaire repose sur un petit nombre de stations lourdes et coûteuses, mises en œuvre par des professionnel-le-s, les micro-capteurs se présentent comme des instruments bon marché, légers et faciles à utiliser. Si bien que la qualité des mesures locales de la qualité de l'air – aujourd'hui modélisées à partir d'un petit nombre de stations réglementaires – augmenterait avec la diffusion de micro-capteurs situés au plus près des populations. Comme le soulignent des chercheurs en sciences de l'environnement (Snyder *et al.*, 2013 ; Morawska *et al.*, 2018), les niveaux de pollution auxquels les populations sont exposées pourraient ainsi être mieux connues.
- 4 Plus fondamentalement, l'ébranlement est de nature métrologique. D'abord parce que les fabricants de micro-capteurs ne sont soumis pour l'instant à aucune procédure de certification : ils peuvent commercialiser leurs produits sans respecter les standards auxquels doivent se conformer les stations réglementaires, ni aucun autre standard spécifique aux micro-capteurs. A cela s'ajoute le fait que pour une partie des usager-e-s, le micro-capteur est un moyen de contester la façon dont les instances réglementaires mesurent la pollution. Déjà mis en lumière par les études sur l'épidémiologie populaire et la science citoyenne, ce phénomène est particulièrement visible dans les usages militants des micro-capteurs. Dans une enquête menée en Louisiane au début des années 2000, Gwen Ottinger montrait que des résident-e-s Afro-Américain-e-s collectaient des échantillons d'air pour mesurer des pics de pollution alors que les instances réglementaires ne s'intéressaient qu'à des moyennes quotidiennes (Ottinger, 2010). Dans la dernière décennie, plusieurs recherches ont montré que le recours militant aux micro-capteurs numériques s'identifie à une remise en cause de la façon dont sont produites les mesures réglementaires, jugées insuffisamment articulées aux populations et aux contextes dans lesquels elles vivent (Gabrys & Pritchard, 2016 ; Parasie & Dedieu, 2019).
- 5 Cet article porte sur la façon dont les instances en charge de la surveillance de la qualité de l'air réagissent face à la perspective d'une surveillance de l'air plus distribuée. À travers le cas de l'instance francilienne, nous nous demanderons jusqu'à quel point, et selon quelles dynamiques, elles intègrent les micro-capteurs dans un horizon métrologique commun – c'est-à-dire à l'ensemble des qualités qui sont attendues d'un capteur pour que ses mesures aient une chance de conduire à la reconnaissance, éventuellement légale, d'un air pollué. Ces instances adaptent-elles leurs exigences métrologiques afin de faire une place aux micro-capteurs ? Ou

défendent-elles au contraire des standards auxquels les micro-capteurs sont sommés de se plier ?

- 6 Voici plusieurs décennies que les instruments de mesure sont étudiés par les sociologues des sciences (Collins, 1992 ; Knorr Cetina, 1999). Nous savons que la qualité de ces instruments constitue un enjeu central dans les pratiques scientifiques, et que sa détermination n'implique jamais seulement de confronter l'instrument à une réalité extérieure. Elle implique plutôt des conflits d'autorité entre scientifiques (Collins, 1992) ; elle nécessite que des collectifs d'acteurs se constituent pour définir les standards qu'un instrument doit satisfaire pour que ses mesures soient considérées comme « suffisamment justes » (Mallard, 1998). Plus largement, elle implique pour les scientifiques de construire une classification permettant d'évaluer à la fois la confiance qui peut être accordée aux détecteurs et aux professionnels qui interprètent les mesures. Karin Knorr Cetina (1999), dans ses travaux sur la physique à haute énergie, a ainsi montré que les détecteurs étaient à la fois jugés par les scientifiques comme étant plus ou moins performants, mais aussi comme étant dotés de qualités physiologiques (ils vieillissent), sociales (ils communiquent) et morales (ils se comportent mal). Si bien, montre-t-elle, que les chercheurs identifient des « experts », c'est-à-dire les professionnels auxquels ils peuvent faire confiance pour ne pas se laisser abuser par des mesures qui résulteraient uniquement du mauvais comportement d'un détecteur.
- 7 Ainsi considérée, la métrologie des micro-capteurs pose des problèmes. D'abord parce qu'au contraire des instruments scientifiques agréés, voués à être utilisés au sein de petites communautés ou par des professionnel·les, les micro-capteurs de pollution sont susceptibles d'être utilisés par des personnes aux intérêts et compétences très diverses. La multiplication des usager·ère·s profanes, potentiellement incapables de reconnaître un pic qui résulterait seulement du comportement d'un micro-capteur, constitue ici une gageure dès lors qu'il s'agit de juger des qualités d'un micro-capteur. Et ce d'autant plus que ces usager·ère·s sont susceptibles de vouloir faire reconnaître ces mesures de pollution auprès des autorités. Notre enquête vise donc à déterminer comment une instance de surveillance régionale ajuste ses conventions métrologiques en organisant un concours à la suite de l'essor des micro-capteurs. On entend par convention l'ensemble de règles spécifiant les qualités que doit avoir un capteur pour que ses mesures puissent légitimement servir à un usage particulier (connaître son environnement, obtenir réparation, etc.). Cette approche conventionnelle permet de dépasser l'opposition entre les approches naturalistes et constructivistes de la mesure (Desrosières, 2007 ; Mallard, 1998).
- 8 Nous avons enquêté<sup>3</sup> lors de la seconde édition d'un concours international de micro-capteurs organisé en 2021 par le Airlab d'AirParif<sup>4</sup>. Des concours similaires sont réalisés dans différents pays (États-Unis, Pays-Bas) afin d'évaluer les performances des micro-capteurs pour réguler un marché en extension. Les concours sont une des formes de régulation envisagée par ces institutions, comme le sont également les projets participatifs associant des citoyen·nes et des institutions de surveillance ou la certification agréée des objets de mesure (LCSQA). À l'occasion de ce concours, nous avons pu saisir le travail métrologique en train de se faire. Ce terrain ouvre une fenêtre sur la façon dont des institutions réglementaires – ici une AASQA – peuvent s'interroger sur la pertinence des frontières métrologiques établies.
- 9 Cette enquête s'est déroulée dans le contexte de la pandémie de Covid-19, qui limitait les possibilités de circulation et de rencontre pour les acteurs impliqués dans le

concours. Nous avons suivi les réunions du jury qui se réalisaient uniquement en ligne. Nous avons ainsi pu assister aux quatre réunions du jury que nous avons enregistrées et retranscrites, et lors desquelles les différent·e·s acteur·rice·s se rencontraient par visioconférence pour sélectionner des micro-capteurs, discuter des critères d'évaluation, échanger sur les difficultés rencontrées lors des tests, et délibérer sur le classement final. Cette ethnographie est toutefois partielle, puisque nous n'avons pas pu observer les tests réalisés dans les locaux des AASQA à Paris et Lille. Notre enquête s'est accompagnée de la réalisation de six entretiens avec des membres du jury, dont le directeur de l'équipe technique du concours ; trois représentants des AASQA ; ainsi que deux ingénieure·s représentant des organisations nationales. Nous avons également collecté les documents utilisés par les membres du jury (règlements, protocoles, fiches techniques). Ce qui nous a conduit à collecter d'autres documents présentant des méthodes d'évaluation conçues dans d'autres espaces scientifiques et réglementaires, et qui ont été mobilisées tout au long du concours.

- 10 Dans cet article, nous défendons l'argument que cette instance de surveillance fait un pas vers une plus grande distribution de la surveillance, en trouvant des qualités aux micro-capteurs et en ouvrant la possibilité à des nouveaux usages et à un public profane. Elle élabore ainsi un cadre d'évaluation établissant une continuité métrologique entre les stations réglementaires et les micro-capteurs. Mais elle met des limites à une surveillance totalement distribuée, en élaborant des conventions qui restreignent les usages légitimes des mesures produites par les micro-capteurs. L'article s'organise de la façon suivante : dans une première partie, nous montrons que la contestation du modèle centralisé de surveillance de la qualité de l'air conduit une AASQA à tenter de réguler la qualité des micro-capteurs ; dans une seconde partie, nous verrons que cette régulation l'amène à élargir sa conception de la qualité métrologique de ce que serait une « bonne mesure ». Enfin, dans une troisième partie, nous verrons qu'elle établit néanmoins des frontières métrologiques, en associant les micro-capteurs à des conventions qui restreignent leurs usages légitimes.

## La remise en cause d'un modèle centralisé de surveillance

- 11 La diffusion des micro-capteurs cristallise l'intérêt de nombreux·euses acteur·rice·s pour des mesures locales, granulaires et produites de façon autonome. Si les AASQA ont elles-mêmes vu dans les micro-capteurs une opportunité pour améliorer leur surveillance de la qualité de l'air, elles se confrontent à leur absence de standardisation. L'une d'entre elles met alors en place, comme dans plusieurs pays étrangers, un concours visant à évaluer la qualité métrologique des micro-capteurs.

## Des institutions débordées par des demandes de mesures granulaires

- 12 Depuis une dizaine d'années, l'expansion du marché des micro-capteurs conduit à un équipement des ménages de plus en plus répandu en objets de mesures non pris en charge par les institutions réglementaires. De plus, des mobilisations citoyennes s'équipent de micro-capteurs pour alerter les autorités sur la pollution de l'air et elles expriment la nécessité de produire des données granulaires, notamment à l'échelle de

leur quartier (Calvillo, 2018 ; Gabrys, 2016 ; Ottinger, 2010). Voici comment un habitant du 20<sup>ème</sup> arrondissement de Paris explique son engagement, en 2019, dans un projet de mesure de la pollution dans son quartier avec des micro-capteurs :

Vous avez différentes AASQA par région et donc en Île-de-France, c'est Airparif. (mais) dans le 20e arrondissement, vous n'avez aucun instrument de mesure. (...) J'ai une application qui vous (indique) la pollution de l'air. Sauf que ça, c'est une donnée, c'est un algorithme. Cela est fait à partir d'un modèle. Nous [les participant-es au projet], on a constaté qu'il n'y avait aucun instrument de mesure sur le 20<sup>ème</sup> – ce qui est un peu embêtant. Et donc on voulait avoir des mesures. Les gens disaient « les équipements sportifs et les écoles sont au bord du périph. Qu'est-ce que ça veut dire en termes de santé publique ? » Donc on a décidé de faire nos propres mesures. (Stéphane, participant d'un projet de mesure citoyen avec des micro-capteurs à Paris)<sup>5</sup>

- 13 L'intérêt de cet habitant pour les micro-capteurs s'appuie sur une critique des mesures de pollution communiquées par l'autorité chargée de la surveillance de la qualité de l'air en Île-de-France. Parce que les mesures réglementaires ne proviennent pas de capteurs situés dans son quartier, mais sont le produit d'une modélisation indiquant les niveaux de pollution attendus à partir de stations disposées dans d'autres arrondissements, elles ne sauraient informer convenablement de la pollution réelle à laquelle sont exposés les habitant-es.
- 14 À l'échelle européenne et internationale, des scientifiques pointent également les limites des mesures réglementaires et mettent en avant les qualités des micro-capteurs pour réaliser des mesures granulaires nécessaires au calcul de l'exposition de populations à la pollution de l'air (Snyder *et al.*, 2013 ; Morawska *et al.*, 2018 ; Weissert *et al.*, 2017). De plus, la Commission Européenne, détenant un pouvoir réglementaire, a fondé dans le cadre de son European Green Deal un groupe d'experts pour réfléchir à la transformation des standards réglementaires et à l'élargissement des outils de mesures de la pollution de l'air<sup>6</sup>.
- 15 Depuis quelques années, des collectivités locales manifestent également un intérêt croissant pour les micro-capteurs, par exemple pour avoir de nouvelles prises dans un conflit d'aménagement du territoire (Osadchyn, 2016). Plusieurs villes et régions françaises ont mis en place des projets d'installation de micro-capteurs dans des bâtiments publics ou de distribution aux citoyen-ne-s. Souvent conduits en partenariat avec les institutions de surveillance, ces projets résultent à la fois du démarchage entrepris par les fabricants, et de la volonté de ces collectivités de répondre aux préoccupations environnementales et sanitaires des habitant-es. Ce métrologue d'une AASQA nous explique être régulièrement contacté par des collectivités locales :
- Le cas le plus classique, ce sont des villes qui veulent créer leur petit réseau de surveillance dans leur centre-ville. (...) Politiquement, elles veulent avoir une connotation environnement. Donc il leur faut leur station ou quelque chose dans leur ville. (Geoffrey, responsable du laboratoire de métrologie)<sup>7</sup>
- 16 Le même constat s'applique aux entreprises industrielles, qui sont de plus en plus soumises à un ensemble de dispositions légales concernant les émissions de polluants, mais aussi la qualité de l'air intérieur auquel les salarié-es sont exposé-es, et doivent ainsi produire des mesures locales. Cet intérêt pour les micro-capteurs s'inscrit dans un ensemble de transformations dans la gestion collective des risques sanitaires, qui impliquent davantage les associations, les entreprises et les collectivités locales (Borraz, 2008).

- 17 Les autorités de surveillance courent ainsi le risque d'être débordées par l'émergence d'une pluralité d'acteur·rice·s qui produisent leurs propres mesures grâce aux micro-capteurs, et qui pourraient s'en servir pour remettre en cause les mesures réglementaires. Cette remise en cause des mesures réglementaires peut être formulée par des particuliers comme par des associations :
- (Les associations) sont allées un petit peu plus vite que la musique. Elles ont commencé à communiquer très fort en disant « on est sur des niveaux chinois (de pollution) à Strasbourg » - donc c'est parti un peu fort et il a fallu rattraper un peu tout ça. (Rodolphe, ingénieur, membre du jury, représentant d'une AASQA)<sup>8</sup>
- 18 En mobilisant des mesures différentes de celles produites dans le cadre de la surveillance réglementaire de l'air, les associations et les citoyen·ne·s poussent les AASQA à intervenir dans un autre cadre que celui de la science réglementaire. Ses représentants tentent alors de recadrer leurs discours et de rétablir l'autorité de leurs mesures.
- 19 Cependant, elles voient elles-mêmes dans les micro-capteurs un moyen, à terme, d'améliorer la surveillance de l'air. Il s'agirait pour elles d'augmenter la couverture du territoire pour un coût inférieur aux stations classiques. Un ingénieur d'une AASQA nous explique ainsi l'intérêt potentiel qu'il perçoit dans les micro-capteurs :
- C'est de regarder aussi comment nous on peut s'approprier ce genre d'outils [les micro-capteurs] pour notre observatoire. Aujourd'hui, on a un réseau de stations de mesures fixes, pourquoi ne pas utiliser ce genre de système [les micro-capteurs] pour renforcer finalement les données qui sont remontées par le réseau fixe ? (Rodolphe, ingénieur, membre du jury, représentant d'une AASQA)<sup>9</sup>
- 20 Mais cet intérêt se heurte à l'incertitude qui entoure la qualité des mesures produites par les micro-capteurs. Ces dispositifs de mesure ne sont soumis à aucune réglementation ni aucune certification, contrairement aux stations qu'elles utilisent. Leur intégration au réseau de surveillance ne peut donc pas se faire s'en assurer de leur qualité à l'aune des critères métrologiques réglementaires.
- 21 Les AASQA et leur cadre réglementaire se retrouvent donc exposées à de multiples débordements (demandes de mesure granulaires, contestations de leurs mesures, possibilité pour elles de transformer leurs réseaux de mesure) qui fragilisent le modèle monopolistique de la surveillance de la qualité de l'air<sup>10</sup>. Celui-ci repose sur un ensemble de conventions métrologiques inscrites dans les stations et mises en œuvre par un personnel spécialisé. Parce que les micro-capteurs échappent en grande partie à ces conventions, les institutions de surveillance ont plus de difficultés à faire reconnaître la validité de leurs propres mesures. Dans le même temps, elles ne savent parfois pas quoi répondre quand on les sollicite pour juger de la qualité des micro-capteurs :
- Aujourd'hui, il y a des fournisseurs qui proposent ces solutions [les micro-capteurs], sauf qu'on ne sait pas ce qu'ils valent. Ces fournisseurs vont démarcher des industriels, ils vont démarcher des collectivités dans lesquelles il y a des zones industrielles. Et quand nos partenaires nous interrogent pour connaître la qualité de ces mesures, on ne sait pas leur répondre. (Emmanuel, ingénieur, membre du jury et représentant d'une AASQA)<sup>11</sup>
- 22 C'est notamment pour contrer ces débordements qu'AirParif réunit des experts de la surveillance de l'air pour tenter de réguler le marché des micro-capteurs.

## Le concours comme outil de régulation douce

23 En 2019 s'est tenu la première édition du « Challenge micro-capteurs », à l'initiative de AirLab d'Airparif. Il s'agit d'un concours visant à produire «une visibilité sur les performances des micro-capteurs actuellement sur le marché, via une évaluation indépendante et reconnue»<sup>12</sup>. On peut y voir une forme de régulation douce, au sens où elle n'est pas associée à des sanctions, mais vise à éduquer les fabricants et les utilisateur·rice·s autour de standards partagés. L'évaluation des micro-capteurs peut servir tout autant à orienter le public général (citoyen·nes, entreprises, collectivités) dans leurs choix et usages des micro-capteurs, qu'à stimuler l'innovation et orienter les manières de faire des fabricants. Pour les organisateurs, le concours n'est qu'une première étape dans un processus de régulation :

Si tout se passe bien, le Challenge doit disparaître. Il est voué à être remplacé par de la labellisation, de la certification de produits. Une fois que le marché sera mature et que les différents acteurs habituels de n'importe quel produit sont mis en place... Il est voué à disparaître ou au moins à évoluer. (Geoffrey, responsable du laboratoire de métrologie)<sup>13</sup>

24 Cette forme de régulation s'inscrit dans la continuité d'actions publiques ou privées visant à réguler des marchés par des dispositifs non contraignants tels que des tests (Thévenot, 1993) ou des audits (Barraud de Lagerie, 2019). Ce choix correspond à des contraintes spécifiques pour les institutions de surveillance. En l'absence de toute certification aux niveaux nationaux et européens, elles n'ont aucune prise sur les fabricants. Elles ne disposent d'aucun cadre réglementaire pour évaluer la qualité des mesures des micro-capteurs. De plus, leur indépendance les prive de toute forme de normativité juridique, elles n'ont pas le pouvoir d'édicter des standards ou des normes à valeur réglementaire. Le concours apparaît donc comme un moyen, parmi d'autres, d'enclencher un processus de régulation douce, en permettant l'apprentissage collectif des institutions de surveillance, des fabricants et des utilisateur·rice·s.

25 Pour ce faire, le jury implique une variété d'acteur·rice·s dans le concours : des représentant·e·s des associations régionales de surveillance de la qualité de l'air ; des organismes de recherche français (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, DIM QI2, Laboratoire Fédéral d'essai des matériaux et de recherche) ; des organismes publics (Agence de la transition écologique, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Agence Française du Développement) ; une institution internationale (Organisation Métrologique Mondiale) ; et des entreprises (EDF, Fédération Interprofessionnelle des Métiers de l'Environnement Atmosphérique). Alors qu'elles siègent au conseil d'administration d'Airparif, les associations et les citoyen·nes ne sont pas conviées à participer au travail métrologique réalisé pendant le concours.

26 Chaque représentant·e est convié·e à participer aux différentes réunions du jury et ceux tout au long du concours. Les réunions sont menées par Roman, ingénieur en robotique et métrologue à AirParif, sur qui repose l'organisation et le déroulement du concours. Il coordonne l'équipe technique composée de métrologues internes à l'AASQA qui réalisent les tests des micro-capteurs à Paris et à Lille. Il prépare et anime les réunions du jury, en choisissant les sujets à aborder, en rendant compte de l'avancée du concours à l'ensemble du jury, en distribuant la parole et en prenant acte des décisions. Il mène le concours en reliant les deux composantes que sont le jury et l'équipe technique. Lors des réunions, les membres du jury interviennent dans un second temps, pour faire des remarques sur les micro-capteurs ou pour réagir aux commentaires de

Roman ; ils discutent des décisions proposées ou apportent leur lumière sur des points méconnus par l'équipe technique. Dès lors, seule une partie du jury (10 personnes) s'est exprimée lors de ces réunions, les autres membres ne venant pas aux réunions ou restant silencieux.

## La trame du concours

- 27 Le concours se déroule durant huit mois et en trois étapes : la sélection et catégorisation des micro-capteurs ; la réalisation de tests *in situ* et leur discussion collective ; la production d'une fiche d'évaluation pour chaque capteur et d'un classement final. À chaque étape, les conventions métrologiques établies en amont par l'institution sont mises à l'épreuve.
- 28 Tous les fabricants candidats (33 pour l'édition 2021) envoient trois micro-capteurs identiques accompagnés d'une fiche technique. Les trois micro-capteurs permettent à l'équipe technique de multiplier les tests et de s'assurer de la répliquabilité des mesures. Lors de la première réunion, les membres jury s'appuient uniquement sur les fiches techniques fournies par les fabricants, pour identifier d'éventuels problèmes :
- Océane (Organisation Métrologique Internationale) : Et le n° 10, je m'interroge sur les 11 cm.
- Roman : Je m'interroge aussi sur les technologies utilisées.
- Océane : On a besoin de leur demander qu'elle est la machine principale qu'ils utilisent, parce que ça ne fait pas sens physiquement... (extrait réunion du jury)
- Emmanuel (AASQA) : Pour moi on a un problème avec la mesure de l'air extérieur, pour moi juste en regardant les connecteurs, ils ne sont pas *waterproof*. J'aimerais bien leur demander quelques justifications, pour savoir s'ils ont de l'expérience dans le déploiement de capteurs extérieurs, peut-être qu'ils ont déjà des compétences. (extrait réunion du jury)
- 29 Avant même que le micro-capteur soit mis en action, les membres du jury cherchent à identifier d'éventuelles incohérences entre ses promesses métrologiques et ses spécifications techniques. Ainsi, la fragilité d'un connecteur à l'humidité est jugée contradictoire avec sa prétention à mesurer la qualité de l'air en extérieur. Cette première étape permet au jury d'exclure les micro-capteurs qui ne leur semblent pas capables se prêter à l'évaluation.
- 30 Une fois l'ensemble des micro-capteurs sélectionnés (58 pour l'édition 2021), l'équipe technique du Airlab les soumet à un ensemble de tests. Pendant une période de 10 jours minimum, les micro-capteurs sont accrochés sur des stations réglementaires en air extérieur, soumis à différents polluants en chambre d'exposition pour l'air intérieur, transportés dans des sacs à dos ou des voitures pour les tester en mobilité. Des comptes rendus des tests sont discutés en réunion du jury : on y évoque à la fois les problèmes rencontrés lors des tests (capteurs cassés, panne d'internet empêchant la transmission des données, etc.) ainsi que la pertinence des procédures de test (« Nous avons eu des problèmes avec la pompe... avec la pression, alors oui, nous devons peut-être revoir toute la méthodologie pour faire ce test. »).
- 31 La dernière étape est celle du classement. L'équipe technique et les membres du jury élisent des lauréats, et fabriquent des fiches d'évaluation présentant les avantages et les inconvénients de chaque capteur. Différent·es membres du jury sont invité·es à remettre les prix aux fabricants vainqueurs lors d'une cérémonie réunissant fabricants,

membres des associations de surveillance de la qualité de l'air, mais aussi des entreprises soutenant le concours.

- 32 Le concours se présente ainsi comme un dispositif de régulation qui permet d'accéder à la façon dont les instances réglementaires évaluent les qualités métrologiques des micro-capteurs.

## L'intégration des micro-capteurs dans un horizon métrologique commun

- 33 À l'occasion du concours, les experts mobilisés par AirParif élargissent la conception établie de ce qui constitue la qualité métrologique d'un micro-capteur. Au lieu de s'en tenir à une définition de la qualité strictement centrée sur l'exactitude de la mesure – une dimension nettement préjudiciable aux micro-capteurs –, elle élabore un dispositif de jugement qui prend en compte d'autres considérations qui leur sont plus favorables.

### À quoi tient la qualité d'une mesure ?

- 34 Pour juger de la qualité des micro-capteurs, le jury peut s'appuyer sur des catégories préexistantes, comme celles qui ont trait aux finalités de la mesure (Rumpala, 2004). Avant même l'apparition des micro-capteurs, les institutions en charge de la surveillance de l'air distinguaient en effet les mesures de type *réglementaire*, qui visent à établir si des seuils légaux de pollution ont été dépassés, des mesures relevant de la *sensibilisation*, qui visent à informer les populations ou les pouvoirs publics de la qualité de l'air. Le jury reprend ces deux finalités, auxquelles il en ajoute une troisième lors de l'édition 2021 : les mesures de *pilotage*, qui permettent à une organisation de modifier l'exposition aux pollutions générées sur un site particulier.
- 35 Le jury s'interroge ensuite sur les contextes de la mesure. Ses membres jugent indispensable de considérer la variété des contextes dans lesquels le micro-capteur est déployé, selon qu'il s'agisse de mesurer la qualité de l'air intérieur ou extérieur, à un endroit précis ou en situation de mobilité. Ils considèrent donc qu'un capteur peut produire des mesures de qualité dans un contexte précis, mais pas forcément dans un autre contexte. C'est ce qui les conduit à tester les capteurs dans des contextes très différents des stations réglementaires ou des laboratoires :

Roman : On n'a pas eu de chance durant cette période, le mois de juin a été assez humide. Donc on est beaucoup allé dans le métro, en sous-sol, pour chercher des particules pour la plupart des tests que l'on faisait. Et on doit faire un parcours de plus, sûrement la semaine prochaine, dans le Grand Paris Express où on a vu le plus haut niveau de particules que l'on peut mesurer à cette période. (extrait réunion du jury)

- 36 En descendant dans le métro, l'équipe technique explore des contextes qui vont bien au-delà de son réseau de mesure réglementaire. L'importance attribuée à la variété des contextes se retrouve également dans les essais en laboratoire :

Roman : Ce qu'on a essayé de faire c'est de simuler avec des substances et des sources typiques. Donc des cigarettes, des bougies, des encens, des produits d'entretien, la préparation de nourriture. On a fait ça intensément et spécialement vers la fin, je peux admettre, particulièrement pour les particules, on a remarqué qu'on n'avait pas suffisamment de pics pour les COV, mais que ce n'était pas un problème parce qu'en mai on avait beaucoup de choses. Donc, lors la simulation

avec les produits d'entretien, on s'est rendu compte qu'on générerait des COV mais pas suffisamment de particules, donc a commencé à allumer beaucoup de bougies (extrait réunion du jury)

- 37 Lors des tests en chambre d'exposition, l'AASQA s'ouvre à un nouveau contexte en réalisant des mesures de l'air intérieur, traditionnellement exclues de son champ d'expertise<sup>14</sup>. De plus, l'équipe technique fait varier les contextes en utilisant une diversité de produits pour changer les propriétés de l'air mesuré.
- 38 La prise en compte des finalités et des contextes de la mesure conduit le jury à distinguer 8 catégories de micro-capteurs. Chaque micro-capteur est engagé dans une ou plusieurs des catégories suivantes :
- surveiller la qualité de l'air extérieur
  - surveiller la qualité de l'air intérieur
  - sensibiliser à la qualité de l'air en extérieur
  - sensibiliser à la qualité de l'air en intérieur
  - sensibiliser à la qualité de l'air en mobilité (véhicule)
  - sensibiliser à la qualité de l'air rencontrée au cours de vos activités journalières
  - documenter l'exposition personnelle à la pollution à des fins d'interprétation sanitaire
  - piloter et gérer l'air dans un bâtiment.
- 39 Les organisateurs élaborent ainsi un dispositif d'évaluation avec une pluralité de critères. Au critère traditionnel de l'exactitude, par lequel est évaluée la capacité d'un capteur à mesurer correctement la présence d'un polluant dans l'air, sont ajoutés d'autres critères : l'utilité, l'utilisabilité, la portabilité et le coût des micro-capteurs. Présentés dans le tableau ci-dessous (figure 1), ces critères traduisent une extension de la façon dont est classiquement évaluée la qualité d'une mesure de la pollution de l'air.

Figure 1 : critères d'évaluation des micro-capteurs

Critères d'évaluation	Question principale et sous-questions
Exactitude	Le micro-capteur mesure-t-il correctement la présence d'un polluant ?
Utilité	Le capteur correspond-t-il aux finalités de la catégorie dans laquelle il concourt ? > Les polluants mesurés sont-ils pertinents ? > Les données sont-elles récupérables facilement ? > Le capteur est-il autonome énergétiquement ? > Quelles sont les possibilités de visualisation offertes ? > Quelle est la granularité des données ? > Quel est le niveau de maintenance nécessaire ? > Peut-on accéder à des indicateurs statistiques ?
Utilisabilité	Le capteur est-il utilisable de façon aisée, efficace et agréable ? > Le capteur s'utilise-t-il facilement ? > Quelles sont les possibilités de visualisation offertes ? > Quelle est la granularité des données ?

Portabilité	<p>Le capteur est-il transportable ?</p> <p>&gt; Le capteur est-il autonome énergétiquement ?</p> <p>&gt; Le capteur est-il lourd ?</p> <p>&gt; Le capteur est-il volumineux ?</p>
Coût	<p>Quels sont les frais nécessaires pendant les 3 premières années d'utilisation ?</p> <p>&gt; quel est le prix d'achat ?</p> <p>&gt; quel est le prix de l'abonnement ?</p> <p>&gt; quels sont les frais d'entretien ?</p>

Source : Airlab, « Microsensors Challenge 2021 – Protocol », octobre 2021

- 40 Le poids de ces différents critères varie selon la catégorie dans laquelle concourt le capteur (figure 2). Ainsi, l'exactitude est plus importante si le micro-capteur sert à « surveiller l'air extérieur » – car elle correspond à une finalité réglementaire – que s'il vise à « sensibiliser à la qualité de l'air en extérieur ». Au contraire, le coût sera plus important dans le second cas que dans le premier. Des usages différenciés se dessinent dans lesquels les qualités attendues des micro-capteurs ne sont pas les mêmes.

Figure 2 : poids des critères d'évaluation des micro-capteurs

	Exactitude	Utilité	Utilisabilité	Portabilité	Coût
Surveillance de l'air extérieur	5	5	3	0	3
Sensibiliser à la qualité de l'air en extérieur	3	4	4	0	5
Sensibiliser à la qualité de l'air en mobilité	4	4	4	3	4
Surveiller la qualité de l'air intérieur	5	5	3	0	3
Sensibiliser à la qualité de l'air en intérieur	3	4	4	0	5
Piloter et gérer l'air dans un bâtiment	3	5	4	0	4
Documenter l'exposition personnelle à la pollution à des fins d'interprétation sanitaire	4	5	4	3	3
Sensibiliser à la qualité de l'air rencontrée au cours de vos activités journalières	3	4	4	5	5

Source : Airlab

- 41 Toutefois, l'identification des critères de qualité se réalise également au fil des tests et des rencontres entre les membres du jury, notamment lorsque des problèmes surgissent en manipulant les micro-capteurs. C'est ainsi que lors de la dernière réunion du jury, en septembre 2021, Roman intervient au nom de l'équipe technique qu'il pilote en proposant l'intégration d'un nouveau critère :

L'idée serait d'ajouter le nombre d'interventions qui ont été nécessaires pendant le déploiement pour déboguer différents problèmes ou effectuer des réinitialisations qui, pour certaines plateformes, arrivent assez souvent. [...] Je peux vous dire qu'il y a de grandes disparités d'une plateforme à l'autre. Vous avez des plateformes suspectes où vous vérifiez tous les matins qu'elles sont encore bien là. Ou si elles ont besoin de redémarrage. [...] Je pense que ça serait une bonne idée de rajouter ce genre de choses aux métriques de performance. (extrait réunion du jury)

- 42 L'intervenant rend ainsi compte d'une activité à laquelle s'attellent les travailleurs de l'institution : « déboguer ». Tester des artefacts est en effet une activité essentielle pour repérer les erreurs, les tracer, envisager leur résolution et maintenir les flux dans les chaînes de coopération (Besenval, 2020). Chaque bug implique une perte de données jusqu'à sa résolution et fragilise les possibilités de continuité et de mise en équivalence. L'activité de maintenance des objets est ainsi essentielle pour pérenniser les catégories fondées et s'assurer de leur tenue dans le temps (Denis & Pontille, 2020). Incrire le nombre d'interventions est alors imaginé comme une façon d'évaluer une autre dimension importante de la qualité des micro-capteurs dans la durée.

### Un autre regard sur l'exactitude

- 43 Le jury du concours va plus loin encore dans sa façon d'évaluer l'exactitude des micro-capteurs. De façon classique, l'exactitude des mesures produites par les micro-capteurs est jugée à l'aune de celles produites par des stations réglementaires. Le concours que nous avons observé ne fait pas exception, puisque tous les micro-capteurs engagés ont été installés sur des stations de référence (figure 3).

Figure 3 : micro-capteurs du concours installés sur une station de référence pour la mesure de l'air extérieur



Source : AirLab

- 44 Habituellement, cette comparaison tend à écraser la performance des micro-capteurs (Gabrys *et al.*, 2016). Ceux-ci ne pouvant pas s'appuyer sur les mêmes ressources

matérielles, humaines et cognitives que les stations réglementaires, l'exactitude de leurs mesures apparaît systématiquement comme très faible. Or, cet écrasement n'est pas souhaité par les organisateurs du concours :

Océane : Tu sais, je suis là depuis un petit moment, et j'ai toujours dit qu'il fallait éliminer les capteurs qui mesurent des niveaux de CO<sub>2</sub> pré-industriels ! Il n'y a pas de 350 PPM dans l'atmosphère, ça n'existe pas (rires).

Roman : Oui, je pense que certains d'entre eux ont des problèmes avec leur étalonnage ou la calibration de leurs algorithmes, mais ils ne seront pas pénalisés de toute façon. Notamment parce que cette année on additionne, on ne cherche pas uniquement les corrélations mais aussi les proximités des mesures. (extrait réunion du jury)

45 Dans la phase de sélection, les membres du jury proposent la disqualification de micro-capteurs comme nous l'avons vu précédemment. Dans cet extrait, Océane préconise avec humour de disqualifier un micro-capteur capable de mesurer des concentrations dignes d'une autre époque. En effet, les dernières traces d'une telle concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère datent du Pliocène, c'est-à-dire d'il y a plus de trois millions d'années. En ce sens, elle propose d'éliminer les capteurs dont la précision de la mesure serait aberrante. Roman, qui pilote les réunions, lui rappelle alors le choix qui a été fait de ne pas uniquement mesurer les corrélations entre la précision des micro-capteurs et celles des stations de référence pour ne pas trop pénaliser les micro-capteurs. Il affirme ainsi que les capacités métrologiques que le concours souhaite mettre en avant sont celles de l'activation d'un signal pour saisir des niveaux différents de particules et ensuite d'identifier des variations de pollution, indifféremment de l'exactitude de la mesure.

46 Ce choix s'explique de plusieurs façons. Premièrement, parce que le concours a pour objectif d'enclencher un processus de régulation, notamment en permettant un apprentissage collectif. Si le concours juge uniformément tous les micro-capteurs comme étant mauvais au plan de l'exactitude, il ne sera pas possible de créer un apprentissage commun. Cet apprentissage concerne tout d'abord les fabricants, car les membres du concours souhaitent stimuler leurs capacités métrologiques :

C'est important de faire un retour aux candidats [les fabricants]. Et pas de juste leur dire « vous êtes mauvais, désolé quoi ». On essaie de leur faire comprendre ce qui n'a pas été. » (Geoffrey, responsable du laboratoire de métrologie)<sup>15</sup>

47 Mais il concerne aussi le public des micro-capteurs. Lors d'une réunion du jury se pose la question de quels types d'informations le public serait à même de recevoir, notamment s'il serait capable d'entendre les différents niveaux de traitement des données possibles dans un micro-capteur. Cette interrogation met en exergue la volonté de l'institution de créer du lien avec les usager·ère·s de micro-capteurs par un apprentissage commun :

Roman : Oui, ce que je voulais dire c'est que même pour le grand public c'est bien. Et que nous commençons à l'exposer au sujet des différences de performances et de traitement de données, parce que comme ça (les gens) pourront être capables, enfin ils pourront plus facilement nous poser des questions quand ils viennent vers nous avec tel capteur, et nous dire « mon capteur est double ou triple ? ». On pourra leur dire ok, mais vous voyez, il y a ces niveaux et vous pouvez consulter les résultats du challenge, vous pouvez voir où le capteur est situé et on pourra commencer, je pense, une conversation avec le grand public, en rendant ces informations disponibles. (extrait réunion du jury)

- 48 Ne pas écraser les micro-capteurs est alors indispensable pour créer et maintenir un lien avec les fabricants et les usager·ère·s de micro-capteurs.
- 49 Deuxièmement, les organisateurs veulent inscrire le concours dans un cadre international. Ils choisissent une méthode d'évaluation de l'exactitude des micro-capteurs déjà utilisée au niveau européen, et qui a été élaborée par des chercheur·euse·s qui s'inscrivent dans des traditions scientifiques plus proches des sciences de l'environnement que des sciences météorologiques classiques.
- Vous auriez pu fabriquer votre propre barème pour évaluer l'exactitude ?
  - Geoffrey : Oui, mais certains auraient dit qu'on avait encore inventé un énième barème d'évaluation avec tous les biais que ça peut comporter... (sans compter) tout le travail que ça nous aurait demandé de le valider d'un point de vue scientifique. Donc on s'est basé sur la méthode SET (...). C'est une méthode qui est publiée depuis quelques années, mais qui est de plus en plus utilisée pour l'évaluation de capteurs au niveau européen.<sup>16</sup>
- 50 Ils utilisent ainsi une méthode déjà éprouvée par laquelle leurs résultats pourront s'inscrire dans un certain cadre commun d'évaluation des micro-capteurs. La méthode choisie s'appelle « Sensor Evaluation Toolbox » (SET). Publiée en 2017 dans la revue *Science of the Total Environment* (Fishbain *et al.*, 2017), elle a été élaborée dans le cadre d'un projet financé par l'Union Européenne<sup>17</sup>, par des chercheur·euse·s de nombreux pays (Israël, Norvège, Espagne, Angleterre, Ecosse, Serbie, Slovaquie, République Tchèque et Autriche). Nous pouvons distinguer trois grands mondes de recherche impliqués dans cette méthode : le monde de l'épidémiologie et de la toxicologie qui étudie l'exposition des populations à la pollution ; le monde de la recherche sur l'air qui s'intéresse à la diffusion des polluants dans l'atmosphère ; et enfin le monde de l'ingénierie informatique, incarné par Barak Fishbain, l'auteur principal de l'article. Ce chercheur israélien se revendique de l'*enviromatics*, un domaine émergent qui étudie les environnements naturels à partir de méthodes d'intelligence artificielle.
- 51 Les auteur·rice·s de la *méthode SET* portent un regard critique sur les infrastructures réglementaires de surveillance de la qualité de l'air. Ils les jugent incapables de saisir les variations spatio-temporelles de la pollution, c'est-à-dire de mesurer finement les fluctuations des niveaux de qualité de l'air dans une pluralité de contextes pour évaluer l'exposition de populations précises (les habitant·e·s de telle rue, les usager·ère·s de tel parc, etc.) à la pollution de l'air. Selon eux, les micro-capteurs rendent possible un enrichissement et une plus grande distribution de la surveillance de la qualité de l'air, en permettant de faire « des analyses d'exposition, de l'éducation, d'identifier et de caractériser des foyers de pollution, de compléter la surveillance officielle, et de faire de la science citoyenne » (Fishbain *et al.*, 2017).
- 52 La *méthode SET* est statistique : elle comprend un ensemble de métriques permettant de comparer les mesures de micro-capteurs avec des mesures issues de stations réglementaires. Elle vise à dépasser les méthodes statistiques communément utilisées par la science réglementaire, car les métriques mobilisées traditionnellement ne rendent pas justice aux micro-capteurs lors du calcul de leurs performances. Les auteur·trice·s tentent en particulier de dépasser l'erreur quadratique moyenne, qui calcule la moyenne au carré des « erreurs », c'est-à-dire des écarts entre les mesures du micro-capteur et celles de la station réglementaire. En considérant le carré de ces écarts, cette métrique accentue considérablement le poids des erreurs de mesure attribuées aux micro-capteurs. Les chercheur·euse·s ajoutent donc de nouvelles métriques destinées à évaluer la capacité des micro-capteurs à mesurer des variations

de pollution et non des valeurs absolues. Pour ce faire, ils-elles ajoutent plusieurs coefficients de corrélations (Kendall, Pearson, Spearman) pour faire émerger une pluralité de variations temporelles entre les micro-capteurs et les stations. Si un capteur se trompe systématiquement sur la mesure de la concentration d'un polluant, mais qu'il saisit correctement des variations de concentration du même polluant, il se trouve ainsi beaucoup mieux évalué.

- 53 En adoptant cette méthode statistique, les organisateurs du concours réduisent le fossé métrologique qui sépare habituellement les micro-capteurs des stations réglementaires. Ils reconnaissent ainsi de nouvelles qualités aux micro-capteurs : ceux-ci peuvent mesurer des variations de pollution, et ainsi permettre l'identification de sources de pollution.

## Une reconnaissance de la qualité des micro-capteurs

- 54 Le jury se démarque ainsi du discours selon lequel les micro-capteurs seraient inaptes à participer à la surveillance de la qualité de l'air. Ses membres expliquent avoir « pour la première fois décerné des prix pour des micro-capteurs de mesure en air extérieur, dont les performances affichent des améliorations notables ». Si des disparités entre les polluants mesurés sont établies, la mesure du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et des particules fines (PM 2.5 et PM 1) sont particulièrement bonnes pour certains micro-capteurs, à l'instar du lauréat (voir encadré).

### **Le micro-capteur lauréat de la catégorie « Surveillance de l'air extérieur »**

Le Ethera NEMo extérieur a reçu le prix du meilleur micro-capteur pour réaliser de la surveillance extérieure. Sa note générale est de 4,5/5. Il mesure des PM1, des PM2.5, des PM10, ainsi que la température et l'humidité. Ses données sont stockées en France. Le jury souligne « son excellente qualité » pour les PM1, et ses « très bonnes performances » pour les PM2.5 et 10. Il obtient également un très bon score pour l'utilité et l'utilisabilité, même si sa grande taille le pénalise pour les applications de sensibilisation. En effet, ce micro-capteur était inscrit dans la catégorie « surveillance de l'air extérieur » mais aussi dans celle de « sensibilisation à la qualité de l'air extérieur ». De plus, le jury souligne que « son prix est raisonnable pour les applications de surveillance, mais relativement élevé pour de la sensibilisation ».

Ses notes pour un usage de surveillance extérieure sont de 8,7/10 pour l'exactitude, de 9/10 pour l'utilité, de 7,5/10 pour l'usabilité et de 6,5/10 pour le coût.

- 55 Tous les micro-capteurs sont comparés sous la forme de fiches consultables en ligne<sup>18</sup>. Chacune d'elles traduit des qualités spécifiques aux micro-capteurs et toujours en regard des catégories dans lesquelles ils étaient inscrits. Chaque micro-capteur ayant résisté aux procédures de test se trouve alors doté de certaines qualités pour la réalisation des usages définis préalablement (surveiller, piloter ou sensibiliser).
- 56 Lors de la remise des prix, Vicente Franco, *policy officer* chargé de l'environnement à la commission européenne, reconnaît que la législation actuelle ne permet pas de saisir l'exposition des habitant·e·s aux polluants. Il annonce que la commission européenne est en train de réviser les standards techniques et légaux de la législation sur l'air, en

reconnaissant « les progrès de la qualité des micro-capteurs pour intégrer les données qu'ils produisent et compléter les données des stations » (extrait remise des prix).

- 57 Le concours rend ainsi plus compatibles les mesures des micro-capteurs et celles des stations réglementaires. Au lieu de juger les qualités des premiers du seul point de vue des propriétés des seconds, un dispositif d'évaluation plus large est élaboré qui met davantage en valeur leurs qualités propres. Pourtant, cette mise en valeur ne conduit pas l'instance francilienne à accepter une plus grande distribution de la surveillance. À l'occasion du concours, elle limite en effet la façon dont les individus et les organisations peuvent participer à la surveillance de la pollution.

## Les limites d'une surveillance distribuée

- 58 Si AirParif et son jury élargit ses conceptions de la qualité métrologique des micro-capteurs, elle restreint toutefois l'usage qui peut en être fait. Cela passe par l'élaboration de conventions métrologiques, c'est-à-dire de plusieurs ensembles de règles spécifiant les qualités que doit avoir un capteur pour que ses mesures puissent légitimement servir à un usage particulier (connaître son environnement, obtenir réparation, etc.). Ces conventions dessinent ainsi une conception restrictive de la redistribution de la surveillance de l'air.

## Réglementer, sensibiliser, piloter

- 59 Au début du concours, les organisateurs établissent trois finalités possibles de la mesure de la qualité de l'air par les micro-capteurs : réglementer (en établissant si des seuils légaux de pollution ont été dépassés), sensibiliser (en informant les individus de la qualité de l'air auquel ils sont exposés) et piloter (en permettant à un site recevant du public de gérer la qualité de l'air auquel sont exposés les usager·ère·s). L'observation du concours montre que ces trois finalités sont associées à autant de conventions liant les qualités des micro-capteurs à des définitions de la surveillance et à des acteur·rice·s spécifiques.
- 60 La convention de surveillance réglementaire envisage le déploiement des micro-capteurs du point de vue d'une confrontation aux seuils de pollution fixés par la loi. Dans ce cas, la surveillance établit si la qualité de l'air à laquelle les habitant·e·s ont droit, uniformément, est ou n'est pas respectée, afin que des sanctions administratives ou juridiques s'en suivent éventuellement. Cette convention est exigeante sur le plan métrologique, puisqu'elle impose aux micro-capteurs de pouvoir justifier de qualités métrologiques très proches de celles des stations réglementaires. Il s'agit en effet de pouvoir identifier avec exactitude des niveaux absolus de pollution, et non pas seulement des variations. Ces exigences permettent d'envisager une circulation des données dans de nombreuses arènes et une comparaison avec des mesures réalisées dans toute l'Union Européenne. Pour le jury du concours, cette exigence métrologique correspond à des micro-capteurs relativement chers (plusieurs milliers d'euros) qui seraient voués à intégrer les infrastructures de surveillance réglementaire. En l'état actuel de la législation, cette convention n'est pas encore accessible aux micro-capteurs, mais elle est de plus en plus envisagée par les institutions - comme le montrent les propos du *policy officer* cités plus haut.

61 La sensibilisation correspond à une convention bien différente. Le micro-capteur est envisagé comme permettant aux individus d'être mieux informés et sensibilisés au problème de la pollution de l'air. L'usage du micro-capteur est conçu de façon strictement individuelle et comportementale – au sens où il est attendu des particuliers qu'ils prennent conscience, grâce au micro-capteur, des sources de pollution dans leur environnement immédiat, et qu'ils modifient leurs comportements en fonction. Cet ingénieur membre du jury nous l'explique également :

Classiquement, on arrive avec des plaquettes, des petits films, ou on fait une pièce de théâtre à destination des scolaires... (Le micro-capteur) permet d'avoir un support supplémentaire, un peu ludique, que les citoyens peuvent toucher directement. (...) On a le capteur, on peut tester, on peut expérimenter, on peut se balader avec... On peut aller à la découverte de l'air, de ses déterminants, des différentes sources de pollution. Et on peut espérer à terme, pour certains - pas pour tous mais pour une petite partie - que ça puisse déboucher sur une prise de conscience, voire un changement de comportement. (Emmanuel, ingénieur d'études dans une AASQA, membre du jury)<sup>19</sup>

62 Cette convention prolonge la gouvernance des conduites, au sens où il est attendu des micro-capteurs qu'ils rendent les individus réflexifs sur les effets collectifs de leurs actions individuelles (Dubuisson-Quellier *et al.*, 2016). Les membres du jury attendent de cette réflexivité qu'elle débouche sur des changements de comportement individuels : ne plus s'engager dans certaines activités polluantes (cuisine sans aération, feux de cheminée, etc.) ou mettre en place les « bons gestes » face à la pollution (éviter un axe routier fréquenté, aérer l'intérieur du logement, etc.). Ils/elles construisent ainsi une deuxième convention pour laquelle les qualités métrologiques sont moins décisives. L'identification de variations de niveaux de pollution est dans cette convention tout-à-fait suffisante pour produire des mesures, car elles ne sont pas destinées à circuler au-delà des contextes dans lesquels elles sont produites. La potentielle extension de la distribution de la surveillance de la qualité de l'air se réalise alors dans l'objectif de permettre la responsabilisation des individus, sans que les mesures ne puissent conduire à autre chose qu'à des changements de comportements.

63 La dernière convention est apparue lors de la première édition du concours en 2019. Elle concerne uniquement les bâtiments qui reçoivent du public (écoles, mairies, entreprises) ou des sites en chantier. Elle s'inscrit dans la mouvance des bâtiments et autres villes « intelligentes », dans lesquelles les technologies numériques sont une opportunité pour rationaliser la gestion de l'énergie, l'occupation des espaces ou l'entretien des bâtiments. Dans cette perspective, la qualité de l'air est une variable contrôlable à l'aide de micro-capteurs. En produisant des mesures en continu, ces appareils peuvent être connectés à des systèmes d'automatisation, tels que l'ouverture et la fermeture automatique des systèmes d'aération ou l'arrosage de sols de chantiers trop poussiéreux. Le jury du concours établit des exigences métrologiques moins fortes que pour la surveillance réglementaire, puisque

ces micro-capteurs ne visent pas l'équivalence aux appareils de référence mais une forte cohérence, tout en fonctionnant en continu et en ayant la capacité d'interagir avec le système de domotique et de remonter l'information rapidement et facilement à l'utilisateur et/ou le gestionnaire (règlement du concours).

64 Là encore, les mesures n'ont pas vocation à circuler au-delà d'un périmètre très restreint et sont cantonnées à des changements de comportement.

- 65 Ces trois conventions organisent donc précisément la redistribution de la surveillance de la qualité de l'air, en associant des publics, des usages légitimes et des qualités de micro-capteurs. Par ces conventions, l'instance francilienne cherche à garder le monopole de la production des mesures susceptibles de donner lieu à des sanctions ou des demandes de réparation.

### Des frontières entre les conventions

- 66 Les membres du jury défendent fermement la frontière entre une surveillance réglementaire et une surveillance de sensibilisation. Ils-elles excluent la possibilité que des riverains puissent avoir recours à des micro-capteurs pour obtenir une reconnaissance juridique d'un problème de pollution de l'air. Ils-elles considèrent que les technologies ne sont pas assez mûres pour que des particuliers puissent remettre en question les mesures réglementaires, ou tout du moins contribuer à l'identification de sources de pollution ou l'évaluation de préjudices :

On va dire que je regarde ça de manière un peu distante parce qu'il faut avoir un œil sur ce qui se fait, mais je pense que la technologie, elle n'est pas suffisamment mûre et je ne suis pas sûr qu'elle puisse l'être un jour pour que ça puisse remplacer des analyseurs. (Tony, responsable technique dans une AASQA et membre du jury)<sup>20</sup>

- 67 La frontière que les membres du concours établissent nettement entre les deux conventions tranche avec l'ouverture métrologique qu'ils ont manifestée pendant le concours. En élargissant leur conception de l'exactitude, ils avaient en effet reconnu la qualité métrologique de plusieurs capteurs qui semblaient pouvoir prétendre à l'identification de niveaux ou de sources de pollution. Dans les entretiens, ils rejettent la possibilité que des micro-capteurs puissent servir à des publics pour se mobiliser ou alerter les autorités. À aucun moment ils n'envisagent d'intégrer ces usages dans l'une des trois conventions identifiées ou dans une nouvelle convention. AirParif et ses experts limitent ainsi fortement la redistribution de la surveillance : soit les micro-capteurs sont incorporés dans l'infrastructure officielle, et ils pourront alors contribuer à la surveillance réglementaire ; soit ils sont déployés indépendamment des autorités, et leurs mesures seront vouées à ne pas circuler au-delà des contextes très spécifiques dans lesquels elles sont produites.
- 68 Cette approche restrictive de la distribution de la surveillance doit sans doute beaucoup à la défense du monopole de production des mesures légitimes. Le fait que les associations de lutte contre la pollution n'aient pas été intégrées au concours témoignait déjà d'une volonté d'écarter des formes de surveillance plus distribuées vers les citoyen·nes. Les possibilités d'une justice environnementale citoyenne et attentive à des publics vulnérables semble alors impossible. Pourtant, aux États-Unis, les micro-capteurs ont été un levier de justice environnementale au sein des institutions réglementaires en permettant l'identification de groupes sociaux particulièrement vulnérables à la pollution de l'air (Parasie & Dedieu, 2019). L'absence d'un principe équivalent en France (Kalaora & Vlassopoulos, 2013), participe à affaiblir le rôle des publics mobilisés dans la surveillance de la qualité de l'air. Toutefois, la capacité des autorités à maintenir une frontière étanche entre les deux conventions n'est pas garantie. Les résultats du concours ont reconnu la valeur de plusieurs micro-capteurs du point de vue de la surveillance de l'air extérieur et ils sont donc susceptibles d'être déployés dans ce sens par des publics mobilisés.

## Conclusion

- 69 Cet article porte sur la façon dont les instances chargées de la surveillance de la qualité de l'air réagissent face à la perspective d'une surveillance de l'air plus distribuée, rendue possible par l'essor des micro-capteurs. À travers l'ethnographie d'un concours de micro-capteurs organisé en 2021 par AirParif, nous avons enquêté sur les qualités métrologiques que cette instance attribue à ces instruments, et jusqu'à quel point elle envisage que leurs utilisateur·rices contribuent à la surveillance de la qualité de l'air. Autant de questions aujourd'hui très peu étudiées, non seulement en raison de la fermeture des institutions, mais aussi parce que la recherche actuelle sur la pollution de l'air privilégie la perspective des mobilisations (Gabrys, 2016 ; Osadtchy, 2016 ; Ottinger, 2010).
- 70 Deux résultats ressortent de cette enquête. Premièrement, alors qu'elle est confrontée à l'émergence de pratiques de mesures non-standardisées, elle modifie ses façons d'envisager la qualité des mesures de la pollution, en reconnaissant des qualités spécifiques aux micro-capteurs et en leur faisant ainsi une place comme potentiels instruments de surveillance de la qualité de l'air. Elle crée ainsi de la continuité et de la pluralité dans son horizon commun de la mesure. Ce premier résultat, qui n'a pas été documenté jusqu'à présent, est lié à la diffusion de plus en plus grande des micro-capteurs, qui soumet les autorités de surveillance à des débordements. Il s'explique aussi par les transformations internes aux sciences environnementales, qui ont mis à l'agenda réglementaire le thème de la mesure de l'exposition aux polluants.
- 71 Le second résultat correspond à une dynamique contraire. Dans le même temps, l'instance francilienne limite la distribution de la surveillance en spécifiant de façon restrictive les qualités que doit avoir un micro-capteur pour que ses mesures puissent légitimement servir à la reconnaissance d'un air pollué. En associant de façon préférentielle l'usage des micro-capteurs à la convention de sensibilisation, elle écarte les mobilisations qui chercheraient à obtenir la reconnaissance d'un problème de pollution. Or les micro-capteurs ouvrent de nouvelles possibilités de décrire le monde et de le rendre problématique (Gabrys *et al.*, 2016), qui vont bien au-delà de l'adoption de bons gestes par des citoyen·nes isolé·es les un·es des autres.
- 72 Cette enquête sur la distribution de la surveillance de l'air gagnerait à être prolongée, au moins de deux manières. D'abord, le concours que nous avons observé ne constitue pas la seule instance de régulation des micro-capteurs. Il existe d'autres instances, notamment au niveau européen, dont le poids est plus important sur la régulation des micro-capteurs et de leurs usages étant donné leurs capacités réglementaires. Ensuite, les autorités françaises n'ont pas à elles seules le pouvoir d'imposer les conventions que nous avons identifiées. Il est important d'examiner aussi comment les publics mobilisés sont susceptibles de contester ces conventions et d'en défendre de nouvelles.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- Anses, (2022). Utilisation des microcapteurs pour le suivi de la qualité de l'air intérieur et extérieur, Maisons Alfort, Anses.
- Barraud de Lagerie, P. (2019). *Les patrons de la vertu : De la responsabilité sociale des entreprises au devoir de vigilance*. Rennes : PUR.
- Besenval, M. (2020). Assurer la qualité d'un objet inachevé. *Rezeaux*, (224), 85-110.
- Borraz, O. (2008). *Les politiques du risque*. Paris : Presses de Sciences Po. <https://www.cairn.info/les-politiques-du-risque--9782724610741.htm>
- Boutaric, F. (2020). *L'art de gouverner la qualité de l'air : L'action publique en question*. Rennes : PUR.
- Calvillo, N. (2018). Political airs: From monitoring to attuned sensing air pollution. *Social Studies of Science*, 48(3), 372-388. <https://doi.org/10.1177/0306312718784656>
- Charvolin, F., Frioux, S., Kamoun, L., Mélard, F. & Roussel, I. (2017). Un air familial ? : Sociohistoire des pollutions atmosphériques. Paris : Presses des Mines. <http://books.openedition.org/pressesmines/1871>
- Collins, H. M. (1992). *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice* (New édition). Chicago: University of Chicago Press.
- Denis, J. & Pontille, D. (2020). Maintenance et attention à la fragilité. *SociologieS*. <http://journals.openedition.org/sociologies/13936>
- Desrosières, A. (2007). Les qualités des quantités. Comment gérer la tension entre réalisme et conventionnalisme ? In M. de Fornel & C. Lemieux (éd.), *Naturalisme versus constructivisme ?* (pp. 271-292). Paris : Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales. <http://books.openedition.org/editionsehess/20327>
- Dubuisson-Quellier, S. et al. (2016). *Gouverner les conduites*. Paris : Les Presses de Sciences Po.
- Fishbain, B. et al. (2017). An evaluation tool kit of air quality micro-sensing units. *Sci Total Environ*, (575), 639-648. <https://doi.org/10.17863/CAM.9573>
- Gabrys, J. (2016). *Program Earth: Environmental Sensing Technology and the Making of a Computational Planet*. Univ Of Minnesota Press.
- Gabrys, J. & Pritchard, H. (2018). Just Good Enough Data and Environmental Sensing : Moving beyond Regulatory Benchmarks toward Citizen Action. *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, 13, 4-14. <https://doi.org/10.2902/1725-0463.2018.13.art2>
- Gabrys, J., Pritchard, H. & Barratt, B. (2016). Just good enough data: Figuring data citizenships through air pollution sensing and data stories. *Big Data & Society*, 3(2). <https://doi.org/10.1177/2053951716679677>
- Jas, N. & Boudia, S. (2019). *Gouverner un monde toxique*. Editions QUAE GIE.
- Knorr Cetina, K. (1999). *Epistemic Cultures. How the Sciences Make Knowledge*. Harvard University Press.
- Mallard, A. (1998). Compare, Standardize and Settle Agreement: On Some Usual Metrological Problems. *Social Studies of Science*, 28(4), 571-601.

- Morawska, L. *et al.* (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?. *Environment international*, 116, 286-299.
- Osadtchy, C. (2016). Mesurer la pollution : de la prévention des risques environnementaux à la territorialisation par l'action publique environnementale. Le cas de Fos-sur-Mer. *Terrains & travaux*, 28(1), 63-83. <https://doi.org/10.3917/tt.028.0063>
- Ottinger, G. (2010). Buckets of Resistance: Standards and the Effectiveness of Citizen Science. *Science, Technology, & Human Values*, 35(2), 244-270. <https://doi.org/10.1177/0162243909337121>
- Parasie, S. & Dedieu, F. (2019). À quoi tient la crédibilité des données citoyennes ? L'institutionnalisation des capteurs citoyens de pollution de l'air en Californie. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 13(4). <http://journals.openedition.org/rac/2554>
- Rumpala, Y. (2004). De l'objectivation des risques à la régulation des comportements. *Rezeaux*, (126), 177-212.
- Snyder, E.G. *et al.* (2013). The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring. *Environmental Science & Technology*, 47(20), 11369-11377. <https://doi.org/10.1021/es4022602>
- Thévenot, L. (2020). Essai sur les objets usuels : Propriétés, fonctions, usages. In B. Conein & N. Dodier (éd.), *Les objets dans l'action : De la maison au laboratoire* (pp. 85-111). Paris : Éditions de l'EHESS. <http://books.openedition.org/editionsehess/9894>
- Weissert, L. F. *et al.* (2017). Use of a dense monitoring network of low-cost instruments to observe local changes in the diurnal ozone cycles as marine air passes over a geographically isolated urban centre. *Science of The Total Environment*, (575), 67-78.

## NOTES

1. L'OMS estime que la pollution de l'air tue chaque année plus de sept millions de personnes dans le monde, et que 99 % de la population mondiale respire un air dont la composition en polluants dépasse les recommandations sanitaires. Cf. <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>.
2. Selon le cabinet d'étude de marché « Market Research Future », le marché mondial des micro-capteurs de pollution de l'air devrait peser 8,5 milliards de dollars (USD) en 2027, avec un taux de croissance annuel de 10,5 % de 2021 à 2027. Cf. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/air-quality-sensor-market-10699>.
3. Les matériaux ont été recueillis dans le cadre d'enquêtes ethnographiques que nous menons en France et aux Etats-Unis et dans lesquelles nous suivons les usages des micro-capteurs et de leurs données dans différents contextes tant institutionnels que citoyens. Ces enquêtes consistent à suivre des mobilisations citoyennes, des projets participatifs alliant les institutions de surveillance et divers publics ou encore l'activité courante des institutions de surveillance de la qualité de l'air. Des matériaux de ces enquêtes seront mobilisés pour illustrer certains de nos propos.
4. Créé en 2016, le Airlab de Airparif vise à « évaluer et promouvoir l'innovation permettant d'améliorer la qualité de l'air sur le territoire mais aussi de partager ces retours d'expériences ». Un consortium d'acteurs publics et privés pilote la stratégie du Airlab, qui réunit des organes étatiques (Préfecture de Région), des Collectivités (Région, Ville de Paris et Métropole), un syndicat (Île-de-France Mobilité), et des entreprises (SNCF, Véolia, Icade, EDF et Engie). Airparif, est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air Francilienne.
5. Entretien réalisé à Paris le 7 octobre 2020.

6. Les travaux du groupe d'experts sont disponibles en ligne : [https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en)
  7. Entretien réalisé à Paris, le 22 février 2021
  8. Entretien réalisé le 15 septembre 2021 en ligne.
  9. Entretien réalisé le 15 septembre 2021 en ligne. Un récent rapport de l'ANSES recense les nombreuses actions réalisées avec des micro-capteurs en France (2022)
  10. Un récent rapport de l'ANSES recense les nombreuses actions réalisées avec des micro-capteurs en France (2022)
  11. Entretien réalisé le 6 septembre 2021 en ligne.
  12. Extrait de la présentation officielle du concours.
  13. Entretien réalisé à Paris, le 22 février 2021.
  14. C'est en effet un autre organisme, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), qui en est missionné par les pouvoirs publics.
  15. Entretien réalisé à Paris, le 22 février 2021.
  16. Geoffrey, responsable du laboratoire de métrologie, membre du jury, entretien réalisé à Paris, le 22 février 2021.
  17. Projet CITI-SENSE (2012-2016).
  18. <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsFR/>
  19. Entretien réalisé le 6 septembre 2021 en ligne.
  20. Entretien réalisé le 15 septembre 2021 en ligne.
- 

## RÉSUMÉS

Cet article porte sur la façon dont les instances chargées de la surveillance de la qualité de l'air réagissent face à la perspective d'une surveillance de l'air plus distribuée, rendue possible par l'essor des micro-capteurs. Par le cas d'un concours de micro-capteurs organisé par l'instance francilienne, nous analysons le travail métrologique déployé par des experts pour faire face à l'émergence d'objets non-standardisés. Deux résultats sortent de cette enquête. Tout d'abord, l'instance modifie ses critères métrologiques pour trouver des qualités aux micro-capteurs et les envisager comme de potentiels outils de la surveillance de la qualité de l'air. Cependant, elle restreint les possibilités de distribution de la surveillance de l'air en assignant des usages légitimes pour chaque micro-capteurs.

The article examines how air quality monitoring authorities react to the prospect of more distributed air monitoring, made possible by the rise of microsensors. Through the case of a microsensor competition organised by the Ile-de-France authority, we analyse the metrological work deployed by experts to face the emergence of non-standardised objects. Two results emerge from this investigation. First, the authority modifies its metrological criteria to find qualities in microsensors and to consider them as potential tools for air quality monitoring. However, it restricts the distribution possibilities of air monitoring by assigning legitimate uses for each microsensor.

Este artículo trata de las maneras en que reaccionan los organismos de monitoreo de la calidad del aire frente a la posibilidad de un control del air más distribuido y posibilitado por el auge de los micro-sensores. Con el caso de un concurso de micro-sensores organizado por un organismo

oficial de monitoreo francés, analizamos el trabajo metrológico de expertos frente al surgimiento de objetos no-estandarizados. Destacamos dos resultados de esa investigación. El organismo modifica sus criterios metrológicos para encontrar calidades a los micro-sensores y preverlos como potenciales herramientas del monitoreo del aire. Sin embargo, el organismo limita las posibilidades de monitoreo del aire asignando usos legítimos por cada micro-sensores.

## INDEX

**Mots-clés** : pollution de l'air, capteur numérique, science règlementaire, qualité environnementale, régulation des marchés

**Keywords** : air pollution, digital sensor, regulatory science, environmental quality, market regulation

**Palabras claves** : contaminación del aire, micro-sensor, ciencia reguladora, calidad medio ambiental, regulación de mercados

## AUTEURS

### JEAN-BAPTISTE GARROCCQ

Doctorant au medialab, ses recherches portent sur le monitoring environnemental, la circulation de nouveaux objets techniques et la reconfiguration des espaces de mesure. Sa thèse s'intitule « Faire public avec des données : une étude comparative des mobilisations contre la pollution de l'air à Paris et la Vallée de l'Arve ». Il mène également des recherches sur la circulation des œuvres d'art, notamment dans des dispositifs de prêts.

ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4933-8101>

Adresse : medialab, Sciences-Po, 27 rue Saint-Guillaume, FR-75007 Paris (France).

Courriel : [jeanbaptiste.garrocq\[at\]sciencespo.fr](mailto:jeanbaptiste.garrocq[at]sciencespo.fr)

### SYLVAIN PARASIE

Professeur de sociologie au médialab de Sciences Po. Ses recherches portent sur la transformation des médias et du débat public en lien avec les technologies numériques. Il explore également la façon dont le numérique contribue au renouvellement des méthodes d'enquête en sciences sociales

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3976-2462>

Adresse : medialab, Sciences-Po, 27 rue Saint-Guillaume, FR-75007 Paris (France).

Courriel : [sylvain.parasie\[at\]sciencespo.fr](mailto:sylvain.parasie[at]sciencespo.fr)