

Airparif

dossier

Novembre 2023

airparif.fr

#09

Les microcapteurs,
une solution d'avenir ?



Association à but non lucratif, loi de 1901
7 rue Crillon 75004 PARIS / +33 1 44 59 47 64
www.airparif.fr

Directeur de la publication : Philippe Quénel
Directrice générale : Karine Léger
Directeur de la communication : Pierre Pernot
Rédactrice en chef : Camille Martin
Maquette et infographies : Stéphanie Fraincart
Crédits photo : Airparif
(toutes les illustrations sont sous licence CC BY-NC)

Airparif est une association cofinancée de manière équilibrée par des subventions de l'État, des collectivités territoriales et des acteurs économiques, et des missions d'expertise.

Pour leurs contributions à ce dossier, Airparif tient à remercier Michel Gerboles, responsable du laboratoire pour l'évaluation des microcapteurs pour la surveillance de la qualité de l'air au Centre commun de recherche (JRC) de la Commission européenne ; le Dr Subramanian, chef de secteur qualité de l'air au Centre d'étude de la science, de la technologie et de la politique (CSTEP) ; Fabien Squinazi, médecin biologiste et président de la Commission spécialisée « Risques liés à l'environnement » du Haut conseil de la santé publique ; Henry Burrigde, maître de conférences à l'Imperial College de Londres ; Adisorn Lertsinsruttavee et Kanchana Kanchanasut, chercheurs à l'Institut asiatique de technologie ; Guillaume Salque-Moreton, chef de projet à Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ; Emmanuelle Durand et Amandine Paillat, de l'Unité d'évaluation des risques liés à l'air à l'Anses.



Le microcapteur, à utiliser sans modération ?

Ce dossier intitulé « Microcapteurs, une solution d'avenir ? » a pour vocation de présenter un phénomène qui s'inscrit dans l'air du temps. Tout d'abord, que sont les microcapteurs ? L'explication est détaillée en texte et en image avant d'aborder un panorama de ses divers usages possibles et ce, dans différents contextes. Au vu de leur nombre important et de leurs multiples utilisations, des projets d'évaluation des performances de ces instruments sont menés en France, aux États-Unis et au Ghana. En se concentrant sur les pays en développement, le Dr Subramanian, scientifique, explique en quoi le climat d'un pays, sa situation économique sont des facteurs à prendre en compte dans l'emploi des microcapteurs en air extérieur.

Par ailleurs, un projet AIRLAB met en lumière un autre domaine d'utilisation des microcapteurs, la mesure de la qualité de l'air intérieur (QAI). À ce sujet, le Dr Squinazi, médecin biologiste, complète ce propos en exposant l'intérêt des microcapteurs dans le suivi de la QAI.

Autre utilisation des microcapteurs, la sensibilisation des

citoyens à la pollution de l'air. Sur le terrain, Guillaume Salque-Moreton présente le projet de captothèque déployé par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. La sensibilisation peut aussi passer par un rôle de système d'alerte des incendies via les microcapteurs.

Enfin, l'Anses révèle la pertinence de l'utilisation de microcapteurs afin d'évaluer son exposition individuelle aux différentes sources de pollution.

Reste que ces divers usages des microcapteurs possèdent un coût d'achat, d'utilisation mais aussi environnemental. Est-ce alors un outil si bon marché ? Malgré son prix d'achat généralement abordable, le microcapteur appelle de nombreuses compétences pour l'obtention de données fiables et utilisables. Entre les composants électroniques issus de terres rares, l'extraction de métaux, la durée de vie limitée, la question de l'impact environnemental des microcapteurs se pose.

Enfin, en guise de conclusion, ce dossier résume les avantages et les limites de l'utilisation des microcapteurs.

Anatomie d'un microcapteur

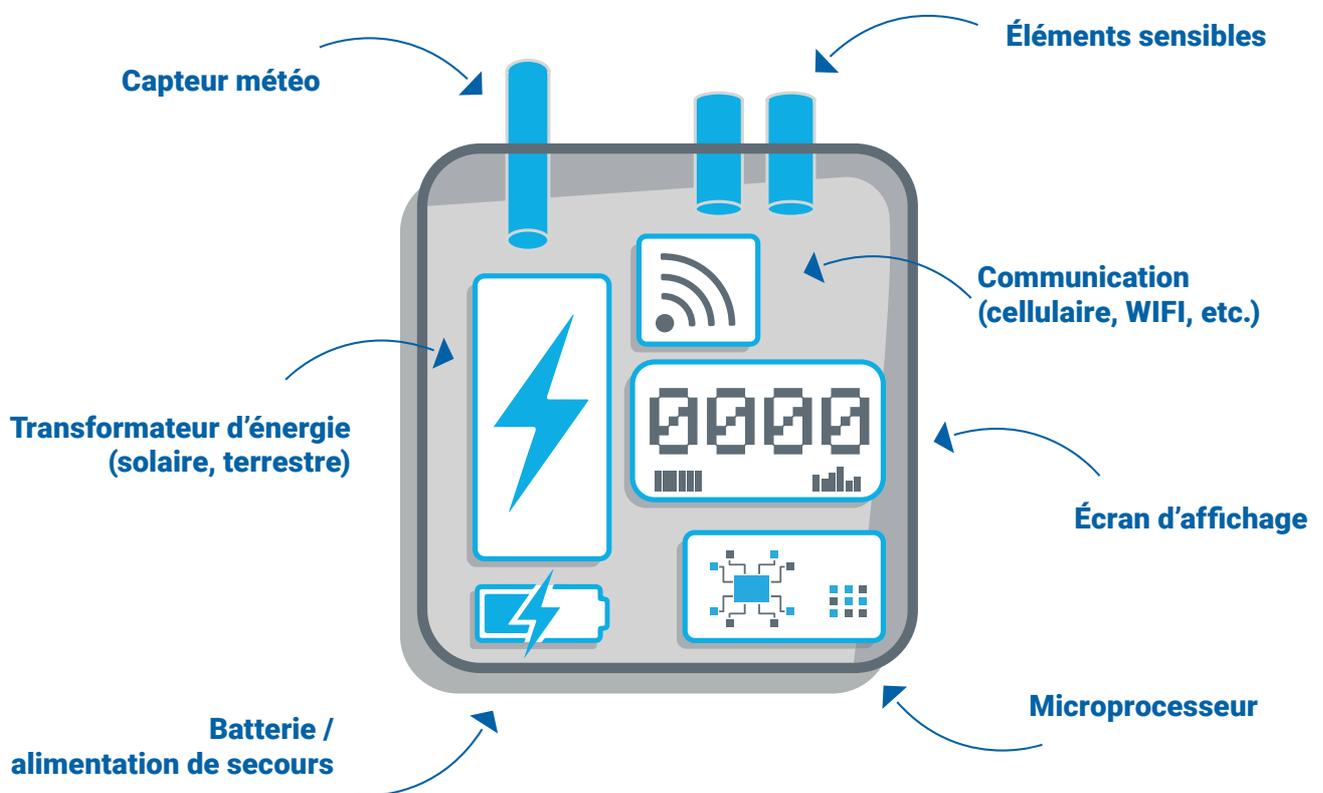
Par son faible encombrement et son bas coût, le microcapteur se distingue des appareils dits de référence dans le domaine de la mesure de la qualité de l'air. Ces caractéristiques font de lui un instrument relativement simple à transporter afin de mesurer des polluants de l'air.

Le microcapteur, ou « système-capteur », terme officiel utilisé par l'Association française de normalisation (Afnor) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM), regroupe une variété de constituants. Il est la combinai-

son d'au moins un capteur et d'un système électronique global. Le capteur est composé d'un élément sensible à un polluant particulier et d'un logiciel grâce auquel les données mesurées sont restituées en une indication de la concentration

du polluant en question. Chaque capteur mesure un ou plusieurs composants de l'air, parmi lesquels, les particules, le dioxyde d'azote, les composés organiques volatils et le dioxyde de carbone.

Composants typiques d'un microcapteur de qualité de l'air



La surveillance réglementaire en France et en Europe

En France, la surveillance de la qualité de l'air est confiée par la loi à des associations agréées et indépendantes comme Airparif. La surveillance repose sur un dispositif d'outils de mesure complémentaires : des stations permanentes et temporaires, ainsi que la modélisation pour disposer d'une couverture multipolluants spatiale et temporelle, assurant la fiabilité des données de polluants de l'air mesurées et produites. Ces outils et la qualité des données répondent à des exigences réglementaires, ce qui n'est pas le cas des microcapteurs.

Les stations de mesure

Elles peuvent mesurer un ou plusieurs polluants, en continu ou ponctuellement, de manière automatique ou par des prélèvements suivis d'analyses en laboratoire. Les stations fixes sont essentielles pour garantir une mesure de qualité comparable d'une région et d'un pays à l'autre. On en distingue

deux types : les stations de fond, éloignées des sources de pollution, notamment des voies de circulation, et les stations à proximité du trafic ou des zones industrielles. Cette classification est valable pour toute l'Union européenne.

La modélisation

Cette technique mathématique

permet d'estimer les niveaux de polluants en tout point d'un territoire donné pour des périodes passées, présentes ou futures, grâce notamment à des paramètres météo, topographiques et des informations sur les sources d'émissions. La modélisation est indissociable des mesures réalisées dans les stations.

À l'avenir, quelle place pour les microcapteurs dans les textes réglementaires ?

LE REGARD DE L'EXPERT

RESPONSABLE DU LABORATOIRE POUR L'ÉVALUATION DES MICROCAPTEURS POUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR AU CENTRE COMMUN DE RECHERCHE (JRC) DE LA COMMISSION EUROPÉENNE, **MICHEL GERBOLES** DONNE UN ÉCLAIRAGE.

“ Conformément aux directives sur la qualité de l'air ambiant, les États membres ont pour obligation d'évaluer la qualité de l'air ambiant. Pour ce faire, ils peuvent utiliser diverses méthodes, à savoir des mesures fixes, la modélisation, l'évaluation objective et des mesures indicatives. Les systèmes de capteurs qui seront retenus à l'avenir devraient répondre aux objectifs de qualité des données des mesures indicatives fixés par la directive sur la qualité de l'air ambiant. Un groupe de travail du

Comité européen de normalisation (CEN) s'occupe actuellement des spécifications techniques pour la classification des capteurs de gaz et de particules en fonction des objectifs de qualité des données exigés. La Commission européenne prévoit d'encourager les efforts de normalisation du CEN à l'avenir, par exemple en finançant des études de validation ou des procédures visant à garantir la qualité des données tout au long de la durée de vie d'un capteur. ”

Usages divers pour situations variées

Appareil de mesure électronique, miniaturisé, connecté, le microcapteur délivre une information en temps réel via un écran d'affichage intégré ou un smartphone. Sa petite taille et son poids relativement léger lui permettent d'être utilisé dans différentes situations. Tant pour les professionnels, que pour les chercheurs ou les particuliers, employer un microcapteur représente la possibilité de multiplier les points de mesure de l'air en extérieur ou en intérieur. Il peut également être destiné à des campagnes de sensibilisation de la population aux enjeux de qualité de l'air.

Il reste néanmoins important de bien prendre en compte les caractéristiques du microcapteur lui-même, mais également de la situation et de l'environnement

dans lequel il est utilisé. Un microcapteur donné n'aura pas les mêmes résultats en air intérieur ou extérieur, ni dans un pays à climat tempéré ou humide par exemple.

De son aspect à son utilisation pratique, les microcapteurs sont polyvalents, une qualité à utiliser cependant avec prudence.

Usages et catégories



AIR EXTÉRIEUR

> Surveiller



AIR INTÉRIEUR

> Surveiller
> Gérer l'air dans un bâtiment (aération, ventilation...)



SENSIBILISATION

> Informer grâce à la science participative
> Amener au changement de comportement



EXPOSITION INDIVIDUELLE

> Connaître son exposition aux polluants selon ses activités



Air extérieur : une variété d'utilisations pour le microcapteur

Chaque jour, un individu respire en moyenne 15 000 litres d'air. Cet air qui nous entoure, dans les rues, les parcs et jardins, les cours d'école, les campagnes, contient des polluants qui ont un effet sur notre santé. Oxydes d'azote, ozone, particules, composés organiques volatils, dioxyde de soufre, ammoniac, benzène représentent les principaux polluants de l'air extérieur aussi appelé air ambiant. Qu'elles soient d'origine humaine (chauffage, transport, industrie, agriculture...) ou naturelle (tempête de sable, éruption volcanique...), les sources de ces polluants sont multiples.

Dès lors, des enjeux essentiels apparaissent : sanitaires bien évidemment, avec 4,2 millions de décès prématurés par an provoqués par la pollution de l'air ambiant dans le

monde (source OMS), mais aussi économiques, la pollution de l'air coûtant chaque année en France 101 milliards € (source Sénat). Pour y répondre, la surveillance,

l'information, la sensibilisation, la réduction des émissions s'avèrent nécessaires. À ce titre, les microcapteurs peuvent-ils faire partie des solutions ?

UNE ÉVALUATION CONTINUE NÉCESSAIRE

Dans ce marché en pleine expansion, le nombre de dispositifs en circulation est important et ils ne sont soumis à aucune réglementation. Leur évaluation au regard de leur performance s'avère donc nécessaire, afin d'analyser au mieux leur pertinence en fonction de l'objectif visé et d'éclairer ainsi les utilisateurs potentiels.

Des programmes d'évaluation sont menés en France, aux États-Unis et au Ghana notamment.

Parmi les pionniers, AQ-Spec le Californien

En Californie, le South Coast Air Quality Management District a fait partie des premiers à développer un programme d'évaluation pérenne des microcapteurs comportant un protocole sur un site dédié. L'évaluation se déroule en continu à chaque réception d'un nouvel appareil, pendant 30 à 60 jours. La question de la comparabilité des résultats d'évaluation réalisée sur des périodes différentes peut alors se poser. Pour certains capteurs d'intérêt, une évaluation en chambre d'exposition avec contrôle de l'humidité et de la température est réalisée après les premiers tests.

En France, le Challenge AIRLAB

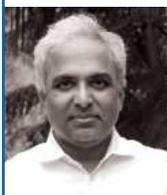
Au-delà de la seule évaluation de la qualité métrologique, le Challenge AIRLAB considère aussi leur utilité, leur ergonomie, leur coût d'utilisation. Cette originalité du challenge répond à son objectif, analyser la meilleure réponse apportée par un capteur à un usage défini. La spécificité du challenge repose aussi sur son format : tous les microcapteurs envoyés par les fabricants sont évalués ensemble pendant une période de 3 à 4 mois.

Pour sa 4^e édition, le challenge s'exporte à l'international avec une évaluation en France, à Paris et à Lille, grâce au concours d'Atmo Hauts-de-France, et en Thaïlande, à Bangkok, avec l'appui de l'Asian Institute of Technology, l'Alliance française, la Bangkok Metropolitan Administration et le National Institute of Metrology Thailand. Cette double évaluation permet d'évaluer les disparités dans les performances des microcapteurs liées aux climats et aux différentes sources et niveaux de pollution.

Afri-SET au Ghana

Sur le modèle AQ-Spec, le programme Afri-SET a ceci de particulier qu'il évalue les microcapteurs sur 12 semaines sur les deux saisons sèche et humide que connaît l'Afrique occidentale. Les tests sont réalisés à Accra, au Ghana, et proposent des modèles de calibration pour les deux saisons, à la différence des deux autres projets d'évaluation américain et français. Il s'agit du programme d'évaluation de microcapteurs le plus récent, leurs résultats n'ont pas encore été publiés.

“ Les microcapteurs constituent un outil supplémentaire pour la surveillance ”



POUR LE **DR SUBRAMANIAN**, CHEF DE SECTEUR QUALITÉ DE L'AIR AU CENTRE D'ÉTUDE DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE LA POLITIQUE (CSTEP) EN INDE, LES MICROCAPTEURS REPRÉSENTENT UNE ALTERNATIVE VIABLE, MAIS SEMÉE D'EMBÛCHES, AU MANQUE DE MOYENS DE CERTAINS PAYS DU SUD POUR SE DOTER D'APPAREILS DE RÉFÉRENCE. AFIN D'ÉTENDRE CES INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES, IL PRÔNE UN ACCOMPAGNEMENT RENFORCÉ DES ORGANISATIONS PHILANTHROPIQUES ET DES AGENCES DE DÉVELOPPEMENT.

Au cours de votre carrière, qui vous a fait voyager dans plusieurs pays et continents, à quels défis avez-vous été confronté en utilisant des microcapteurs à l'extérieur ?

La qualité des données des capteurs à faible coût est mieux vérifiée en les installant à proximité d'une station de référence, mais de nombreuses villes n'en disposent pas. Les pannes de courant ou les jours nuageux ou pluvieux, notamment pour les capteurs solaires, peuvent entraîner des pertes de données. Les capteurs de particules et les modules de communication sans fil consomment le plus d'énergie. Le WiFi n'est pas toujours disponible. L'utilisation des cartes SIM de l'Internet des objets peut s'avérer coûteuse. Les appareils conçus et testés dans l'Union européenne ou aux États-Unis peuvent ne pas fonctionner de manière optimale dans les différentes conditions environnementales des pays d'Afrique ou d'Asie. Par ailleurs, certaines entreprises de capteurs facturent des frais annuels considérables, ce qui revient à dépenser autant pour chaque année de service que pour l'achat de nouveaux capteurs. Enfin, les droits et taxes sur les importations de capteurs compliquent davantage la situation, entraînant des retards dans la livraison et des coûts accrus.

Avez-vous constaté une évolution de ces questions et enjeux au fil de votre carrière ?

Au sein d'AfriqAir (partiellement soutenu par le programme Make Our Planet Great Again), nous avons installé des stations de référence dans plusieurs villes africaines. Au Rwanda, les universités sont exemptées des taxes d'importation sur les stations de qualité de l'air, y compris les microcapteurs. Les capteurs d'AirQo (Ouganda) et de Sensors Africa sont des alternatives abordables aux produits américains ou européens onéreux.

Quelles seraient vos recommandations pour l'utilisation future des microcapteurs ?

Les microcapteurs, lorsqu'ils sont intégrés dans un réseau de mesure hybride, peuvent identifier des hot spots, évaluer les impacts spatiaux et temporels des principales sources de pollution, tout en réduisant le coût global de la mesure de la qualité de l'air.

Cependant, avec la technologie de détection actuelle, ils ne peuvent pas se substituer aux stations de référence, mais ils demeurent un outil supplémentaire de grande importance pour la mesure de la qualité de l'air. Les microcapteurs doivent être correctement étalonnés en fonction de stations de référence avant d'être déployés, et contrôlés périodiquement (par exemple, une fois par an) afin de vérifier la fiabilité de leur performance. L'absence de stations de référence pour assurer la qualité des données des réseaux de microcapteurs constitue un défi en termes d'infrastructure qui requiert une intervention de la communauté internationale. Les pays européens pourraient disposer des stations de référence dans leurs ambassades à travers le monde afin de soutenir les déploiements de microcapteurs en tant que service public mondial. Les organisations philanthropiques et les agences de développement devraient apporter leur soutien à ces infrastructures essentielles dans l'ensemble des pays du Sud.





Pour un usage dans nos intérieurs

En moyenne, nous passons 80% de notre temps dans des espaces clos. La qualité de l'air intérieur représente donc un enjeu majeur au même titre que la qualité de l'air extérieur. Des multiples origines de la pollution intérieure, parfois insoupçonnées, au transfert de pollution extérieure, l'air intérieur est influencé par de nombreux facteurs. Il en est devenu, à juste titre, une source de préoccupation croissante des occupants d'un lieu, d'autant plus avec l'accent mis sur l'aération des pièces lors de la pandémie de covid et la nécessité de renforcer les performances énergétiques des bâtiments.

Afin d'assurer une bonne qualité d'air intérieur, deux grands principes sont à l'œuvre :

- limiter l'émission de polluants
- et assurer un renouvellement d'air efficace, voire un traitement de l'air dans certains cas.

Dès lors, le microcapteur peut avoir un rôle essentiel à jouer dans la gestion de l'air des bâtiments.

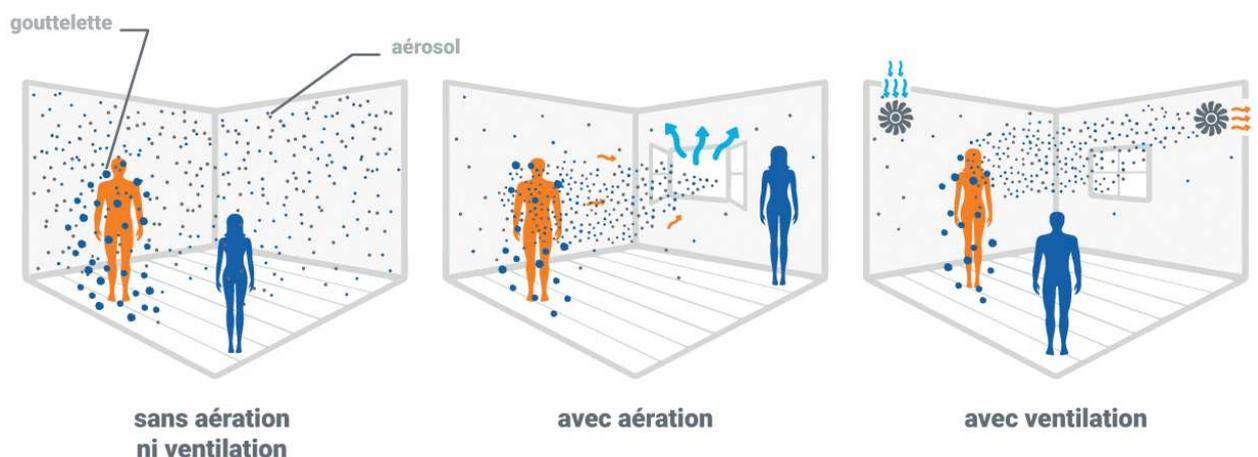
UN SOUFFLE NOUVEAU DANS LES BÂTIMENTS

En 2018, Icade et Veolia ont expérimenté, dans le cadre d'AIRLAB, le laboratoire d'innovation d'Airparif, la surveillance en temps réel de la qualité de l'air d'un bâtiment en utilisant des microcapteurs.

Les enseignements tirés de ce projet ont mis en évidence l'intérêt de surveiller en permanence des indicateurs essentiels de la qualité de l'air intérieur : le CO₂, les particules fines, les composés organiques volatils, la température, l'hygrométrie. Ces suivis permettent de s'assurer de l'efficacité des systèmes de filtration et de ventilation, du taux de renouvellement d'air adéquat, ou encore de la détection de nouvelles sources de pollution intérieure.

Le projet a aussi servi à réaliser l'importance d'associer les usagers d'un bâtiment aux actions sur la qualité de l'air intérieur. Ces derniers n'en ont en effet souvent pas la maîtrise ou la connaissance suffisante. Il est donc apparu la nécessité de rendre accessibles et compréhensibles les données sur le confort et la qualité de l'air intérieur, en étant vigilant sur les nombreux paramètres qui peuvent influencer le ressenti des occupants - la santé, le bien-être, la satisfaction au travail, la localisation du bâtiment, entre autres.

Dispersion des aérosols en milieu clos



D'après Morawska et al. (2020), adaptation graphique Airparif

De l'utilité du microcapteur en intérieur



COMPLÉTANT LE PROPOS, LE **DR FABIEN SQUINAZI**, MÉDECIN BIOLOGISTE, ANCIEN DIRECTEUR DU LABORATOIRE D'HYGIÈNE DE LA VILLE DE PARIS ET PRÉSIDENT DE LA COMMISSION SPÉCIALISÉE « RISQUES LIÉS À L'ENVIRONNEMENT » DU HAUT CONSEIL DE LA SANTÉ PUBLIQUE, EXPLIQUE L'INTÉRÊT DES MICROCAPTEURS DANS LE SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR (QAI).

Que peut apporter l'utilisation de microcapteurs dans le suivi de la qualité de l'air intérieur ?

Les campagnes de prélèvements d'air, par échantillonneurs passifs ou pompage actif, dans des blocs homogènes du bâtiment, suivies d'analyses en laboratoire, conduisent, pour les espèces chimiques organiques volatiles, le dioxyde d'azote, la masse particulaire ou la flore bactérienne ou fongique, à une valeur moyenne intégrée qui est comparée à des valeurs de référence. Les microcapteurs suivent dans le temps les concentrations, en identifiant variations et tendances. Si quelques paramètres, comme la température, l'hygrométrie, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, les particules, parfois le formaldéhyde, sont comparés à des valeurs cibles, pour les composés organiques volatils (COV), il s'agit de mesures dites « indicatives » de quelques COV plutôt que des COV totaux. L'enjeu des microcapteurs est de trouver un équilibre entre la représentativité des locaux étudiés, le nombre de capteurs et la quantité de données brutes à traiter et à analyser. Le choix du pas de temps de mesure aura aussi une incidence sur la précision de la mesure, l'exploitation et l'interprétation des données obtenues. Ils nécessitent un calibrage initial suivi d'un étalonnage régulier. Il est toutefois difficile de donner des

règles générales de suivi de la QAI, chaque bâtiment et chaque microcapteur étant un cas particulier.

Les microcapteurs peuvent-ils être considérés comme un appui à l'action pour améliorer la qualité de l'air intérieur ?

En suivant la dynamique d'indicateurs de la qualité de l'air intérieur, les microcapteurs informent à la fois sur les niveaux d'exposition des occupants, sur une activité émettrice et sur les pratiques d'aération et/ou le fonctionnement du système de ventilation. Ils aident aussi au pilotage de la ventilation et du traitement d'air. Les informations fournies sensibilisent les occupants pour améliorer leurs comportements. Pour le renouvellement de l'air des locaux, la mesure à lecture directe du dioxyde de carbone permet aux occupants de réagir en temps réel pour ouvrir les fenêtres et de définir un schéma d'aération en optimisant la fréquence et la durée d'ouverture des ouvrants. Pour des pièces ventilées, cette mesure permet de vérifier la bonne adéquation de la ventilation avec l'occupation de la pièce. Le comptage des particules détecte les événements de pollution particulaire, comme le transfert de la pollution de l'air extérieur ou une source émettrice intérieure. Les COV témoignent d'une émission ponctuelle ou de l'efficacité de la ventilation, mais cet indicateur reste limité aux molécules détectées par le microcapteur.

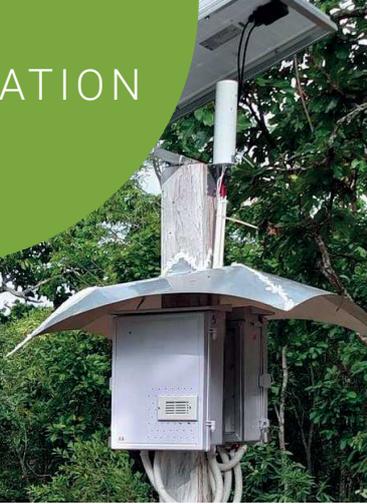


© Imperial College London

HENRY BURRIDGE, DOCTEUR ET MAÎTRE DE CONFÉRENCES EN MÉCANIQUE DES FLUIDES ENVIRONNEMENTAUX À L'IMPERIAL COLLEGE À LONDRES, REVIENT SUR SON EXPÉRIENCE DES MICROCAPTEURS CENTRÉE SUR LA SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ÉCOLES.

« Jusqu'à présent, nous avons déployé plus d'un millier de stations de qualité de l'air équipées de ces capteurs. L'installation a pris diverses formes : par un chercheur formé ou un tiers, par le personnel de gestion de l'établissement scolaire ou par le personnel enseignant ; la première méthode étant plus coûteuse, et les deux dernières nécessitant la préparation de matériel adéquat tout en présentant un risque et une incertitude plus élevés. Le déploiement par le personnel enseignant offre le plus grand potentiel pour modifier les comportements liés à la qualité de l'air intérieur (QAI), mais cela nécessite des recherches supplémentaires, et les preuves permettant d'évaluer si les avantages sont significatifs ou non font défaut. La collecte de données s'est effectuée soit via des passerelles dédiées utilisant des données mobiles,

soit par la connexion au WiFi de l'école ; là encore, la première option est plus onéreuse et entraîne des coûts continus, mais elle atténue les problèmes liés aux pare-feux des écoles et autres difficultés de connectivité. Les avantages de ces mesures sont que nous disposons maintenant de données en continu provenant de plus de 500 salles de classe au Royaume-Uni, certaines de ces données étant collectées depuis mars 2021, fournissant des indications sur les niveaux de ventilation relatifs dans ces salles. De plus, suite à l'installation de filtres HEPA autonomes [ndlr, filtre à air à haute efficacité pour les particules], nous avons utilisé ces capteurs pour établir l'impact des filtres sur la QAI des salles de classe et sur l'absence des élèves liée à des maladies. »



Comprendre pour mieux agir

Chacun à son échelle a un pouvoir sur la qualité de l'air. Encore faut-il comprendre les phénomènes à l'œuvre : chimie de l'atmosphère, transfert de pollution, conditions météo... Difficile pour un novice de s'y retrouver. Pourtant, la qualité de l'air demeure un enjeu sanitaire majeur. Dès lors, comment rapprocher sciences et citoyens pour une appropriation efficace de ce sujet ?

Entre alors en scène le micro-capteur dans son rôle de sensibilisation. Sur un mode ludique et pédagogique, Atmo Hauts-de-France s'adresse aux familles et aux enfants pour les sensibiliser aux enjeux de qualité de l'air en les dotant de microcapteurs pour une

utilisation à la maison, des parcours en extérieur et des ateliers de fabrication.

Des recherches soutenues par l'Ademe montrent quant à elles que le microcapteur a une fonction clé dans le processus de

changement de comportement, en déconstruisant les idées reçues et permettant l'adoption de pratiques nouvelles et pérennes, à condition d'accompagner à la prise en main et de proposer une animation collective.

FEUX DE FORÊTS : LES MICROCAPTEURS EN SOUTIEN

FOCUS

Aux États-Unis, devant la recrudescence des feux de forêts, l'Environmental Protection Agency (EPA) et l'US Forest Service ont développé un dispositif pour informer les populations de la survenue et de la progression des incendies. Le dispositif s'appuie sur des images satellites, des stations de mesure réglementaires de la qualité de l'air, mais aussi des microcapteurs. Déployés par des particuliers, des associations ou des agences locales, ils produisent des données qui nécessitent une correction opérée par l'US EPA et qui ne peuvent être utilisées à des fins réglementaires. Cependant, l'usage de ces microcapteurs permet de mieux couvrir en mesure le pays, en particulier la côte ouest et la Californie, pour suivre l'apparition des incendies et en informer les populations.

Pour certains pays moins bien dotés en stations de référence, les microcapteurs s'avèrent d'autant plus utiles pour faire face aux mêmes risques.

En Thaïlande, un projet a été déployé en ce sens.



ADISORN LERTSINSRUBTAVEE, CHERCHEUR, ET KANCHANA KANCHANASUT, ENSEIGNANTE-CHERCHEUSE À L'INTERNET EDUCATION AND RESEARCH LABORATORY POUR L'INSTITUT ASIATIQUE DE TECHNOLOGIE (INTERLAB AIT), EXPLIQUENT SON INTÉRÊT.

“ La population locale des zones affectées par les PM_{2,5} demeure largement peu informée des niveaux dangereux de poussière qu'elle inhale. Les chiffres fournis par les autorités peuvent découler de stations de mesure coûteuses et éloignées. Par conséquent, l'utilisation de microcapteurs compacts et économiques capables de mesurer les

particules dans divers endroits et d'émettre des avertissements en temps utile pourrait se révéler inestimable. La gravité du problème des particules fines dans la région du nord augmente avec la survenue d'activités de brûlage ou de feux de forêt, qui sont les principales sources de fumée et de PM_{2,5}. Conscients de cela, des chercheurs de notre laboratoire, l'Interlab AIT, en collaboration avec l'Université Pierre et Marie Curie en France, ont lancé le projet Hazemon. Financé par la subvention STIC-ASIE du gouvernement français en 2016, le groupe a conçu et développé une plateforme d'Internet des objets appelée Canarin pour la surveillance de la qualité de l'air. L'ambition était d'utiliser des données en temps réel pour aider à détecter les feux de forêt. Cet effort s'est étendu avec le soutien d'autres sources de financement, conduisant au déploiement d'environ 200 microcapteurs dans divers pays d'Asie du Sud-Est. Notre équipe a réussi à détecter en temps réel les incendies dans la province de Lamphun en 2022. Notre système analyse les données et identifie les conditions indicatives de feux de forêt, en se référant aux modèles appris à partir de données historiques. Cela permet d'émettre des alertes précises d'incendie aux communautés des zones touchées. ”

“ La captothèque, un dispositif de mesure citoyenne de qualité de l'air ”



L'ASPECT SENSIBILISATION ATTRIBUÉ AU MICROCAPTEUR A PARTICULIÈREMENT ÉTÉ MIS EN AVANT PAR ATMO AUVERGNE-RHÔNE-ALPES À TRAVERS LA CRÉATION D'UNE CAPTOTHÈQUE. **GUILLAUME SALQUE-MORETON**, CHEF DE PROJET, NOUS L'EXPLIQUE.

Pouvez-vous nous présenter le projet de captothèque déployé en Auvergne-Rhône-Alpes ?

La captothèque est le dispositif de mesure citoyenne de qualité de l'air d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Il permet à chacun d'explorer librement la qualité de l'air et d'échanger autour du sujet, en empruntant gratuitement un microcapteur de mesure de particules fines sur la région AuRA.

Les capteurs en mobilité permettent d'explorer les sources tandis que les capteurs fixes offrent des observatoires citoyens pour comprendre les évolutions dans le temps.

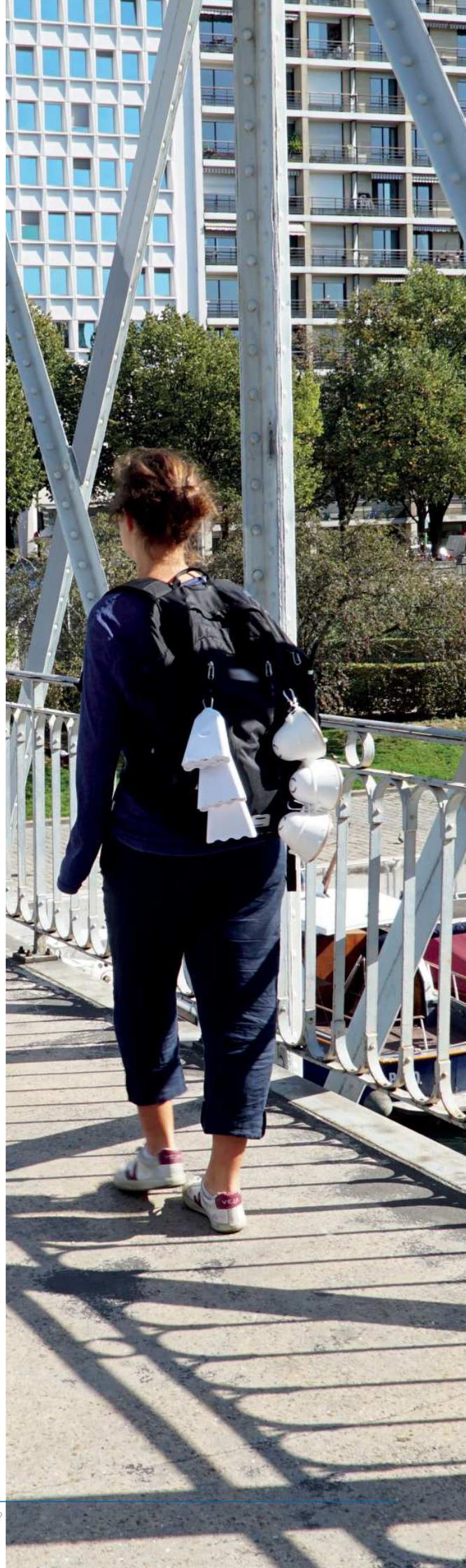
Au-delà des expérimentateurs empruntant un capteur, la captothèque offre la possibilité à tous les citoyens d'observer les données récoltées et d'échanger sur les mesures en s'inscrivant simplement sur la plateforme www.captotheque.fr.

Qu'apporte le prêt de microcapteurs à des particuliers ?

Le microcapteur permet aux citoyens d'explorer, par eux-mêmes, l'air qui les entoure, les sources et les phénomènes.

Quelles sont les limites à cette utilisation ?

Les microcapteurs apportent une information indicative des niveaux de concentration et de comprendre des phénomènes atmosphériques. Cependant, la mesure d'un seul polluant (dans la captothèque, seuls les capteurs de particules sont proposés comme assez fiables) peut mener à des incompréhensions et l'accompagnement d'un expert autour de la mesure est primordial pour aider à recontextualiser.





Exposition individuelle aux polluants : quelle utilisation des microcapteurs ?

L'air de chaque lieu de vie contient des polluants en plus ou moins grande quantité. Au cours d'une journée, un individu traverse ces différents environnements et se trouve donc exposé aux polluants de l'air qu'ils renferment. En moyenne, un être humain inhale 6 litres d'air par minute ; 3 fois plus en marchant et 10 fois plus en courant. Que ce soit à la maison, à l'école, au travail, dans les transports et les activités de loisirs, l'exposition individuelle à la pollution de l'air est permanente et les interrogations sur son exposition tout au long de la journée sont réelles, avec toute la difficulté d'appréhender des variations importantes et rapides, notamment en mobilité.

LE REGARD DES
EXPERTES

“ Les informations fournies par les microcapteurs sur un risque sanitaire doivent être considérées avec prudence ”

Dans son dernier rapport sur l'utilisation des microcapteurs pour le suivi de la qualité de l'air, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) évalue l'intérêt et les limites des microcapteurs utilisés par les citoyens pour caractériser leur exposition à la pollution de l'air.



EMMANUELLE DURAND ET AMANDINE PAILLAT, DE L'UNITÉ D'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS À L'AIR À L'ANSES, ET COORDINATRICES DU RAPPORT, EN EXPLIQUENT LES PRINCIPALES CONCLUSIONS.

L'utilisation de microcapteurs est-elle pertinente pour évaluer l'exposition individuelle ? Les microcapteurs portatifs permettent de disposer de données dans l'environnement proche de l'individu en intégrant les conditions d'exposition propres à chacun et les différents lieux fréquentés au cours de la journée. Ils sont donc particulièrement intéressants pour évaluer l'exposition individuelle à certains polluants. Toutefois, ils présentent encore des limites, la principale étant leur moindre qualité métrologique comparativement aux systèmes de surveillance réglementaires.

Plus généralement, quels sont les usages à privilégier et ceux à éviter pour une utilisation adéquate des microcapteurs ? Les microcapteurs sont intéressants pour évaluer l'exposition à certains polluants de l'air à court

terme. Ils ne sont pas adaptés pour évaluer l'exposition à long terme des individus à la pollution de l'air mais peuvent servir à optimiser les cartographies et les modèles à large échelle. Ces dispositifs sont donc complémentaires aux autres méthodes d'évaluation de l'exposition.

Pour un usage privé, les microcapteurs permettent à un individu d'obtenir une information qualitative sur son exposition, par exemple l'identification de sources ou les variations temporelles, mais en aucun cas d'estimer un risque sanitaire au niveau individuel. Un accompagnement pour comprendre les informations délivrées est indispensable, et les informations visuelles fournies par les microcapteurs sur des graduations de niveaux de pollution ou un risque encouru pour la santé doivent être considérées avec une grande prudence.

Capteurs à bas coût : une dénomination méritée ?

Le coût des microcapteurs est un avantage souvent mis en avant, qui permet même de les définir par cette appellation « capteur à bas coût ». Cette caractéristique s'appuie essentiellement sur le coût d'achat initial. Certains se vendent en effet à moins de 50 euros sur des plateformes en ligne. Qu'en est-il cependant du coût réel de ces dispositifs, à savoir leur coût global, à l'usage ?

En quatre éditions, le Challenge AIRLAB microcapteurs a pu relever des coûts d'utilisation allant de 108 euros à 17 280 euros. Calculé sur trois ans, le coût d'utilisation de chaque microcapteur prend en compte l'achat ou la location (le moins cher est conservé), l'accès aux données et l'entretien de l'appareil. Sur les 167 microcapteurs évalués dans les éditions de 2018, 2019, 2021 et 2023, le coût moyen d'utilisation sur trois ans est de 3 550 euros, soit plus de 1 000 euros par an. Aucune évolution de ces coûts n'a été relevée entre 2018 et 2023. Il est à noter aussi que si certains microcapteurs présentent des coûts d'achat ou de location attractifs, l'accès aux données peut s'avérer onéreux tout comme l'entretien et le renouvellement de pièces essentielles à leur bon fonctionnement.

Si les coûts des microcapteurs sur

trois ans apparaissent en moyenne bien inférieurs au prix des analyseurs de référence réglementaires pour les principaux polluants de l'air, ils sont souvent aussi prétexte à un déploiement massif (la mise en place de plus d'une centaine de capteurs dans une agglomération) sans que la plus-value soit réellement documentée.

Un coût environnemental à ne pas négliger

Enfin, les microcapteurs restent des objets connectés avec un temps d'utilisation et une durée de vie limitée. La question du coût environnemental de ces objets, et en particulier le partage, le traitement et l'analyse des données produites qui ne sont pas comptabilisés et nécessitent une expertise spécifique, représente donc un enjeu important pour la filière. Dans ce contexte, des démarches de type

analyse de cycle de vie (ACV) seraient à mettre en place. L'édition 2023 du Challenge AIRLAB s'est intéressée à ce sujet en demandant aux candidats de remplir un questionnaire sur l'empreinte environnementale du capteur proposé. De multiples éléments sont à prendre en compte dans une étude ACV de microcapteurs : composition de l'appareil (métal, plastique, composants électroniques, batterie), nombre de fournisseurs, distance entre le fournisseur et le distributeur, recyclage possible ou non, poids des emballages... Ces critères diffèrent d'un pays à un autre et d'un continent à un autre. Le mix énergétique n'est par exemple pas le même en France et en Thaïlande. Il n'en reste pas moins qu'une analyse de cycle de vie serait un outil de comparaison nécessaire.



Pour une utilisation adéquate des microcapteurs

AVANTAGES

VS

LIMITES

Taille et encombrement réduits

Coût potentiellement modeste

Emploi multiple
(fixe, mobilité, intérieur/extérieur)

Information facile à lire

Mesure peu fiable et peu précise

Sensibilité forte aux variations
de température, d'humidité

Vieillesse rapide
des composants,
renouvellement régulier à prévoir

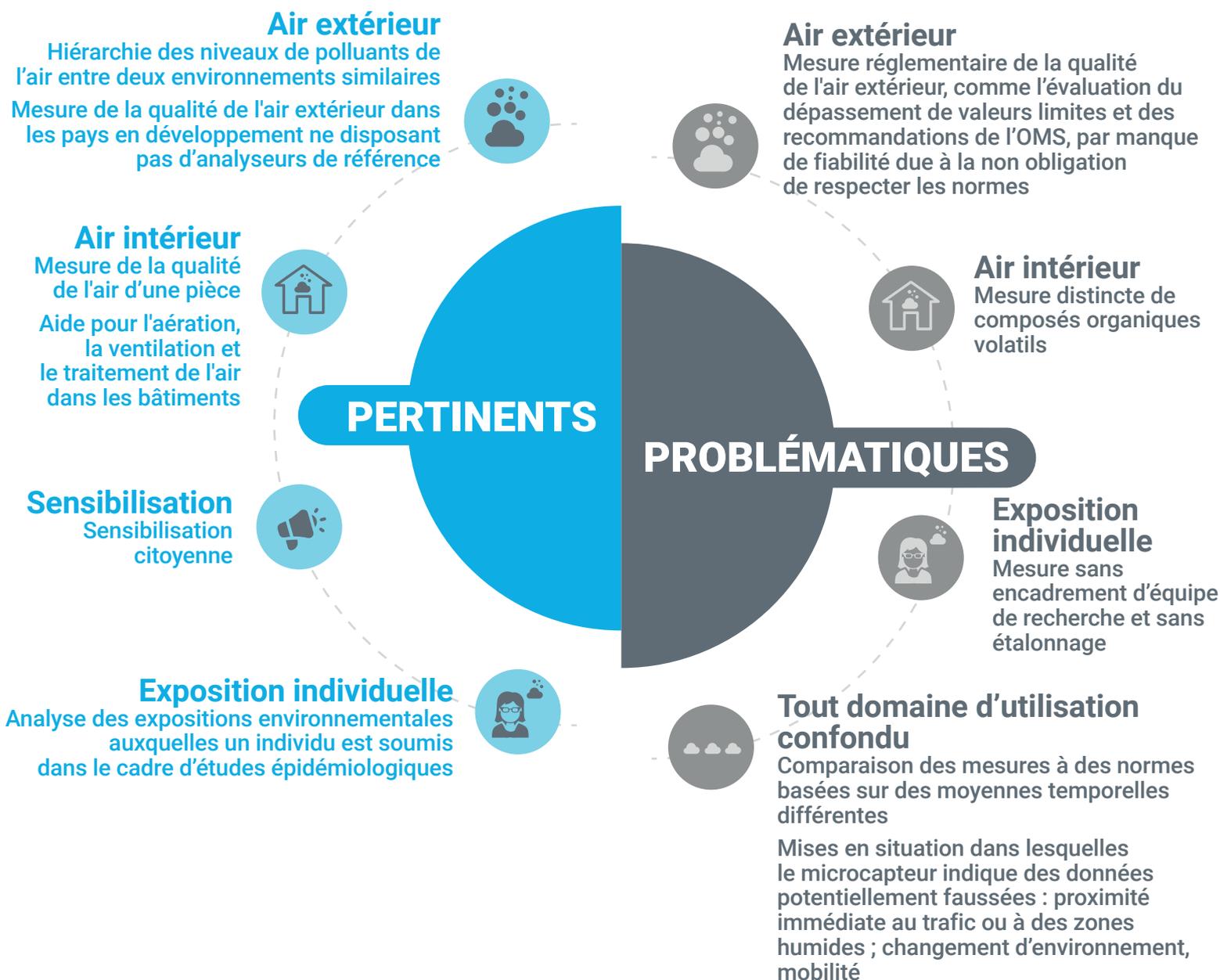
Risque de mauvaise interprétation
des données en l'absence
d'accompagnement et
de calibration régulière
avec une station de référence

Pour les capteurs de particules,
incapacité à observer les
particules les plus fines (< 300 nm),
dont les ultrafines

LES AVANTAGES ET LES LIMITES; AINSI QUE LES USAGES PERTINENTS ET PROBLÉMATIQUES DES FAITE EN MOBILITÉ OU EN STATIONNAIRE.

Sources: OMM, Anses, AIRLAB, LCSQA, Atmo France

USAGES



MICROCAPTEURS PEUVENT ÊTRE NUANCÉS EN FONCTION DES POLLUANTS MESURÉS ET DE L'UTILISATION

POUR ALLER PLUS LOIN

AIRPARIF



Airparif dossier #01 : Les projets participatifs
septembre 2020

Retour sur une expérimentation de participation citoyenne à l'observation et à la compréhension de la qualité de l'air à l'aide de microcapteurs



Airparif dossiers #02 : Les particules
avril 2021
et
Airparif dossiers #06 : L'ozone
juillet 2022

Explications sur deux des principaux polluants de l'air



Airparif Dossier #05 : Les enjeux de santé liés à la pollution de l'air
mars 2022

Décryptage des nombreux effets de la pollution de l'air sur l'organisme

- **Comparteur de microcapteurs** issu des résultats des challenges AIRLAB www.airlab.solutions

AUTRES ORGANISMES

- **An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition**, Organisation météorologique mondiale, décembre 2020
- **AQ-SPEC**, centre d'évaluation des performances des capteurs de qualité de l'air, South Coast Air Quality Management District, États-Unis
- **Afri-SET**, centre d'évaluation et de formation des capteurs de qualité de l'air pour l'Afrique de l'Ouest, Ghana
- **Captothèque**, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes
- **Atmo Hauts-de-France**

- **Lettre recherche n°44**, ADEME, septembre 2023
- **Carte des incendies et fumées**, AirNow, US Environmental Protection Agency
- **Projet Hazemon**, Thaïlande
- **1^{er} essai national d'aptitude des microcapteurs (EAμC) pour la surveillance de la qualité de l'air : synthèse des résultats**, Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air, novembre 2018
- **Utilisation de microcapteurs pour le suivi de la qualité de l'air intérieur et extérieur**, Anses, mai 2022

“
**AGIR POUR UN AIR SAIN
DANS UN MONDE PLUS DURABLE**

”

