



# MICROCAPTEURS QUALITÉ DE L'AIR

Vision et positionnement d'Air Pays de la Loire

Août 2023



# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>Les microcapteurs dans les AASQA .....</b>	<b>4</b>
<b>Retour d'expérience d'Air Pays de la Loire .....</b>	<b>5</b>
Retour sur quelques campagnes comparatives .....	5
Retour sur quelques dispositifs de sensibilisation mis en œuvre .....	7
<b>Positionnement d'Air Pays de la Loire.....</b>	<b>10</b>
Atouts et faiblesses de ces dispositifs.....	10
Perspectives .....	11

## Contributions

Rédaction – Traitement de données : Camille Magnan, Corentin Lemaire, Guillaume Sérafin, Mickaël Charuel

Appui technique et métrologique : Sonia Cécile, Mickaël Charuel, Arnaud Tricoire

Validation : Lucie Vidal, David Bréhon

## Conditions de diffusion

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé pour assurer la surveillance de la qualité de l'air dans la région des pays de la Loire, au titre de l'article L. 221-3 du code l'environnement, précisé par l'arrêté du 2 août 2022 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Pays de la Loire est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Pays de la Loire, réserve un droit d'accès au public aux résultats des mesures recueillies et rapports produits dans le cadre de commandes passées par des tiers. Ces derniers en sont destinataires préalablement.

Air Pays de la Loire a la faculté de les diffuser selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet [www.airpl.org](http://www.airpl.org), etc...

Air Pays de la Loire ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Pays de la Loire n'aura pas donné d'accord préalable.

## Remerciements

Air Pays de la Loire remercie les fournisseurs de microcapteurs pour les collaborations passées ainsi que les autres AASQA<sup>1</sup> pour leurs retours d'expérience. Enfin, l'Anses<sup>2</sup>, le LCSQA<sup>3</sup>, Atmo France et Airparif pour les documents et travaux publiés sur des sujets proches.

---

<sup>1</sup> Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air

<sup>2</sup> Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

<sup>3</sup> Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

# Introduction

Encore assez discrets jusqu'en 2016, les objets connectés ont connu un réel essor à partir de 2017 en France. Cet essor concerne aussi la qualité de l'air. Les systèmes capteurs, communément appelés microcapteurs, constituent ainsi depuis quelques années des outils émergents et prometteurs notamment pour un usage complémentaire aux outils de référence des AASQA (Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air).

De par leur faible coût et leur simplicité de mise en œuvre, ils s'adaptent facilement à leur environnement, quel que soit leur lieu d'implantation. Leur objectif est de répondre à une demande de la population, des collectivités ou des acteurs de la ville, qui souhaitent des informations simples, personnalisées et immédiates, de plus en plus précises dans l'espace et dans le temps, en matière de qualité de l'air.

En effet, les populations s'intéressent de plus en plus au sujet de l'impact de la qualité de l'air sur la santé, qui fait partie des 3 principales préoccupations environnementales des Français avec la dégradation de la faune et la flore et le réchauffement climatique<sup>4</sup>.

Les politiques publiques tentent de répondre à la demande citoyenne via des plans et des actions spécifiques (mesures, sensibilisations...) et y prêtent aussi de plus en plus attention dans un contexte réglementaire qui devient de plus en plus contraignant.

Enfin, le développement des microcapteurs rentre aussi dans le cadre de l'essor des sciences participatives citoyennes : le citoyen souhaite être acteur de son environnement et mieux le comprendre.

En tant qu'acteur de référence sur le sujet de la qualité de l'air dans la région des Pays de la Loire, Air Pays de la Loire s'intéresse au sujet des microcapteurs depuis 2017. Après plusieurs années de tests et d'usages à titre d'expérimentation, et en s'appuyant sur les travaux des autres AASQA et du LCSQA, ce document présente la vision, le retour d'expérience et le positionnement d'Air Pays de la Loire en date sur cette thématique. Ce positionnement pourra être amené à évoluer à l'avenir, compte tenu de la rapidité d'évolution des systèmes (évolution technique, économique, stratégique).

---

<sup>4</sup> Étude publiée en 2017 dans « les français et l'environnement »

# Les microcapteurs dans les AASQA

Certains microcapteurs ont été déployés par les AASQA afin de disposer d'informations en temps réel sur l'évolution des mesures et des expositions humaines ainsi que sur les tendances à court et moyen terme. Concrètement, nous pouvons citer les applications suivantes (liste non exhaustive des applications réalisées dans les AASQA françaises) :

- l'étude d'une source ponctuelle de pollution dans l'air (ambient, intérieur...),
- la mise en œuvre de la surveillance d'une zone/territoire limitée dans le temps,
- la mesure de l'exposition des personnes,
- la recherche d'une nouvelle implantation pour une station fixe de surveillance de la qualité de l'air,
- la réalisation de cartographies de polluants avec un maillage plus fin que ce qui est effectué avec les données des stations fixes de mesure et la modélisation,
- des projets de sensibilisation et de participation citoyenne basés sur les atouts mais aussi les défauts des microcapteurs (développement du sens critique chez les collégiens et de la confiance accordée à différentes sources d'information...),
- ...

En parallèle de ces applications, des organismes de référence s'organisent sur le long terme pour suivre l'évolution de ces appareils.

- le LCSQA suit ces évolutions de près, anime un groupe de travail national et publie des rapports sur ce sujet<sup>5</sup>,
- Airparif organise annuellement Le Challenge international microcapteurs AIRLAB. Celui-ci vise à évaluer régulièrement les progrès en matière d'efficacité et de fiabilité de ces nouvelles technologies de mesure de la qualité de l'air. Ce challenge permet à la fois aux fabricants de faire évaluer leurs solutions par un jury d'experts indépendants et d'éclairer les utilisateurs potentiels sur l'adéquation entre les performances individuelles des microcapteurs, les usages et les avantages mis en avant<sup>6</sup>.

Ce document ne cherche donc pas à se substituer à ces travaux, mais à les compléter par des études 'cas d'usages réels' dans des conditions de terrain. Ces études et expérimentations (détaillées ci-après) se sont d'ailleurs inspirées de ces analyses comparatives pour la sélection des appareils.

---

<sup>5</sup> <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/premier-essai-national-daptitude-des-micro-capteurs-eamc-pour-la-surveillance-de-la-qualite>

<sup>6</sup> Les derniers résultats du challenge AIRLAB sont disponibles ici : <https://airparif.shinyapps.io/ChallengeResultsFR/>  
Le challenge AIRLAB a évalué, en 2021, une centaine de microcapteurs en tenant compte de critères variés (coût, encombrement, exactitude, masse, portabilité, prise en main, utilisabilité, utilité et volume)

# Retour d'expérience d'Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire expérimente et teste des microcapteurs depuis près de 5 ans. Ces études ont été l'occasion de mieux comprendre le fonctionnement et d'identifier les avantages, les inconvénients, et les potentiels usages de certains de ces dispositifs.

## Retour sur quelques campagnes comparatives

Plusieurs travaux sont mis en place au sein des AASQA dans le but de tester et de comparer les microcapteurs aux analyseurs de référence. Dans le cadre de projets innovants ou de partenariats, Air Pays de la Loire a eu l'occasion d'installer plusieurs microcapteurs à proximité d'analyseurs de référence.

### Quelques résultats

Afin d'avoir une vision d'ensemble, nous présentons ci-dessous le coefficient de détermination  $R^2$  de chacune des analyses d'intercomparaison (entre les analyseurs de référence et les microcapteurs).

Méthode : le coefficient de détermination  $R^2$

Le coefficient de détermination  $R^2$  est un indicateur utilisé en statistique pour juger de la qualité d'une régression linéaire. Dans une régression linéaire, l'objectif est de déterminer une relation linéaire entre deux jeux de données (ici celles issues d'un microcapteur d'un côté et celles issues d'un analyseur de référence de l'autre côté). Lorsque l'on parle de coefficient de détermination, également appelé « R carré », celui-ci intervient lorsque l'on cherche, dans cette régression linéaire, la force d'adéquation entre le modèle de cette régression et les données collectées. On parle alors de « qualité d'ajustement ». Concrètement, le coefficient de détermination est un indice de la qualité de la prédiction de la régression linéaire. Le coefficient de détermination se situe entre 0 et 1. Plus il est proche de 1, plus la régression linéaire est en adéquation avec les données collectées. 1 est égal à 100 % donc dans ce cas, la corrélation entre les variables est totale. À l'inverse, si l'indice est proche de zéro, il signale la quasi-absence de données corrélées.

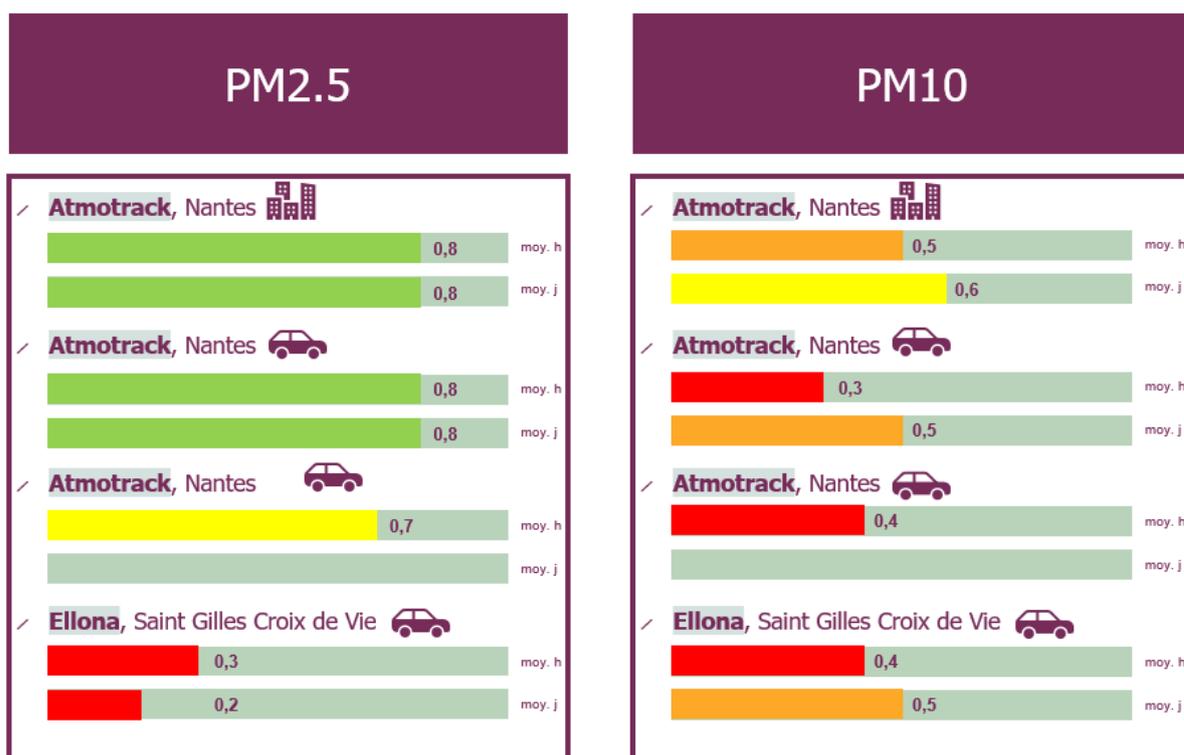


Figure 1 : résultats des coefficients de détermination pour les PM2.5 et PM10 (polluants présentés en annexe)



Figure 2 : résultats des coefficients de détermination pour le NO<sub>2</sub> (polluant présenté en annexe)

Des informations complémentaires sur chacune des campagnes d'intercomparaison sont disponibles en annexe 1.

### Hypothèses et enseignements d'Air Pays de la Loire

Au cours de différentes expérimentations et campagnes de comparaison, plusieurs hypothèses (basées sur des observations) ont été faites par Air Pays de la Loire, en échange avec Airparif, pour expliquer certains dysfonctionnements des microcapteurs :

- les performances, d'un lot de microcapteurs (d'un même constructeur) à un autre, peuvent être hétérogènes. Cette variabilité dans les performances concerne la fiabilité des mesures (vis-à-vis d'un appareil réglementaire) mais ne concerne pas la reproductibilité des microcapteurs (d'un même lot) entre eux. Cette variabilité peut être liée au temps de stockage d'un lot avant son déploiement et donc au vieillissement des composants (la durée de vie des cellules électrochimiques est estimée à 1 an),
- les microcapteurs équipés de cellules électrochimiques (pour la mesure du NO<sub>2</sub> notamment) sont sensibles aux oxydants de l'air (O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>,...) et présentent parfois des problèmes de sélectivité du polluant recherché (pouvant être lié au dysfonctionnement des filtres d'entrée (ex : sensibilité des scrubber<sup>7</sup> O<sub>3</sub> aux variations d'humidité),
- les microcapteurs optiques (pour la mesure des particules) semblent eux aussi sensibles aux variations d'humidité et de température.

Les fournisseurs appliquent parfois des algorithmes aux mesures brutes qui peuvent varier au cours d'une expérimentation ou en fonction de l'usage prévu.

<sup>7</sup> Dispositif qui absorbe l'ozone ; il pourrait interférer dans la mesure du NO<sub>2</sub>

# Retour sur quelques dispositifs de sensibilisation mis en œuvre

Les premières campagnes de tests de microcapteurs (dont les résultats sont abordés plus haut), montrent des résultats ne permettant pas un usage réglementaire. Par ailleurs, en fonction de l'agrégation choisie (journalière de préférence) et du polluant mesuré (particules de préférence), une approche qualitative (amélioration / dégradation de la qualité de l'air) en utilisant des gammes de concentrations, ou des indicateurs, peut être envisagée.

C'est dans ce contexte que plusieurs expérimentations à caractère pédagogique ont été imaginées.

## Expérimentation 1 : le nuage



Figure 3 : le nuage, quai Hoche à Nantes

Résumé de l'expérimentation : cette expérimentation, lancée en 2019, est le fruit d'une réflexion citoyenne organisée par la Samoa (fabrique urbaine et créative de l'île de Nantes) et du Nantes City Lab (dispositif d'expérimentations innovantes de Nantes Métropole). De cette réflexion a émergé l'idée d'interpeller en rendant visible l'invisible : la qualité de l'air.

Conçu par des acteurs locaux, un mobilier urbain en forme de banc abrité d'un nuage a été installé sur l'île de Nantes. Sa couleur change en fonction de la pollution de l'air du quartier : il prend en compte un grand nombre de données (météo, hauteur des bâtiments, relief, pollution). Des informations sur les pollens, issues de l'APSF (Association des Pollinariums Sentinelles de France), sont présentes au pied du nuage.

Utilisation des microcapteurs : la qualité de l'air du quartier, visualisée par la couleur du nuage, correspond à un indicateur adapté de l'indice journalier de la qualité de l'air (indice ATMO). Alors que l'indice ATMO est disponible à l'échelle de la Métropole et de la journée, cet indicateur est fourni toutes les heures, pour le quartier (250m autour du nuage).

Comme l'indice ATMO, cet indicateur correspond au sous-indice le plus dégradé des polluants qu'il intègre (dioxyde d'azote, ozone, dioxyde de soufre et particules PM10 et PM2.5).

*Par exemple : si tous les polluants ont comme sous-indice « Moyen » sauf l'O<sub>3</sub> dont le sous-indice est « Mauvais », alors l'indicateur (comme l'indice ATMO) sera fixé à « Mauvais ».*

Une quinzaine de microcapteurs (modèles Atmo01 et Atmo02 pour la mesure des PM10 et PM2.5) ont été déployés autour de ce mobilier urbain. Air Pays de la Loire a alors entamé un travail de R&D permettant d'enrichir les données issues de ses modèles de prévision de la qualité de l'air avec des données locales provenant de ces microcapteurs (PM10 et PM2.5). Après une phase de validation puis de qualification des mesures, celles-ci sont assimilées aux données d'Air Pays de la Loire pour définir l'indicateur et la couleur du nuage.

Partenaires de l'expérimentation : Samoa, Atmotrack.

Évaluation de l'expérimentation : l'évaluation a montré que ce mobilier a été remarqué dans le paysage urbain et intéresse les passants. Un levier d'amélioration est de permettre au mobilier d'afficher la couleur de l'indice en journée.

## Expérimentation 2 : plateforme qualité de l'air sur l'île de Nantes

**Résumé de l'expérimentation** : en 2021, Air Pays de la Loire a développé une plateforme web qui affiche, à l'échelle de la rue, les niveaux de pollution en temps réel (horaire) de toute l'île de Nantes.

**Utilisation des microcapteurs** : en 2020, 15 microcapteurs (Atmo01 et Atmo02 pour la mesure des PM10 et PM2.5) ont été déployés sur l'île de Nantes. Les travaux mis en place par Air Pays de la Loire pour le nuage ont été adaptés et poursuivis pour pouvoir étendre l'information de qualité de l'air du quartier à toute l'île de Nantes (modélisation). Cette information cartographique a ensuite été rendue accessible au grand public via une plateforme web.

**Partenaires de l'expérimentation** : Samoa, Atmotrack.

**Évaluation de l'expérimentation** : les interviews ont montré que la cartographie était facile à utiliser et à comprendre et qu'il était utile de disposer de ces informations en temps réel. Il ressort également un intérêt de déployer ces informations à l'échelle de la métropole nantaise.

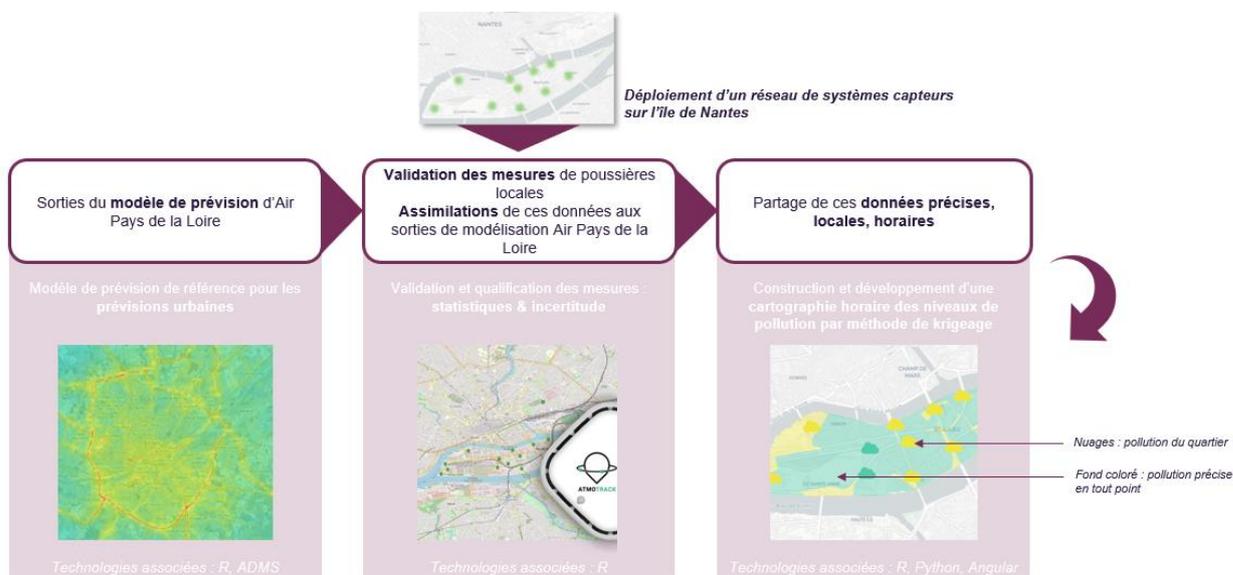


Figure 4 : étapes de développements pour la plateforme web

## Expérimentation 3 : projet de sensibilisation via l'usage de microcapteurs

**Résumé de l'expérimentation** : en 2023, Air Pays de la Loire a mis en œuvre un projet pédagogique, réalisé dans le cadre d'un appel à projet du 3<sup>e</sup> Plan Régional Santé Environnement Pays de la Loire, visant à :

- sensibiliser les citoyen·nes aux enjeux de la qualité de l'air en rendant "visible" la pollution atmosphérique via l'expérimentation avec des microcapteurs de particules,
- améliorer leur connaissance de la thématique qualité de l'air et leur transmettre des bons gestes pour moins s'exposer au quotidien.

Ce projet a concerné des habitant·es de la commune de Donges, située dans une zone à forte densité industrielle. Les participant·es ont bénéficié d'une sensibilisation à la qualité de l'air intérieur et extérieur, puis ont réalisé des mesures dans différentes situations de leur quotidien. À l'issue, un temps collectif de retour sur l'expérience et l'explication des résultats a été organisé. Un questionnaire leur a été soumis avant et après l'expérience afin d'évaluer son effet sur leur perception de la qualité de l'air et leur passage à l'action.

**Partenaires de l'expérimentation** : DREAL des Pays de la Loire, AEDZRP.

**Évaluation de l'expérimentation** : les volontaires ont réalisé 400 mesures dans diverses situations du quotidien. À l'issue de l'expérimentation, leur inquiétude concernant la qualité de l'air extérieur a baissé, il y a eu une prise de conscience du sujet pollution de l'air intérieur (peu marquée initialement) et des effets des bons gestes sur celle-ci, grâce aux relevés effectués. L'accompagnement scientifique par les équipes sur la qualité de l'air a été essentiel pour la réussite du projet ; en effet, cet accompagnement a permis aux utilisateurs de comprendre et de s'approprier les résultats et leurs limites.



Figure 5 : capteurs Airbeam3 utilisé dans le projet Estuaire



Figure 6 : exemples de mesures effectuées (à gauche : lors de l'allumage d'un feu de bois dans une installation ancienne. À droite : lors de l'allumage d'un poêle à bois performant)

# Positionnement d'Air Pays de la Loire

Les travaux réalisés par Air Pays de la Loire et le réseau des AASQA ont permis d'identifier un certain nombre de points forts et de points faibles des microcapteurs.

## Atouts et faiblesses des dispositifs µcapteurs

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Coût</b> : variable entre quelques dizaines et quelques milliers d'euros</li><li>✓ <b>Encombrement</b> : peu encombrants et portatifs pour certains</li><li>✓ <b>Simplicité d'usages</b> : pour la plupart, ils sont simples d'utilisation, déployables rapidement et silencieux</li><li>✓ <b>Fréquence d'information</b> : pour la plupart, ils partagent une information de qualité de l'air en temps réel</li><li>✓ <b>Variété</b> : il existe un grand nombre de capteurs pour des besoins diverses (polluants, besoins...etc.)</li><li>✓ <b>Consommation</b> : ils consomment peu d'énergie et certains sont sur batterie donc autonomes</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Sensibilité aux conditions environnementales</b> : variation de température, humidité ou mouvements impactent fortement la mesure des microcapteurs</li><li>✓ <b>Fiabilité variable</b> : la fiabilité (répétabilité, reproductibilité, précision...) des résultats dépend des concentrations rencontrées, du polluant mesuré ou encore du temps de mesure</li><li>✓ <b>Durée de vie</b> : la fiabilité des résultats peut varier fortement en fonction de l'âge des appareils</li></ul>
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Déploiement dans des environnements inaccessibles</b> : lorsque inaccessibles aux appareils de référence (QAI, sites isolés, installations rapides...)</li><li>✓ <b>Complémentarité</b> : à de la mesure référence dans situations particulières</li><li>✓ <b>Aspects ludiques</b> : adapté à la prise de conscience sur le sujet</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ <b>Difficulté d'appréhension des résultats</b> : sans accompagnement sur l'interprétation des résultats, les informations transmises peuvent être mal interprétées</li><li>✓ <b>Fiabilité variable</b> : l'absence d'obligation envers les exigences métrologiques existantes et la non communication sur la variabilité de la fiabilité peuvent entraîner une information erronée</li></ul>

# Perspectives

Pour rappel, les matériels de référence d'Air Pays de la Loire (et des autres AASQA) sont soumis à des procédures de contrôle, de maintenance et d'étalonnage réguliers (traçabilité métrologique) que les microcapteurs n'ont pas à suivre. En effet, les méthodes normalisées pour les mesures de référence fixent des critères de performance à respecter durant toute la durée de vie de l'équipement et imposent donc la mise en œuvre de cette traçabilité métrologique (opérations de maintenance et d'étalonnage régulières). Concernant les microcapteurs, de telles exigences ne sont pas – pour le moment – fixées (absence de normalisation). Leurs performances peuvent donc être hétérogènes et ne font pas l'objet de contrôles réguliers. Toutefois, des travaux sont en cours concernant les normes et certifications au niveau de l'Union Européenne et pourront amener Air Pays de la Loire à revoir son positionnement.

Pour le moment, Air Pays de la Loire fait le choix d'utiliser les microcapteurs dans un contexte expérimental, innovant ou pédagogique qui nécessite une phase de test des appareils adaptée à la précision des mesures attendue. Ces usages seront, comme à présent, traduits par des classes de concentrations, ou des indicateurs adaptés aux besoins identifiés. Par ailleurs, ils ne seront pas déployés à des fins réglementaires pour le moment.

Les résultats des derniers challenges Airlab pourront servir de base de référence dans la sélection des microcapteurs (et comme phase de test quand le besoin le permet) après un échange avec Airparif afin de confronter les besoins d'Air Pays de la Loire aux microcapteurs présélectionnés.

Dans son communiqué de presse pour l'annonce des résultats du Challenge Airlab 2021, Airparif identifie une nette amélioration de la qualité des microcapteurs, notamment en mesures d'air intérieur. En revanche, les microcapteurs employés pour effectuer des mesures en mobilité sur des véhicules ou des individus pour caractériser finement l'exposition individuelle, ne présentent toujours pas une justesse de mesure suffisante, due notamment à une trop forte sensibilité à des changements d'environnement, aux variations de l'humidité et de la température.

Plus généralement, dans une volonté de sobriété numérique, Air Pays de la Loire préconise que la mise en place de microcapteurs réponde à un besoin précis et identifié. À ce jour, l'usage des microcapteurs s'inscrit dans une démarche expérimentale et pédagogique et ne permet pas un usage réglementaire pour faire état de la qualité de l'air sur un territoire ou dans l'environnement d'un acteur économique.

Enfin, Air Pays de la Loire recommande aux usagers de microcapteurs de comparer leurs mesures à celles effectuées en temps réel par les appareils de référence d'Air Pays de la Loire. Ces mesures sont mises à disposition librement sur toute la région des Pays de la Loire, en temps réel<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> <https://www.airpl.org/air-exterieur/mesures-en-direct>

# Annexes

- annexe 1 : compléments d'information campagnes comparatives (microcapteurs – analyseurs)
- annexe 2 : Air Pays de la Loire
- annexe 3 : les polluants

# Annexes

## Annexe 1 : compléments d'information campagnes comparatives (microcapteurs – analyseurs)

### Comparaison 1 : Atmotrack, Nantes, 2018-2019

- Constructeur : Atmotrack
- Modèle de capteur : Atmotrack Atmo01
- Conditions d'utilisation (fixe ou mobile / intérieur ou extérieur) : fixe / extérieur
- Temps d'étude : 14 mois
- Polluants étudiés : PM10 et PM2.5
- Appareil de référence : FDMS
- Lieu : Boulevard Victor Hugo (Nantes)
- Conclusions : Malgré des performances métrologiques qui restent à améliorer, il existe différentes manières d'aborder l'utilisation des capteurs Atmotrack, notamment en complément des systèmes de mesure de référence ou au travers d'indicateurs qualitatifs. L'étude indique tout d'abord une performance plus satisfaisante sur les mesures de particules fines PM2.5 que sur les PM10. Par ailleurs, si un suivi direct des niveaux en particules fines est recherché, un suivi des moyennes journalières présentera une meilleure fiabilité. En effet, comme pour l'ensemble des dispositifs de mesure, une moyenne sur un pas de temps plus large permet de réduire les incertitudes. Au vu des résultats de ces comparaisons, Air Pays de la Loire priorisera la mesure par microcapteurs sous l'angle de nouveaux usages, centrés sur la communication et la pédagogie.

### Comparaison 2 : Atmotrack, Saint-Nazaire, 2019

- Constructeur : Atmotrack
- Modèle de capteur : semi-conducteur et détecteur électrochimique (Mems et CC)
- Conditions d'utilisation (fixe ou mobile / intérieur ou extérieur) : fixe / extérieur
- Temps d'étude : 2 mois
- Polluants étudiés : NO<sub>2</sub>
- Appareil de référence : analyseur par chimiluminescence
- Lieu : Rue Jean Jaurès et place des 4 Z'horloges (Saint-Nazaire)
- Conclusions : cette campagne, de deux mois, a permis d'évaluer la pertinence et la performance des capteurs Atmotrack pour la mesure sur une plus longue durée, dans un contexte urbain. Dans ce cadre et compte tenu des objectifs (mesure précise des niveaux en NO<sub>2</sub>, identification des sources et conduite des plans d'action adaptés), les capteurs Atmotrack, bien que faciles d'utilisation, présentent des performances insuffisantes. En effet, différents indicateurs calculés pour comparer la mesure par Atmotrack et la mesure de référence mise en œuvre par Air Pays de la Loire indiquent que les premières peinent à suivre les secondes, tant sur la valeur fournie que dans la variabilité temporelle (faible corrélation entre les mesures de NO<sub>2</sub> par les microcapteurs et les mesures de référence réalisées à l'aide d'analyseurs automatiques).

### Comparaison 3 : Atmotrack, Nantes, 2022

- Constructeur : Atmotrack
- Modèle de capteur : Atmotrack Atmo01
- Conditions d'utilisation (fixe ou mobile / intérieur ou extérieur) : fixe / extérieur
- Temps d'étude : 2 semaines
- Polluants étudiés : PM10 et PM2.5
- Appareil de référence : FDMS
- Lieu : Boulevard des frères Goncourt (Nantes)
- Conclusions : cette campagne comparative présente une meilleure qualité des mesures pour les PM2.5 que pour les PM10. Si les résultats des PM2.5 sont corrects, ils ne permettent pas une utilisation réglementaire. Un usage pédagogique est donc conseillé pour ces deux polluants.

### Comparaison 4 : Atmotrack, Nantes, 2022

- Constructeur : Atmotrack
- Modèle de capteur : semi-conducteur et détecteur électrochimique (Mems et CC)
- Conditions d'utilisation (fixe ou mobile / intérieur ou extérieur) : fixe / extérieur
- Temps d'étude : 3 mois
- Polluants étudiés : NO<sub>2</sub> et NO
- Appareil de référence : analyseur par chimiluminescence
- Lieu : Boulevard des frères Goncourt (Nantes)
- Conclusions : les résultats des mesures de NO<sub>2</sub> sont insatisfaisants et semblent sous-évaluer fortement les concentrations (jusqu'à -80 % pour le microcapteur MEMS). Concernant le NO, les résultats semblent moins mauvais mais leur fiabilité se dégrade dans le temps (quelques semaines, facteur temporel ou météorologique à investiguer).

### Comparaison 5 : Ellona, Saint Gilles Croix de Vie, 2022

- Constructeur : Ellona
- Modèle de capteur : WT1
- Conditions d'utilisation (fixe ou mobile / intérieur ou extérieur) : fixe / extérieur
- Temps d'étude : 2 mois
- Polluants étudiés : NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2.5
- Appareil de référence : analyseur par chimiluminescence (NO<sub>2</sub>) et FDMS (PM10 et PM2.5)
- Lieu : Quai des Greniers (Saint Gilles Croix de Vie)
- Conclusions : malgré une très bonne répétabilité des microcapteurs ( $R^2 > 0,95$ ), les comparaisons avec les appareils de référence montrent une très mauvaise corrélation (surtout pour le NO<sub>2</sub>). Aucun usage n'est donc envisagé pour ces microcapteurs.

# Annexe 2 : Air Pays de la Loire

Air Pays de la Loire est l'organisme agréé par le Ministère de l'Environnement pour assurer la **surveillance de la qualité de l'air de la région des Pays de la Loire** 24h/24 et 7j/7.

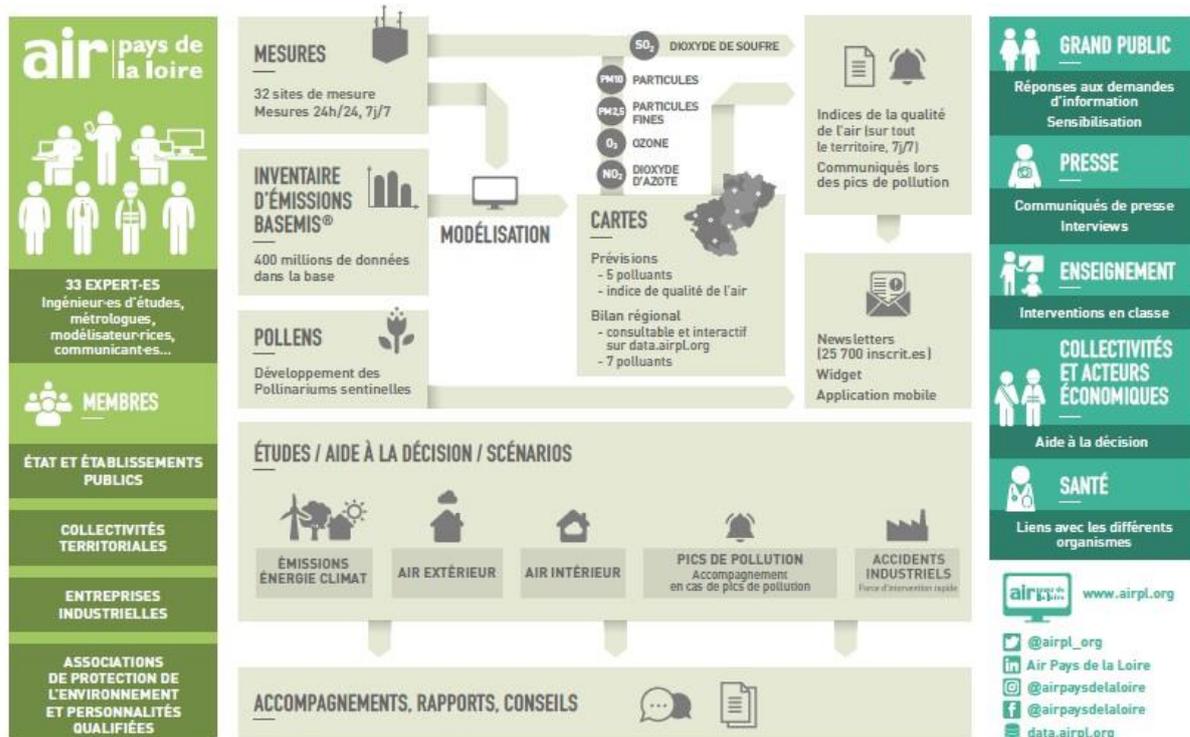
Air Pays de la Loire met quotidiennement à disposition de tous des informations sur la qualité de l'air :

- sur [www.airpl.org](http://www.airpl.org) : mesures en temps réel, prévisions régionales et urbaines, rapports d'études, actualités...
- via des newsletters gratuites : indices de qualité de l'air du jour et du lendemain, alertes pollution et alertes pollens ;
- sur Twitter (@airpl\_org) et Facebook (Air Pays de la Loire)

Ses domaines d'expertise portent sur :

- **qualité de l'air extérieur** : mesures en temps réel, prévisions de qualité de l'air, cartographies, études autour d'industries, dans des zones agricoles...
- **qualité de l'air intérieur** : mesures dans des établissements recevant du public, appui aux collectivités dans les constructions de bâtiments, études spécifiques...
- **émissions, énergie, climat** : inventaire régional des émissions de polluants, gaz à effet de serre et des données énergétiques (BASEMIS®), aide à la décision pour les collectivités (plans climat air énergie territoriaux)...
- **pollens** : diffusion en temps réel des résultats sur la région.

Organisé sous forme pluri-partenaire, Air Pays de la Loire réunit quatre groupes de partenaires : l'Etat, des collectivités territoriales, des industriels et des associations de protection de l'environnement et de défense des consommateurs et des personnalités qualifiées.



# Annexe 3 : les polluants

## L'ozone (O<sub>3</sub>)

C'est le polluant secondaire majeur qui se forme par l'action des ultraviolets du soleil sur les polluants primaires, directement émis par les sources, que sont les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone. C'est un polluant chimique présent au niveau du sol : on parle d'ozone troposphérique que l'on distingue de l'ozone stratosphérique, observé à une vingtaine de kilomètres d'altitude et qui forme la couche d'ozone.

Capable de pénétrer profondément dans les poumons, l'ozone provoque à forte concentration une inflammation et une hyperréactivité des bronches. Des irritations du nez et de la gorge surviennent généralement, accompagnées d'une gêne respiratoire. Des irritations oculaires sont aussi observées.

Les enfants dont l'appareil respiratoire est en plein développement, les asthmatiques, les insuffisants respiratoires chroniques et les personnes âgées sont souvent plus sensibles à la pollution par l'ozone.

Les effets de l'ozone se trouvent accentués par les efforts physiques intenses, lesquels en augmentant le volume d'air inspiré, accroissent celui d'ozone inhalé.

## Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)

Les NO<sub>x</sub> comprennent essentiellement le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ils résultent de la combinaison de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température. Environ 95 % de ces oxydes sont la conséquence de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, charbon et gaz naturel). Le trafic routier (53 %) en est la source principale. Ils participent à la formation des retombées acides. Sous l'action de la lumière, ils contribuent à la formation d'ozone au niveau du sol (ozone troposphérique).

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes. Il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

## Les particules

Les particules constituent en partie la fraction la plus visible de la pollution atmosphérique (fumées). Elles ont pour origine les différentes combustions, le trafic routier et les industries. Elles sont de nature très diverse et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM10), elles restent plutôt en suspension dans l'air. Supérieures à 10 µm, elles se déposent, plus ou moins vite, au voisinage de leurs sources d'émission. Les particules fines, appelées PM2.5 (diamètre inférieur à 2,5 µm) pénètrent plus profondément dans les poumons. Celles-ci peuvent rester en suspension pendant des jours, voire pendant plusieurs semaines et parcourir de longues distances.

La profondeur de pénétration des particules dans l'arbre pulmonaire est directement liée à leurs dimensions, les plus grosses étant arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (enfants, bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

## Le monoxyde de carbone (CO)

Ce gaz provient des combustions incomplètes. Il est émis en grande partie (60 %) par le chauffage urbain, collectif ou individuel. Le trafic routier, vient en deuxième position avec 31 % des émissions. Dans l'atmosphère, il se combine en partie et à moyen terme avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). On le rencontre essentiellement au niveau du sol à proximité des sources d'émission. Il participe avec les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, à la formation d'ozone troposphérique.

Le CO est dangereux car non décelable. Son effet toxique se manifeste à de très faibles concentrations en exposition prolongée. Le CO est principalement un poison sanguin. Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Les premiers symptômes de l'intoxication sont les seuls signaux d'alarme : maux de tête, une vision floue, des malaises légers, des palpitations. Si les concentrations de CO sont élevées, l'intoxication se traduit par des nausées, des vomissements, des vertiges ou, plus grave, un évanouissement puis la mort. La gravité de l'intoxication dépend de la quantité de CO fixé par l'hémoglobine. Elle est donc liée à plusieurs facteurs : la concentration de CO dans l'air, la durée d'exposition et le volume respiré.

## Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

C'est le principal composant de la pollution « acide ». Malgré une diminution de 60 % en France entre 1980 et 1990, du essentiellement à la réduction de la production électrique par les centrales thermiques, le SO<sub>2</sub> provient à plus de 80 % de l'utilisation des combustibles contenant du soufre (fuel et charbon).

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire. Les fortes pointes de pollution peuvent déclencher une gêne respiratoire chez les personnes sensibles (asthmatiques, jeunes enfants...). Les efforts physiques intenses accroissent les effets du dioxyde de soufre. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une très grande proportion du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures. Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond, passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des taux de dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire.

## Le benzène

Le benzène est un composé organique volatil (COV) de la famille des hydrocarbures aromatiques monocycliques. Il est émis lors de la combustion de carburants (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. La combustion du bois et la fumée de cigarette sont également des sources de benzène. Le benzène est classé comme cancérigène de catégorie 1 (cancérigène avérés pour l'Homme) par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC).

## Les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont composés d'atomes de carbone et d'hydrogène dont la structure comprend au moins 2 cycles aromatiques. Ils sont émis à la fois par des sources naturelles (volcans, feux de forêt) et des sources anthropiques (activités humaines telles que l'industrie et transports routiers, ...). Les plus légères (jusqu'à 3 cycles aromatiques) sont présentes à l'état gazeux dans l'air ambiant, et les plus lourdes ont tendance à se fixer sur les particules en suspension. Les HAP sont des molécules biologiquement actives qui, une fois accumulées dans les tissus organiques, se prêtent à des réactions de transformation en métabolite. Ces métabolites ainsi formés peuvent avoir un effet plus ou moins marqué en se liant à des molécules telles que les protéines, l'ARN, l'ADN et en provoquant des dysfonctionnements cellulaires.

Le Benzo(a)pyrène (B(a)P) est l'un des HAP les plus toxiques et le plus étudié, de par son caractère mutagène et fortement cancérigène.



## **AIR PAYS DE LA LOIRE**

5 rue Édouard-Nignon  
CS 70709 – 44307 Nantes cedex 3  
Tél + 33 (0)2 28 22 02 02  
Fax + 33 (0)2 40 68 95 29  
[contact@airpl.org](mailto:contact@airpl.org)

**air** | pays de  
la loire  
[www.airpl.org](http://www.airpl.org)