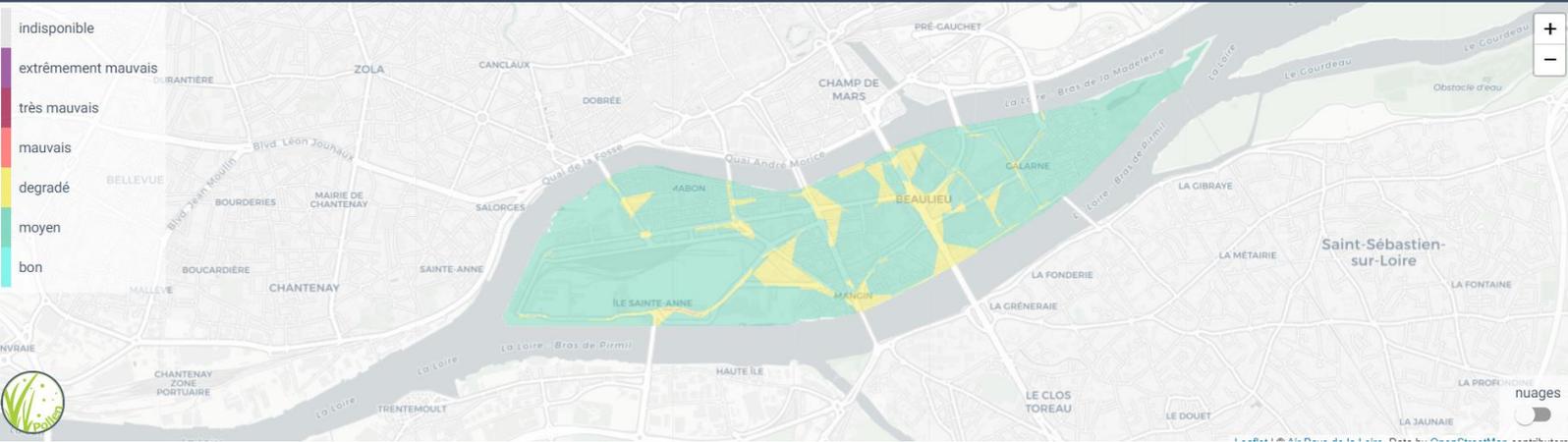


LA CARTE



## Mobico

### Représentation de la qualité de l'air en temps réel sur l'île de Nantes

Note descriptive de la méthodologie mise en place par Air Pays de la Loire



# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>Construction d'un indicateur horaire de qualité de l'air à l'échelle du quartier.....</b>	<b>5</b>
<b>Intégration des données de systèmes capteurs aux outils numériques Air Pays de la Loire .....</b>	<b>9</b>
<b>Développement d'une plateforme web à destination des citoyens à l'échelle de l'île de Nantes .....</b>	<b>16</b>
<b>Conclusions et perspectives.....</b>	<b>17</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>19</b>

## Contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Camille Magnan, Frédéric Penven.

Développements : Frédéric Penven, Julien L'Honoré, Mickael Charuel,.

Validation : Karine Pierre, 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 1<sup>er</sup> août 2019 pris par le Ministère chargé de l'Environnement.

A 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 partenaires acteurs de ce projet (Samoa, Atmotrack, APSF, Nantes City Lab, Banque des territoires, Design9).

# Introduction

Cette note technique décrit la méthodologie mise en œuvre dans le cadre d'une expérimentation en 3 étapes, entre les partenaires Air Pays de la Loire, la Samoa et Atmotrack visant à rendre accessible, unique et simple, l'information de qualité de l'air pour les citoyens.

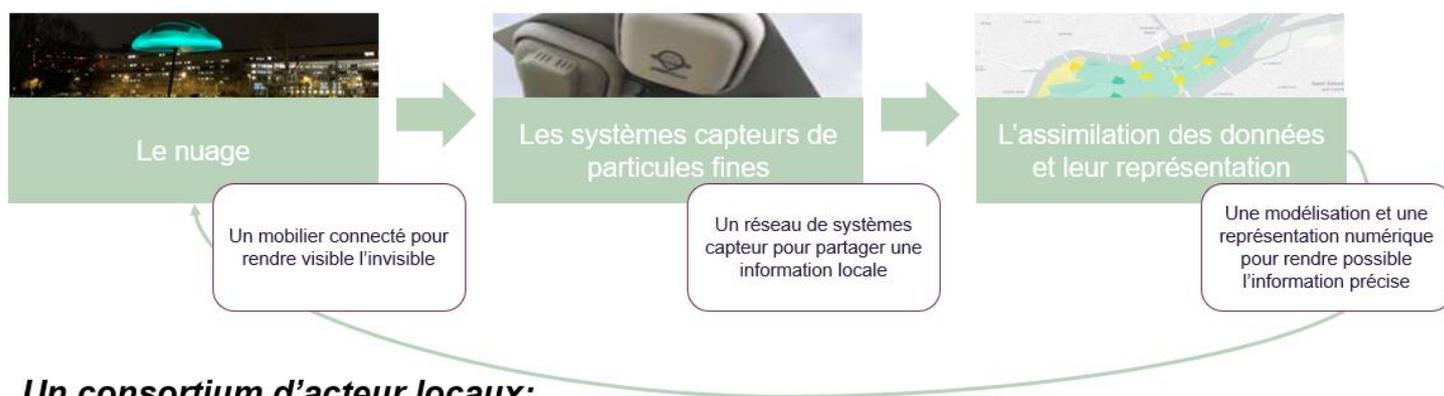
Dans ce contexte, Air Pays de la Loire s'est vue attribuer par la Samoa une mission de recherche et développement dont le premier objectif est de construire un indicateur local et horaire de qualité de l'air facilement compréhensible du grand public et utile aux politiques publiques comme levier d'actions dans le but d'améliorer la qualité de l'air en milieu urbain.

Le second objectif vise à intégrer les données issues des systèmes capteurs Atmotrack aux outils numériques d'Air Pays de la Loire afin de valider et d'exploiter la complémentarité des outils disponibles sur le territoire. Enfin, le dernier objectif vise l'appropriation citoyenne de ces données techniques et se traduit par le développement d'une plateforme partageant une cartographie précise de la qualité de l'air (à l'échelle de la rue) sur l'ensemble de l'île de Nantes.

Cette note décrit les méthodologies mises en place pour les différentes étapes techniques de ce projet :

- Construction de l'indicateur horaire de qualité de l'air à l'échelle du quartier
- Intégration des données de systèmes capteurs aux outils numériques Air Pays de la Loire
- Développement d'une plateforme web à destination des citoyens à l'échelle de l'île de Nantes

Ces étapes techniques visant à rendre accessible pour tous une donnée horaire, simple et unique de qualité de l'air s'inscrivant dans une démarche expérimentale globale pilotée par la Samoa :



## Un consortium d'acteur locaux:



Cette démarche initiée en 2019 a permis à des acteurs locaux de travailler de concert pour sensibiliser les citoyens à la qualité de l'air et à s'approprier le sujet pour le prendre en compte dans leur quotidien.

# Construction d'un indicateur horaire de qualité de l'air à l'échelle du quartier

L'indicateur habituellement partagé par Air Pays de la Loire, et les autres associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) est un indicateur journalier appelé « indice ATMO ». Il est partagé quotidiennement à l'échelle des communes ou des EPCI. Dans une volonté de préciser, temporellement et géographiquement, cet indice pour améliorer son usage et inciter les citoyens à changer leurs comportements, Air Pays de la Loire a souhaité calculer un nouvel indicateur horaire à l'échelle du quartier. Ce dernier se base sur la méthode de calcul de l'indice ATMO adapté à l'heure et au quartier.

## Indice ATMO

L'indice ATMO est un indicateur journalier de la qualité de l'air. Il est calculé à partir de plusieurs polluants réglementés et permet d'informer les citoyens sur la qualité de l'air au quotidien. Cet indice s'est vu modifier en janvier 2021 afin d'intégrer un nouveau polluant (les particules PM2.5) et de proposer une meilleure qualification de la qualité de l'air en lien avec les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé et l'obligation de plans d'actions dans les zones en dépassement.

plus d'explications : <http://www.airpl.org/Publications/actualites/11-12-2020-un-nouvel-indice-de-qualite-de-l-air-en-janvier-2021-quelles-nouveautes>).

### Polluants concernés

Les polluants pris en compte dans l'indice ATMO (et dans l'indicateur horaire du projet) sont les suivants :

- ✓ Les particules fines (PM10 et PM2.5)
- ✓ Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)
- ✓ L'ozone (O<sub>3</sub>)
- ✓ Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

Il s'agit des principaux polluants atmosphériques réglementés. L'annexe 1 donne plus d'informations sur ces polluants et notamment leurs effets sur la santé.

Dans l'agglomération nantaise, la problématique de la qualité de l'air se focalise sur :

- les particules fines (PM10, PM2,5) qui peuvent dépasser les valeurs réglementaires notamment lors d'épisodes de pollution à plus grande échelle ;
- le dioxyde d'azote en proximité de voies à fort trafic automobile ;
- l'ozone lors d'épisodes de canicule en période estivale.

### Définition de l'indice

L'indice ATMO peut être décrit selon 6 qualificatifs. Chaque qualificatif renvoi à un code couleur spécifique en cohérence avec les couleurs de l'indice européen de qualité de l'air et est calculé selon les niveaux de pollution des différents polluants.

valeur	Qualificatif associé	Couleurs associées	R	V	B	Hexadécimal
1	Bon		80	240	230	#50F0E6
2	Moyen		80	204	170	#50CCAA
3	Dégradé		240	230	65	#F0E641
4	Mauvais		255	80	80	#FF5050
5	Très Mauvais		150	0	50	#960032
6	Extrêmement Mauvais		135	33	129	#872181

Il n'y a pas de valeur chiffrée de l'indice ATMO dans sa définition, toutefois elle doit pouvoir être utilisée pour faciliter le stockage de l'information en base de données.

Un qualificatif est attribué à chaque polluant suivant sa concentration et appelé sous-indice. L'échelle de concentrations suivante a été retenue :

		Indice arrêté du 10 juillet 2020					
		Bon	Moyen	Dégradé	Mauvais	Très mauvais	Extrêmement mauvais
Moyenne journalière	PM2.5	0-10	11-20	21-25	26-50	51-75	>75
Moyenne journalière	PM10	0-20	21-40	41-50	51-100	101-150	>150
Max horaire journalier	NO2	0-40	41-90	91-120	121-230	231-340	>340
Max horaire journalier	O3	0-50	51-100	101-130	131-240	241-380	>380
Max horaire journalier	SO2	0-100	101-200	201-350	351-500	501-750	>750

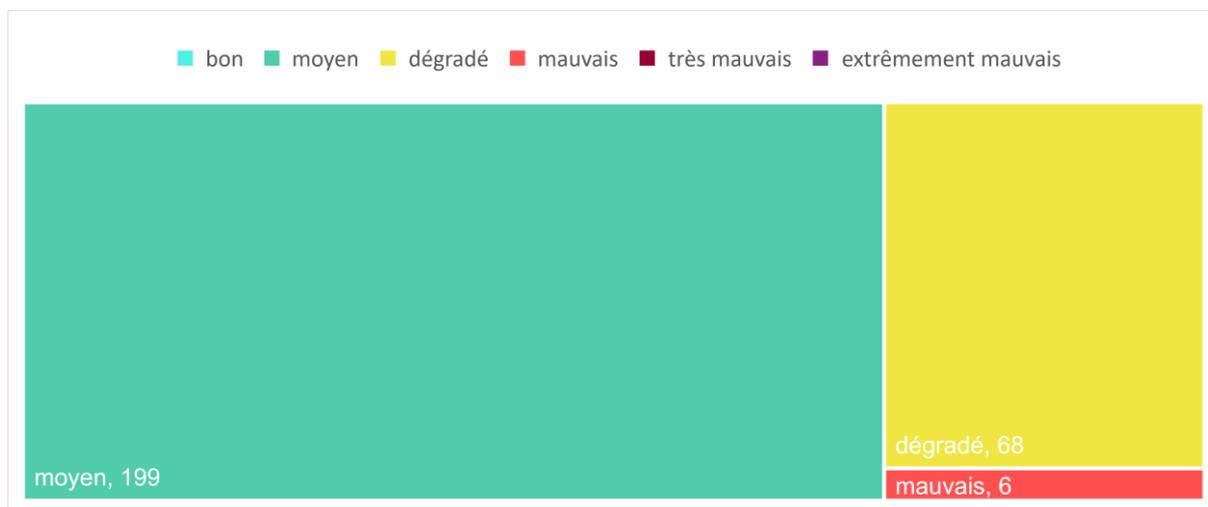
L'indice ATMO de la zone considérée, correspond au qualificatif le plus dégradé, par exemple : si tous les polluants ont comme sous-indice « Moyen » sauf l'O3 dont le sous-indice est « Dégradé », alors l'indice ATMO sera fixé à « Dégradé ».

### Agrégation spatiale du nouvel indice ATMO

Pour chaque polluant, un sous-indice est calculé chaque jour à partir d'une agrégation des niveaux du polluant considéré sur l'ensemble du territoire concerné (commune ou EPCI). La méthode d'agrégation de l'indice ATMO sur un territoire donné (commune ou EPCI) est le maximum des maxima horaires journaliers (NO2, O3, SO2) ou le maximum des moyennes journalières (PM10 et PM2.5).

Le calcul d'agrégation s'applique au niveau de fond de pollution uniquement, les concentrations en proximité de trafic ou d'un émetteur particulier ne sont donc pas prises en compte.

A Nantes, l'indice est majoritairement moyen (3 jours sur 4) et dégradé (1 jour sur 4) comme le montre ce graphique basé sur les 3 premiers trimestres de l'année 2021 :



*Répartition des indices ATMO à Nantes sur les 3 premiers trimestres de 2021 (en nombre de jours).*

### Adaptation nécessaire de l'indice ATMO

L'indice ATMO est défini au pas de temps journalier et ne permet pas de fournir une information en temps réel sur la qualité de l'air pour aider les usagers à adapter leur quotidien de manière dynamique. Il est également défini le plus finement à l'échelle de la commune et ne permet pas de caractériser la qualité de l'air d'un quartier comme l'île de Nantes.

Air Pays de la Loire a donc travaillé à adapter cet indice en un indicateur plus local et « temps réel ».

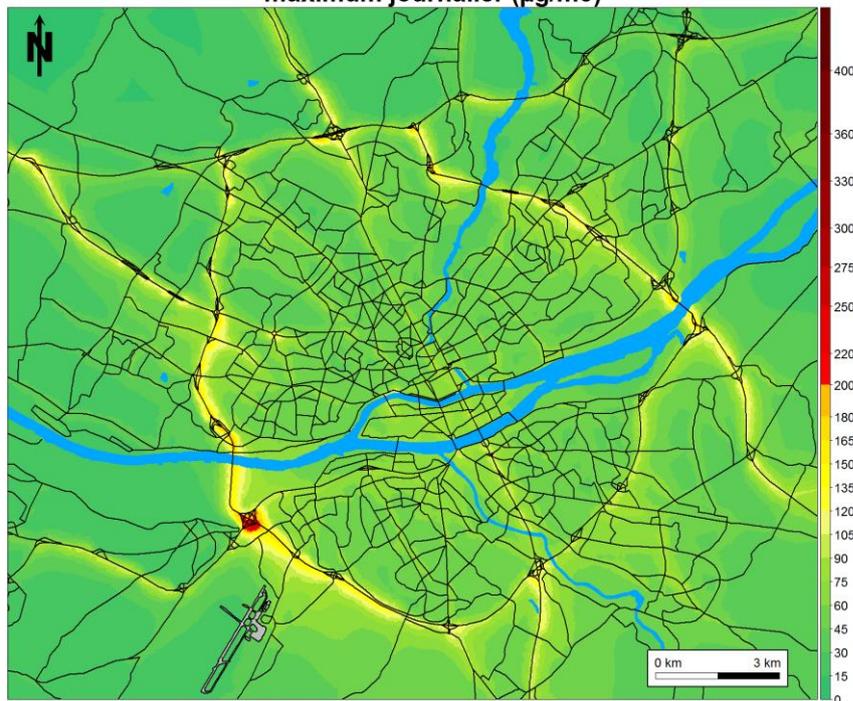
# Indicateur temps réel et local de la qualité de l'air

Cette première étape s'inscrit dans la démarche expérimentale suivante :



Pour définir un indicateur horaire et local à l'échelle du quartier, les données fournies par le système de prévision urbaine de la qualité de l'air de Nantes sont utilisées.

## dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) à Nantes - 04/02/2020 maximum journalier (µg/m<sup>3</sup>)



source : Air Pays de la Loire

## Indicateur horaire

Le système de prévision d'Air Pays de la Loire fournit des prévisions horaires sur une période allant de la veille au surlendemain. A chaque heure, un indicateur horaire est alors calculé en se basant sur la table des seuils de l'indice ATMO journalier. Pour les particules, la moyenne des concentrations prévues sur les 24 dernières heures est comparée aux seuils définis pour des données journalières. Pour les autres polluants, la concentration horaire prévue est directement comparée aux seuils horaires de l'indice ATMO.

Toujours en se basant sur l'indice ATMO, l'indicateur final prend 3 valeurs correspondants aux 3 couleurs prises par le nuage connecté :

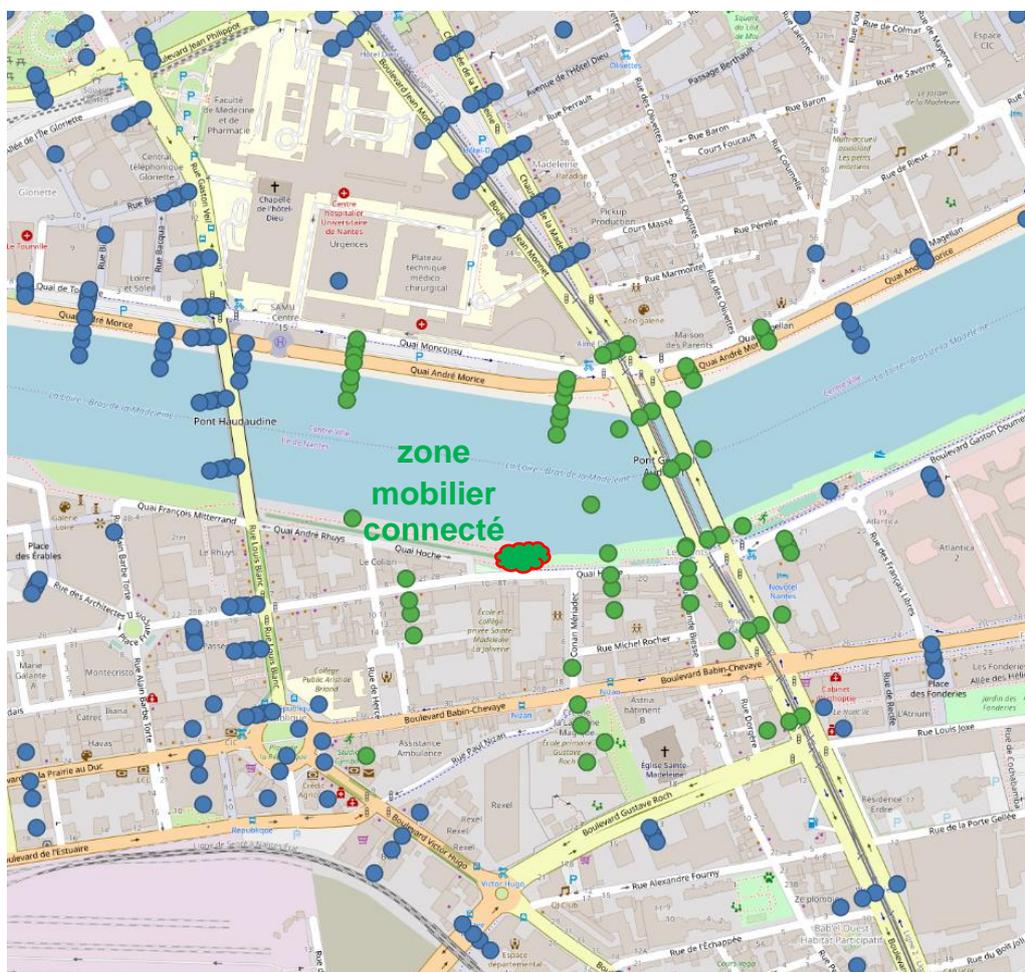
indice ATMO	Bon	Moyen	Dégradé	Mauvais	Très Mauvais	Extrêmement Mauvais
indicateur	1	1	2	2	3	3
couleur	vert	vert	orange	orange	rouge	Rouge

NB : depuis mai 2021, une modification a été apportée au mobilier connecté permettant d'afficher les 6 couleurs de l'indice ATMO, il utilise donc l'indicateur calculé à l'implantation du micro-capteur le plus proche présenté dans la partie suivante.

## Indicateur local

La construction de cet indicateur variable dans la journée permet ainsi d'aider le citoyen à adapter ses usages en zone urbaine. Il alimente le mobilier connecté installé quai Hoche sur l'île de Nantes et permet ainsi de rendre visible l'invisible. L'appel d'offres lancé par la SAMOA en 2019 a donné lieu à la construction d'un banc surmonté d'un nuage (créé par Design9) nommé « Le Nuage ». Ce dernier change de couleur en fonction de l'indicateur horaire de qualité de l'air.

Le calcul de l'indicateur se limite au quartier où se trouve le mobilier connecté (250m autour du nuage). Cette zone regroupe 70 points de calcul du modèle de prévision d'Air Pays de la Loire.



carte des points de calcul du modèle Air Pays de la Loire sur l'île de Nantes

L'indicateur horaire final est calculé sur une donnée agrégée sur l'ensemble des 70 points de calcul. Une étude de sensibilité a été menée pour définir le critère d'agrégation optimal permettant une répartition proportionnée des valeurs d'indice. Trois paramètres ont ainsi été testés :

- ✓ moyenne
- ✓ maximum (correspondant à la définition de l'agrégation dans l'indice ATMO)
- ✓ percentile 90 : valeur en-dessous de laquelle se situent 90% des données

Le tableau ci-dessous présente les résultats de cette étude sur un historique de 6 mois de données de prévision (17 janvier-16 juillet 2019) :

Agrégation	vert (1)	orange (2)	rouge (3)
Moyenne	57%	34%	9%
percentile 90	49%	31%	20%
Maximum	40%	26%	34%

L'agrégation par le percentile 90 est celle qui a été retenue car elle présente la répartition la plus équilibrée des couleurs (décroissance progressive de la fréquence du vert au rouge).

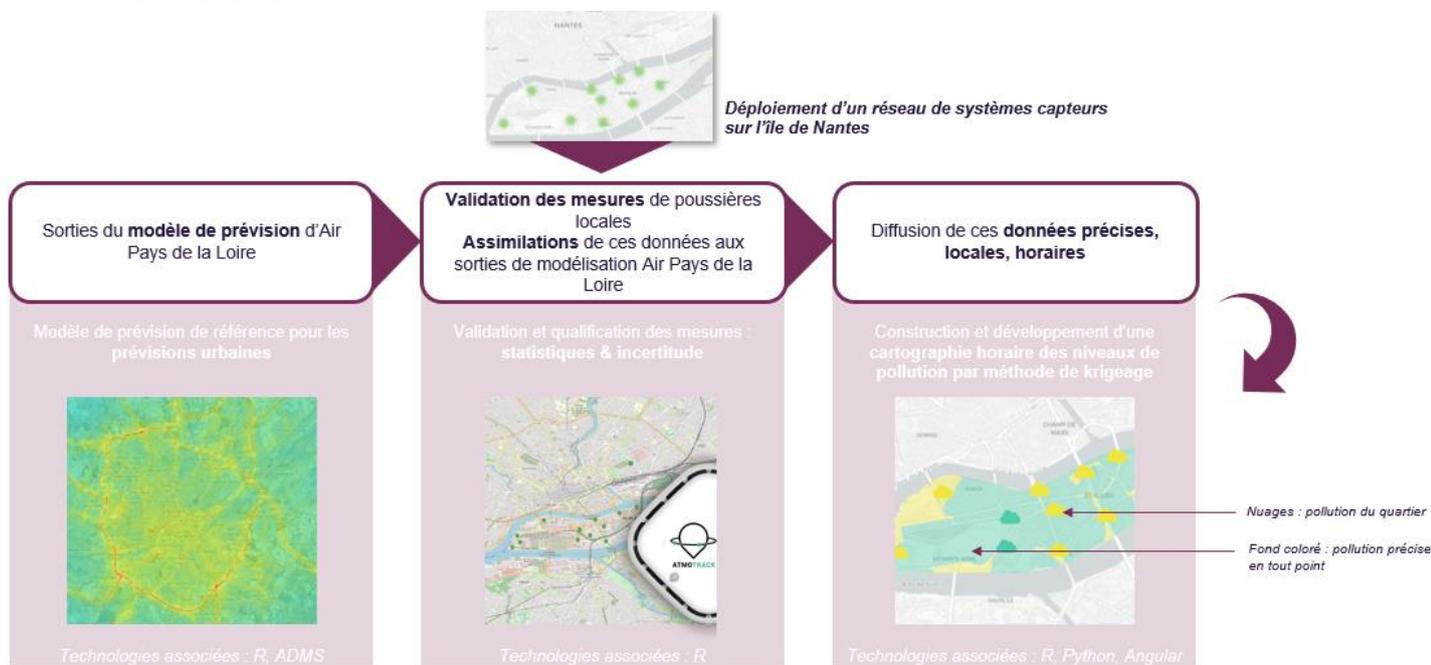
## Livrable

Les données de l'indicateur ainsi défini sont calculées sur la zone et transmises quotidiennement sous la forme d'un flux (api web) à l'adresse <https://data.airpl.org/api/v1/mobico/>. Ces données alimentent à fréquence horaire le mobilier connecté.

De plus, une information sur les pollens en cours d'émission est disponible au pied du mobilier connecté. Cette information est issue du pollinarium sentinelle de Nantes (API fournie par l'APSF).

# Intégration des données de systèmes capteurs aux outils numériques Air Pays de la Loire

A la suite des premiers travaux autour du mobilier connecté et du déploiement de systèmes capteurs par la start-up Atmotrack sur l'île de Nantes, un travail portant sur la construction d'une cartographie détaillée de la qualité de l'air sur l'ensemble de l'île de Nantes a été réalisé afin d'étendre la disponibilité de l'information de qualité de l'air à l'ensemble de l'île.



Cette étape comprend notamment l'intégration des données issues des systèmes capteurs aux outils numériques d'Air Pays de la Loire et a nécessité les travaux de validation et de qualification décrit ci-dessous.

# Déploiement d'un réseau de systèmes capteurs sur l'île de Nantes



Une quinzaine de systèmes capteurs Atmotrack ont été installés sur différents sites de l'île de Nantes et sur la station de mesure de référence d'Air Pays de la Loire dans le cimetière de la Bouteillerie.

Ces systèmes capteurs fournissent des données instantanées de concentrations de particules fines PM10 et PM2,5 et pour certains de dioxyde d'azote NO2, d'ammoniac NH3, de monoxyde de carbone CO et des paramètres caractérisant l'environnement du capteur comme le bruit, la température et l'humidité.

Les données ont été mise en base de données et agrégées aux pas de temps quart-horaire et horaire pour la suite de cette étude.

Pour des raisons de fiabilité de la donnée, seules les données en particules fines ont été prises en compte et soumises à une validation et une qualification.

## Validation temps réel des données de micro-capteurs

Les données quart-horaires ont fait l'objet d'une validation sur l'historique de mesure depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020 afin d'isoler et d'invalider les valeurs aberrantes à partir d'une série de tests statistiques :

- ✓ test des outliers : les valeurs au-delà des limites du graphique appelé « boîte à moustaches » sont considérées comme aberrantes ;
- ✓ filtre de Hampel : test similaire au précédent mais prenant en compte la médiane et la médiane des écarts à la médiane ;
- ✓ test de Grubbs : test statistique permettant de détecter si une valeur est aberrante en termes de dispersion par rapport à la moyenne. Ce test est appliqué sur l'historique complet de chaque capteur ;
- ✓ test de Dixon : test statistique basé sur le rapport entre l'écart entre cette valeur et la valeur la plus proche et l'écart entre cette valeur et la valeur la plus éloignée. Ce test est adapté aux petits échantillons de données et est appliqué sur un historique récent de chaque capteur.

Les tests conduisent à écarter moins de 1% des données quart-horaire fournies.

Notons que les données horaires ont été calculées en moyennant les données quart-horaires à condition d'avoir un taux de données valides supérieur ou égal à 75% (au moins 3 quart-horaires valides sur 4).

## Qualification des données de micro-capteurs pour les particules fines PM10 et PM2,5

La qualification des données se base sur le calcul de l'incertitude de chaque mesure afin de pouvoir la considérer comme équivalente à la mesure de référence. Cette incertitude permet de définir s'il est possible de déterminer le sous-indice des particules fines grâce au : *si l'incertitude est trop élevée, la mesure est invalidée car il ne sera pas possible de déterminer ce sous-indice.*

Les données de particules fines mesurées par les micro-capteurs utilisées dans le calcul de l'indicateur de qualité de l'air ont fait l'objet d'une expertise approfondie visant à évaluer leur incertitude ou plus exactement l'incertitude minimale requise pour considérer la mesure comme non significativement différente de la mesure de référence délivrée par les appareils Air Pays de la Loire de la station Bouteillerie à Nantes.

Le principe repose sur le calcul du critère de performance par écart normalisé entre la mesure de référence et la mesure du micro-capteur colocalisé avec le site de référence, qui doit être inférieur à 1 pour considérer l'équivalence des mesures (critère issu de la norme NF ISO 13528 - Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons inter-laboratoires)

$$E_n = \frac{C_\mu - C}{\sqrt{U_\mu^2 + U^2}}$$

avec :

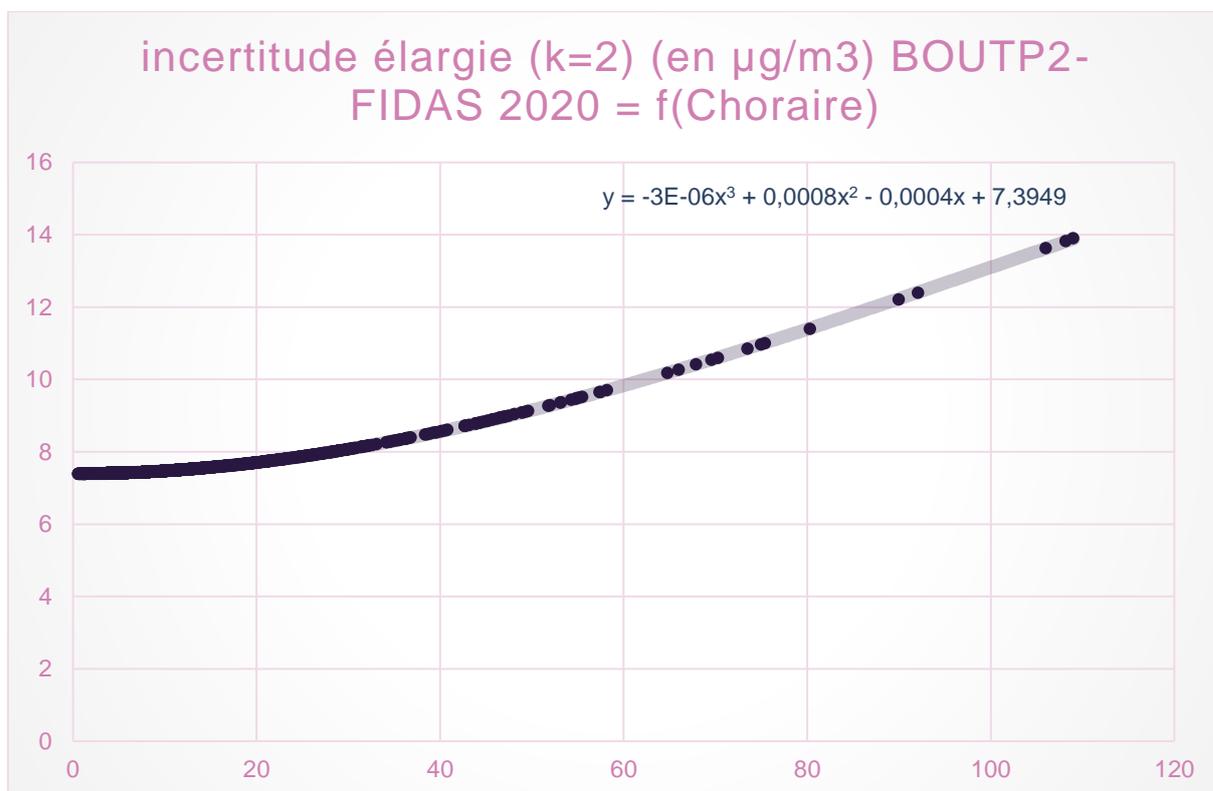
$C_\mu$  la concentration mesurée par le micro-capteur,  $C$  la concentration mesurée par la station de référence,  $U_\mu$  l'incertitude de la mesure par micro-capteur et  $U$  l'incertitude de la mesure de référence.

La condition d'équivalence des mesures  $E_n = 1$  conduit à la formule de l'incertitude minimale de la mesure par micro-capteur suivante :

$$U_\mu = \sqrt{|(C_\mu - C)^2 - U^2|}$$

L'incertitude de la mesure de référence est estimée en appliquant le fascicule de documentation FD X43-070-6 (Qualité de l'air - Guide pratique pour l'estimation de l'incertitude de mesure des concentrations en polluants dans l'air ambiant - Partie 6 : estimation des incertitudes sur les concentrations massiques de particules mesurées en automatique), modélisable par une fonction polynomiale de degré 3 à partir des résultats de calculs d'incertitude sur les concentrations horaires de référence mesurées en 2020 :

$$U = aC^3 + bC^2 + cC + d$$



Graphique de l'incertitude de référence en fonction de la concentration horaire mesurée par l'appareil de référence.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients des fonctions polynomiales de chaque mesure horaire de référence :

mesure	a	b	c	d
BOUTP2-FDMS	-1,13E-05	0,002269977	0,00350444	6,477452607
BOUTP2-FIDAS	-2,74E-06	0,00084885	-0,000449206	7,394941554
BOUTPS-FDMS	-4,80E-06	0,001314522	-0,000511408	8,982495232
BOUTPS-FIDAS	-3,26E-06	0,000987652	0,000470402	7,38929429

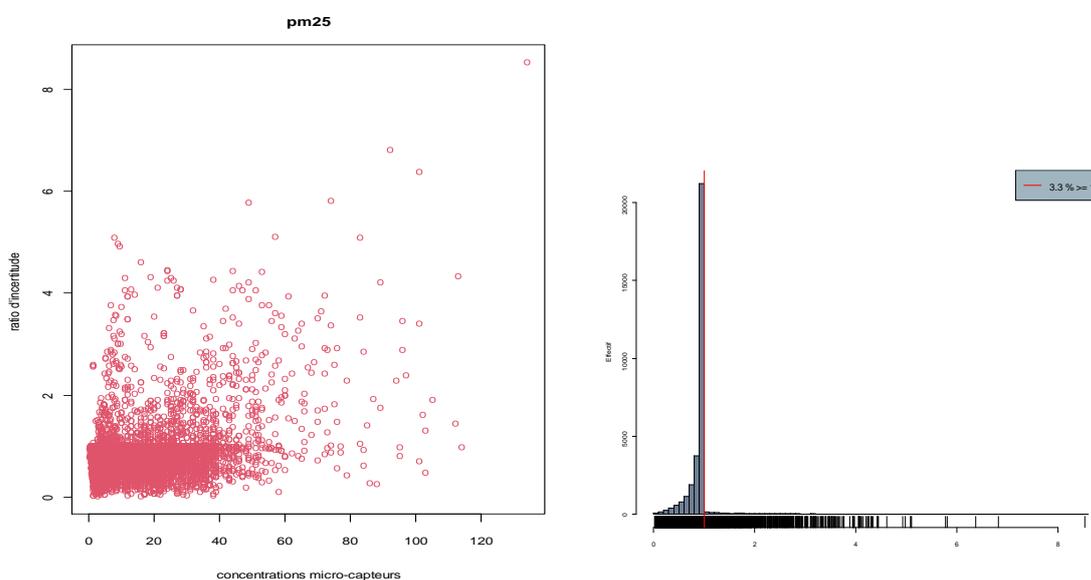
Ces coefficients permettent donc d'estimer l'incertitude de référence (U) à partir de la concentration mesurée par l'appareil de référence (C).

Pour finaliser le calcul de l'incertitude minimale de la mesure par micro-capteur en fonction de la concentration horaire mesurée par micro-capteur, des ratios d'incertitudes ont été calculés sur l'historique de données disponibles

à partir de tous les micro-capteurs installés sur la station de Bouteillerie afin d'appliquer ensuite ces ratios aux autres micro-capteurs :

$$r = \frac{U_u}{U}$$

Le graphe ci-dessous représente le ratio d'incertitude en fonction de la concentration mesurée par le micro-capteur pour les particules PM2,5 :



*Nuage de points des ratios d'incertitude en fonction de la concentration horaire mesurée par micro-capteur.*

Pour les particules PM2,5, le ratio varie de 0 à 5 avec une très grande majorité des valeurs de ratio se trouvent inférieures à 1 (97%).

Afin de pouvoir estimer ces ratios en fonction de la concentration mesurée par le micro-capteur, des ratios moyens par plage de concentrations de 5 µg.m-3 ont été calculés.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des ratios moyens par classe de concentrations mesurées par les micro-capteurs :

	classes	pm25	pm10	no2
1	[0,5]	<b>0,90</b>	0,89	4,31
2	(5,10]	<b>0,93</b>	0,97	1,10
3	(10,15]	<b>0,90</b>	0,99	2,55
4	(15,20]	<b>0,87</b>	1,02	3,89
5	(20,25]	<b>0,87</b>	0,90	5,42
6	(25,30]	<b>0,92</b>	0,87	6,76
7	(30,35]	<b>0,88</b>	1,08	7,64
8	(35,40]	<b>1,00</b>	1,31	7,38
9	(40,45]	1,36	1,66	10,18
10	(45,50]	1,50	1,89	12,87

11	(50,55]	1,49	1,99	NA
12	(55,60]	1,77	2,31	NA
13	(60,65]	2,14	2,46	NA
14	(65,70]	1,84	2,70	NA
15	(70,75]	2,41	2,85	NA
16	(75,80]	1,37	3,00	NA
17	(80,85]	2,21	3,24	NA
18	(85,90]	1,69	3,24	NA
19	(90,95]	2,72	3,35	NA
20	(95,100]	2,91	3,97	NA
21	(100,105]	2,26	3,41	NA
22	(105,110]	NA	4,56	NA
23	(110,115]	2,25	2,95	NA
24	(115,120]	NA	6,86	NA
25	(120,125]	NA	4,38	NA
26	(125,130]	NA	4,72	NA
27	(130,135]	8,53	5,94	NA
28	(135,140]	NA	3,80	NA
29	(140,145]	NA	3,81	NA
30	(150,155]	NA	4,89	NA
31	(180,185]	NA	12,60	NA

Pour les particules PM2,5, les concentrations mesurées par les micro-capteurs se situent majoritairement dans les plages allant jusqu'à 40 µg.-m-3 et les ratios (en gras dans le tableau) sont alors en moyenne inférieurs à 1. Cela signifie que l'incertitude minimale requise du micro-capteur pour considérer les mesures comme équivalentes au sens de l'écart normalisé est du même ordre de grandeur que celle de la mesure de référence (considérant que la mesure de référence possède une qualité métrologique supérieure à celle du micro-capteur). Au de là de ce seuil les données micro-capteurs ont une incertitude plus élevée qui atteint rapidement le double de l'incertitude de référence. En conclusion, les données de micro-capteur sont plus fiables dans les faibles concentrations.

Air Pays de la Loire a ainsi pu estimer l'incertitude minimale requise de la mesure par micro-capteur ( $U_\mu$ ) à partir des concentrations horaires mesurées par les micro-capteurs colocalisés ( $C_\mu$ ) et l'appareil de mesure de référence (C) de la station Bouteillerie selon la formule :

$$U_\mu = U(C) \cdot r(C_\mu) \text{ donc } U_\mu = (aC^3 + bC^2 + cC + d) \cdot r(C_\mu)$$

Après application de la loi de propagation des incertitudes<sup>1</sup> sur les données 24h à partir des données horaires, les données de particules utilisées pour le calcul de l'indice ATMO sont les moyennes glissantes sur 24h aussi la formule suivante a été appliquée pour déterminer l'incertitude sur 24h :

$$U_{24h} = \frac{\sum_1^n U_h}{\sqrt{n}}$$

## Intégration des mesures locales de particules aux prévisions de la qualité de l'air

Une fois la mesure validée puis qualifiée, les données de particules fines PM10 et PM2,5 sont fusionnées aux données de prévision urbaine agrégées.

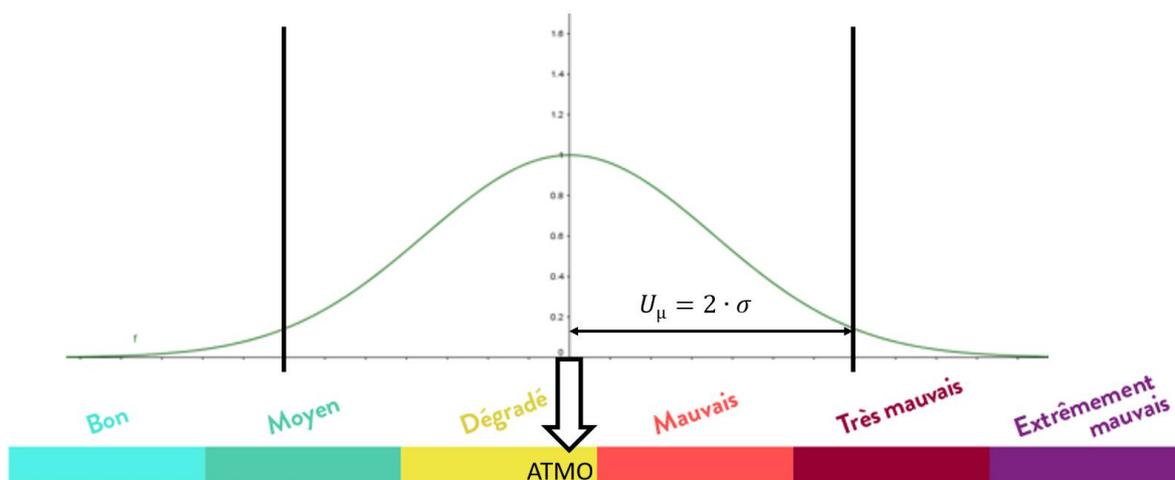
Le système de prévision urbaine d'Air Pays de la Loire permet de fournir le même indicateur que celui développé pour le mobilier connecté sur chacun des emplacements des systèmes capteurs.

Le sous-indice PM10 et PM2,5 estimé à partir des mesures de micro-capteur est calculé à partir des incertitudes minimales estimées. En effet, en faisant l'hypothèse que les données suivent une loi normale, il est possible de

<sup>1</sup> *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM : 1995)*

calculer une probabilité de chaque valeur de l'indice en considérant l'incertitude comme l'incertitude élargie couvrant ainsi l'étendue de l'intervalle de confiance à 95%.

$$U_{\mu} = 2 \cdot \sigma$$



Graphique de répartition de l'indicateur en fonction de l'incertitude

Le sous-indice mesuré pour les particules PM10 et PM2,5 est alors la valeur la plus probable et remplace la valeur issue du système de prévision urbaine de Nantes.

Si aucun des qualificatifs de l'indice ne présente une probabilité suffisamment élevée pour pouvoir déterminer l'indicateur (probabilité > 50%) parce que l'incertitude minimale requise pour garantir l'équivalence est trop étendue, alors le sous-indice mesuré n'est pas pris en compte dans la fusion et c'est donc le sous-indice prévu par le modèle qui est affiché sur la carte.

Si plusieurs capteurs se trouvent sur un même emplacement, le sous-indice final est la moyenne des sous-indices de chaque micro-capteur.

Cela permet d'obtenir une carte de nuages colorés en fonction de la valeur de l'indicateur horaire calculé par le système de prévision urbaine de Nantes et corrigé si l'incertitude le permet par la mesure de micro-capteur.



Quelle qualité de l'air pour les quartiers de l'île de Nantes ?



Les données de l'indicateur de qualité de l'air calculées sur l'ensemble des emplacements systèmes capteurs sont transmises toutes les heures sous la forme d'un flux de données (api web) à l'adresse :

<https://data.airpl.org/api/v1/factile/>

NB : cette API est également utilisée pour alimenter le mobilier connecté depuis la mise à jour de l'indice ATMO (2021)

# Construction de la carte de la qualité de l'air

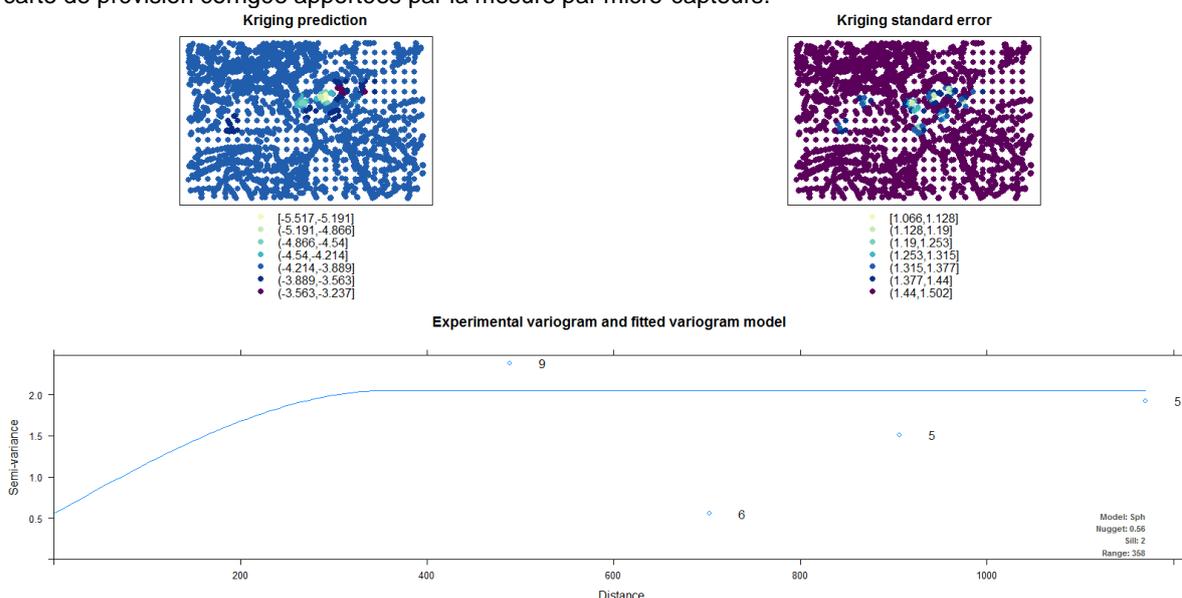
Pour aller plus loin et fournir une information en tout point du territoire de l'île de Nantes, Air Pays de la Loire a mis en œuvre de nouveaux développements permettant la fourniture d'une cartographie de l'indicateur défini précédemment et intégrant la mesure des micro-capteurs pour les particules sur l'ensemble de l'île de Nantes.

L'outil de prévision urbaine d'Air Pays de la Loire fournit des concentrations des 5 polluants (PM10, PM2.5, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>)<sup>2</sup> sur un ensemble de point de calcul qui permettent de produire des cartographies des polluants sur l'ensemble de l'île de Nantes.

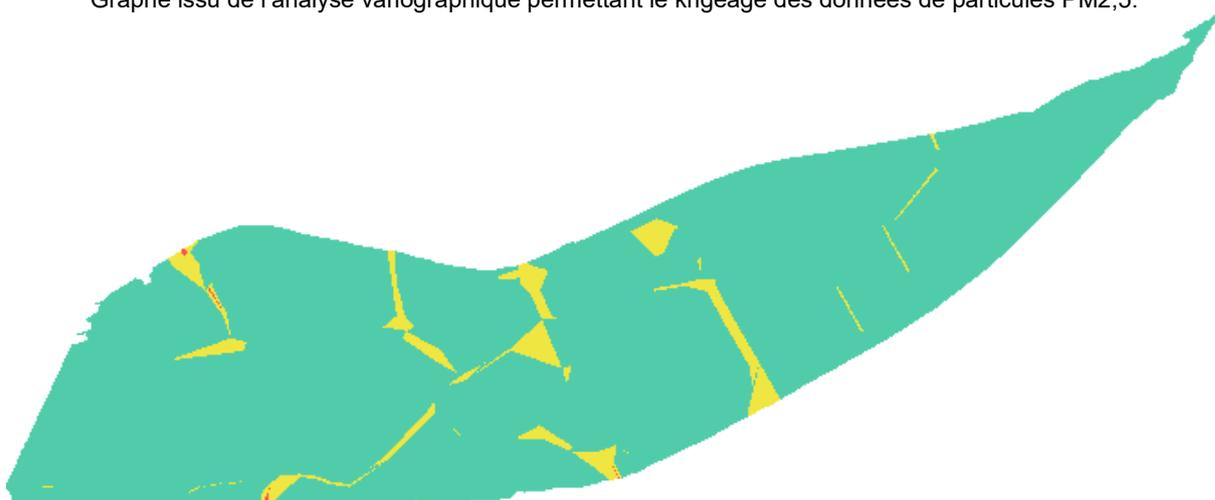
Pour les particules PM10 et PM2,5, les données de prévision ont été corrigées par les données des mesures par micro-capteur validées et qualifiées.

Pour représenter les cartes de prévision modifiées par l'intégration des micro-capteurs, une correction par krigeage a été réalisée. Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées notamment les écarts entre la prévision et la mesure aux coordonnées d'implantation des micro-capteurs.

La dispersion de ces écarts est modélisée à l'aide notamment d'un variogramme qui permet de définir une relation mathématique entre la variation des écarts et la distance entre les points. Cette fonction permet au krigeage de répartir dans l'espace les écarts qui sont ensuite ajoutées aux données de prévision pour obtenir finalement une carte de prévision corrigée apportées par la mesure par micro-capteurs.



Graphique issu de l'analyse variographique permettant le krigeage des données de particules PM2,5.



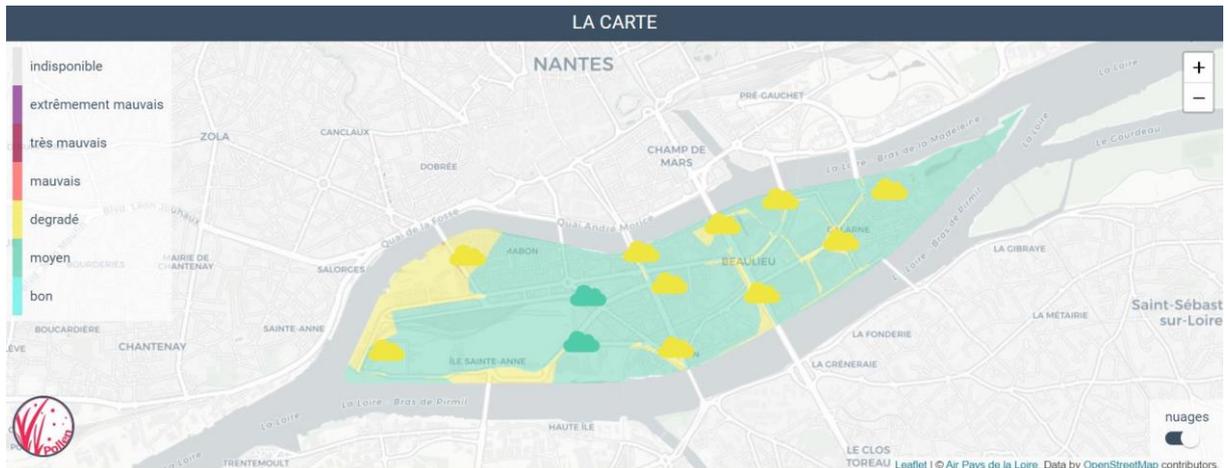
Carte du sous-indice PM2,5 issu du krigeage des prévisions du modèle Air Pays de la Loire et des données de micro-capteurs sur l'île de Nantes

De même que pour l'indicateur représenté sous forme de nuage, la carte finale représente l'indicateur défini comme le maximum des 5 sous-indices de polluants incluant les sous-indices corrigés par la mesure pour les particules PM10 et PM2,5.

<sup>2</sup> suite à consensus national (compte tenu des niveaux urbains mesurés), l'indicateur pour le SO<sub>2</sub> est toujours considéré comme bon.

# Développement d'une plateforme web à destination des citoyens à l'échelle de l'île de Nantes

La carte globale de la qualité de l'air sur l'île de Nantes à l'échelle de la rue ainsi qu'à l'échelle du quartier (avec le détail du polluant déterminant) est disponible sur une page web développée à cet effet (technologies Python Django & Angular). Celle-ci est complétée par une présentation des polluants pris en compte ainsi que le déroulé du projet : <https://data.airpl.org/expelDN/>.



*Carte de l'indicateur de qualité de l'air intégrant prévision et mesure sur l'île de Nantes.*

Enfin, une information journalière à l'échelle de la ville sur les pollens en cours d'émission vient compléter cette carte. Elle est disponible grâce à une API fournie par l'APSF (Association des Pollinarius sentinelles de France).

# Conclusions et perspectives

Les innovations technologiques mises en œuvre au cours de cette expérimentation et l'implication des partenaires ont permis de construire une donnée unique et précise mise à disposition des citoyens par différents moyens numériques.

Cette expérimentation répond aux préoccupations environnementales croissantes des citoyens et leur donne des outils afin de s'approprier les informations et de leur donner les clés pour agir.

L'expérimentation sur l'espace public permet de tester des solutions et mesurer leur efficacité de manière ponctuelle et localisée, mais aussi de sensibiliser un public nouveau, peu conscient de ces enjeux environnementaux.

Dans le contexte expérimental de ce projet, des choix techniques ont été faits au fur et à mesure des itérations. Ces itérations pourraient se poursuivre en apportant les améliorations suivantes :

- **évaluation** : pour évaluer l'impact des systèmes capteurs sur le dispositif, une campagne de mesure avec plusieurs sites équipés d'appareils de référence pourrait permettre de quantifier l'apport des données de micro-capteurs à la modélisation fine échelle de la qualité de l'air en termes de précision spatiale et temporelle.
- **prévision** : une mise à jour des données d'entrée du modèle de prévision d'Air Pays de la Loire et notamment du réseau routier qui a évolué ces dernières années sur l'île de Nantes pourrait améliorer les cartes de prévision, et donc les cartes finales ;
- **qualification** : une hypothèse simplificatrice a été prise pour convertir l'incertitude horaire en incertitude journalière sur la mesure de référence, or les contributions à l'incertitude ne sont pas toutes aléatoires donc il est probable que ce postulat conduise à minimiser l'incertitude journalière pour les particules PM10 et PM2,5. Il est possible de modéliser l'incertitude journalière directement sans passer par cette hypothèse ;
- **consultation** : donner accès à l'historique des cartes avec un calendrier sur la page web.

Enfin, un élargissement de cette information à l'échelle de la Métropole pourrait être envisagé et permettre, à un plus grand nombre, d'avoir accès à l'information et de la prendre en compte au quotidien.



# Annexes

## Annexe 1 : les polluants

### **l'ozone (O3)**

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 (NOx)**

Les NOx 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 fines (ou poussières)**

Les particules fines ou poussières 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 diverses et peuvent véhiculer d'autres polluants comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. De diamètre inférieur à 10 µm (PM<sub>10</sub>), 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 plus fines, appelées PM<sub>2,5</sub> (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 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.