

# expérimentation mesure du NO<sub>2</sub> à Saint-Nazaire

partenariat avec Atmotrack

phase 1 – évaluation des capteurs

janvier 2020

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



# sommaire

synthèse .....	1
introduction.....	2
dispositif .....	3
analyse environnementale .....	4
évaluation du niveau de NO <sub>2</sub> .....	8
niveau moyen sur toute la campagne .....	8
niveau moyen journalier .....	9
niveau moyen horaire.....	9
niveau de pointe.....	11
<b>affiner l'évolution temporelle pour identifier les sources</b> .....	<b>13</b>
évolution moyenne au cours d'une journée .....	13
<b>utilisation des capteurs .....</b>	<b>15</b>
récupération des données.....	15
<b>conclusions et perspectives .....</b>	<b>16</b>
<b>annexe .....</b>	<b>17</b>
évolution des concentrations en NO <sub>2</sub> au cours de la phase à l'école Jean Jaurès .....	17
air intérieur .....	17
air extérieur – capteur semi-conducteur (mems).....	17
air extérieur – capteur électro-chimique (CC) .....	18
évolution des concentrations en NO <sub>2</sub> au cours de la phase au Grand Café .....	18
air intérieur .....	18
air extérieur – capteur semi-conducteur (mems).....	19
air extérieur – capteur électro-chimique (CC).....	19

## contributions

Coordination de l'étude - Rédaction : Corentin Lemaire, Exploitation du matériel de mesure : Arnaud Tricoire et Sonia Cécile, Validation : François Ducroz, Pauline Baron-Renou, Karine Pierre et 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 services municipaux de Saint-Nazaire pour leur contribution à l'installation du matériel de mesure, en particulier les services techniques de l'école Jean Jaurès et du Grand Café.

# synthèse

## contexte

La CARENE a sollicité Air Pays de la Loire afin de disposer d'une meilleure information sur la qualité de l'air à l'intérieur et à proximité de deux établissements accueillant du public à Saint Nazaire : l'école Jean Jaurès et le Grand Café. Ces établissements avaient en effet été identifiés sur les cartes stratégiques air avec des niveaux importants en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Pour objectiver la situation, Air Pays de la Loire a réalisé des mesures combinant des analyseurs normés et des micro-capteurs Atmotrack. L'objectif de la phase 1 du projet est d'évaluer la possibilité d'utiliser de tels capteurs pour suivre le NO<sub>2</sub> sur le long terme.

## dispositif

En octobre et novembre 2019, l'intérieur et les abords des deux établissements ont été équipés d'analyseurs de référence en NO<sub>2</sub>, installés et étalonnés par Air Pays de la Loire, ainsi que de capteurs Atmotrack.

## analyse de la qualité de l'air

Les mesures de référence (par analyseur Air Pays de la Loire) ont été analysées pour évaluer le contexte de l'évaluation et fournir des premières informations sur la qualité de l'air :

Site et période	Zone de mesure	Qualité de l'air observée
École Jean Jaurès (du 26/09 au 24/10)	Air intérieur	Respect des valeurs guides
	Air extérieur	Respect des valeurs réglementaires
Grand Café (du 24/10 au 3/12)	Air intérieur	Probable dépassement de la valeur guide
	Air extérieur	Respect des valeurs réglementaires

Les mesures témoignent d'une bonne qualité de l'air (indice de qualité de l'air à 1 ou 2 pour 91% du temps), à l'exception des mesures à l'intérieur du Grand Café qui indiquent une accumulation en NO<sub>2</sub> lié au transfert de l'air extérieur vers l'intérieur.

## expérimentation des capteurs Atmotrack

L'expérimentation a porté sur la capacité des capteurs Atmotrack à répondre à des objectifs de surveillance de la qualité de l'air. Pour chacun des objectifs, des indicateurs statistiques et critères de validité ont été définis.

### objectif 1 : quantifier les concentrations en NO<sub>2</sub>

Pour cet objectif, l'écart entre les mesures de référence et les mesures par Atmotrack a été calculé, pour différents pas de temps (moyenne sur toute la campagne, moyennes horaires, moyennes journalières,...) afin d'évaluer la capacité des micro-capteurs à fournir une information juste sur la quantité de polluants dans l'air.

Sur l'ensemble de ces pas de temps, les micro-capteurs s'écartent significativement de la valeur de référence : ils ne présentent pas une performance satisfaisante.

La mesure en air extérieur est plus performante que celle en air intérieur.

### objectif 2 : évaluer l'évolution temporelle du NO<sub>2</sub>

Pour cet objectif, l'enjeu est d'évaluer la capacité des micro-capteurs à détecter une élévation de la concentration en polluant (même si le niveau absolu n'est pas reproduit) et donc, à terme, de cibler un moment de la journée sur lequel agir. L'indicateur retenu ici est un coefficient de corrélation temporelle.

Suivant cet indicateur, la mesure par Atmotrack ne permet pas de reproduire l'évolution temporelle du niveau en NO<sub>2</sub>.

## conclusions et perspectives

**L'expérimentation des capteurs Atmotrack étant peu concluante sur la mesure du NO<sub>2</sub>, il n'est pas envisageable de poursuivre l'utilisation de ces capteurs pour un suivi de long terme à Saint-Nazaire.**

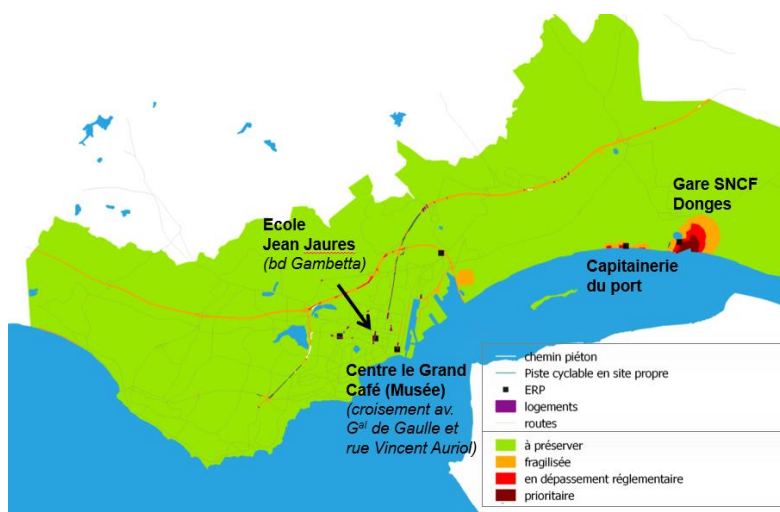
Des pistes d'amélioration ont néanmoins été identifiées pour améliorer ces performances (calibration sur la mesure de référence, procédure d'invalidation des données, ...) et l'expérimentation pourra être reconduite après mise en œuvre de ces améliorations.

Sur le dioxyde d'azote, des travaux nationaux ont évalué les performances de plusieurs micro-capteurs du marché et ont mis en évidence des dispositifs qui permettraient de répondre au besoin de la CARENE.

# introduction

En 2017, Air Pays de la Loire a réalisé une cartographie de la qualité de l'air sur Saint-Nazaire. Ce diagnostic, qui s'appuie sur plusieurs années de modélisation, permet d'identifier les enjeux du territoire par rapport à plusieurs polluants (dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, particules fines,...) et au regard d'objectifs non seulement réglementaires, mais aussi sanitaires, par l'utilisation de valeurs guides de l'OMS.

Deux zones ont particulièrement retenu l'attention de la CARENE en raison de niveaux en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) plus élevés que sur le reste de l'agglomération : l'école Jean Jaurès et le Grand Café, qui accueillent de nombreux usagers, et en particulier des publics sensibles comme les enfants.



Carte stratégique de l'air pour la CARENE.

Afin de mettre en œuvre un plan d'actions adapté, la CARENE a sollicité Air Pays de la Loire et Atmotrack afin de disposer d'informations plus détaillées, en mesurant directement sur les sites, le NO<sub>2</sub>, sur une période plus longue. En effet, Atmotrack, start-up nantaise, a développé en 2019 un capteur de polluants gazeux (dont le NO<sub>2</sub>) en complément de ses capteurs de particules. Ces capteurs présentent l'avantage d'être plus facilement déployables et moins chers que les analyseurs traditionnellement utilisés par Air Pays de la Loire dans l'exercice de la surveillance réglementaire.

Les capteurs Atmotrack n'ayant jamais fait l'objet d'une évaluation métrologique pour le NO<sub>2</sub>, une première phase d'expérimentation a été réalisée à l'automne 2019 (octobre et novembre) afin de vérifier l'adéquation de ces dispositifs avec les objectifs recherchés. Il s'agit d'évaluer si l'installation de capteurs Atmotrack sur une longue période (par exemple toute l'année 2020), permettrait de disposer des données pertinentes pour conduire efficacement le plan d'actions.

Ce rapport présente les conclusions de cette phase expérimentale de deux mois et établit des recommandations pour une phase de plus longue durée (2020).

# dispositif

Afin que la CARENE dispose d'informations fiables, Air Pays de la Loire a proposé une métrologie comparative basée sur l'installation de ses propres capteurs et méthodologies normées et des micro-capteurs 42Factory. Il sera ainsi possible d'évaluer les niveaux en NO<sub>2</sub> de manière précise par les analyseurs Air Pays de la Loire et de les comparer aux résultats obtenus par les capteurs Atmotrack.

Afin d'évaluer la performance des capteurs Atmotrack, deux périodes d'un mois chacune ont permis de mesurer le NO<sub>2</sub> à l'école Jean Jaurès et au Grand Café.

Pour chacune de ces périodes, Air Pays de la Loire a installé :

- un analyseur Air Pays de la Loire et deux capteurs Atmotrack à l'intérieur des locaux : dans l'espace dédié aux activités périscolaires de l'école et dans la grande salle d'exposition au rez-de-chaussée du musée,
- un analyseur Air Pays de la Loire et deux capteurs Atmotrack à l'extérieur, dans un laboratoire mobile, dans la cour de l'école et dans une rue à l'arrière du musée.

Les analyseurs Air Pays de la Loire sont calibrés régulièrement, grâce à des étalons : il s'agit de bouteilles de gaz pour lesquelles les concentrations en NO<sub>x</sub> et NO sont connues précisément. Les appareils sont ainsi ajustés selon les écarts avec la concentration de référence. Sur la période de la campagne, les analyseurs Air Pays de la Loire ont été étalonnés six fois, à la fois sur un étalon hautement concentré et sur un air zéro, c'est-à-dire un mélange ne contenant aucun oxyde d'azote.

	Période de mesure	Taux de fonctionnement de l'analyseur de référence	Taux de fonctionnement des capteurs Atmotrack <sup>1</sup>
<b>Ecole Jean Jaurès</b>	26 septembre 2019 au 24 octobre 2019	Intérieur : 100 % Extérieur : 99 %	Intérieur : 63 % - 69 % Extérieur : 96 % - 100 %
<b>Grand Café</b>	24 octobre 2019 au 3 décembre 2019	Intérieur : 98 % Extérieur : 93 %	Intérieur : 58% - 66 % Extérieur : 83 % - 100 %

Par ailleurs, les capteurs Atmotrack utilisés en air extérieur étaient équipés de deux détecteurs différents de NO<sub>2</sub> afin de tester des technologies différentes (semi-conducteurs et détecteur électrochimique, appelés dans la suite du rapport Mems et CC). Le capteur à base de semi-conducteur est celui utilisée dans la version commercialisée.



A gauche, laboratoire mobile dans la cour de l'école. Au dessus, deux capteurs Atmotrack à l'intérieur d'une salle de classe.

<sup>1</sup> Les deux valeurs correspondent aux deux capteurs Atmotrack.

# analyse environnementale

Cette partie présente les conditions de pollution dans lesquelles ont été réalisées l'expérimentation. Seules les données de référence sont présentées ici, c'est-à-dire les données recueillies grâce aux analyseurs Air Pays de la Loire.

Les graphiques et tableaux suivants présentent les résultats obtenus sur les deux périodes de mesures et les contextualisent, notamment en comparaison aux valeurs réglementaires et aux données des sites de mesure permanents d'Air Pays de la Loire : la station à proximité de l'école Léon Blum et la station installée dans le Parc Paysager.



Carte des différents sites de mesures du dioxyde d'azote à Saint-Nazaire

Le dioxyde d'azote fait l'objet de plusieurs valeurs limites réglementaires et valeurs guides, applicables selon le milieu observé.

## En air ambiant :

- La réglementation française prévoit, **une valeur limite à 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle**. Il s'agit également de la valeur guide OMS pour l'exposition chronique.
- S'agissant de l'exposition aiguë (ou court terme), l'OMS recommande de ne pas dépasser **200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire**.
- La réglementation française reprend cette valeur, qui ne doit pas être dépassée plus de 18h par an en air ambiant.
- Un seuil d'information et de recommandation est également fixé à **200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire**.

## En air intérieur :

- L'ANSES propose une **valeur guide pour la qualité de l'air intérieur à 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle**.
- La recommandation de l'OMS pour l'exposition aiguë (**200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire**) est également valable en air intérieur, et reprise par l'ANSES.

Le tableau suivant présente les valeurs relevées.

### niveaux observés

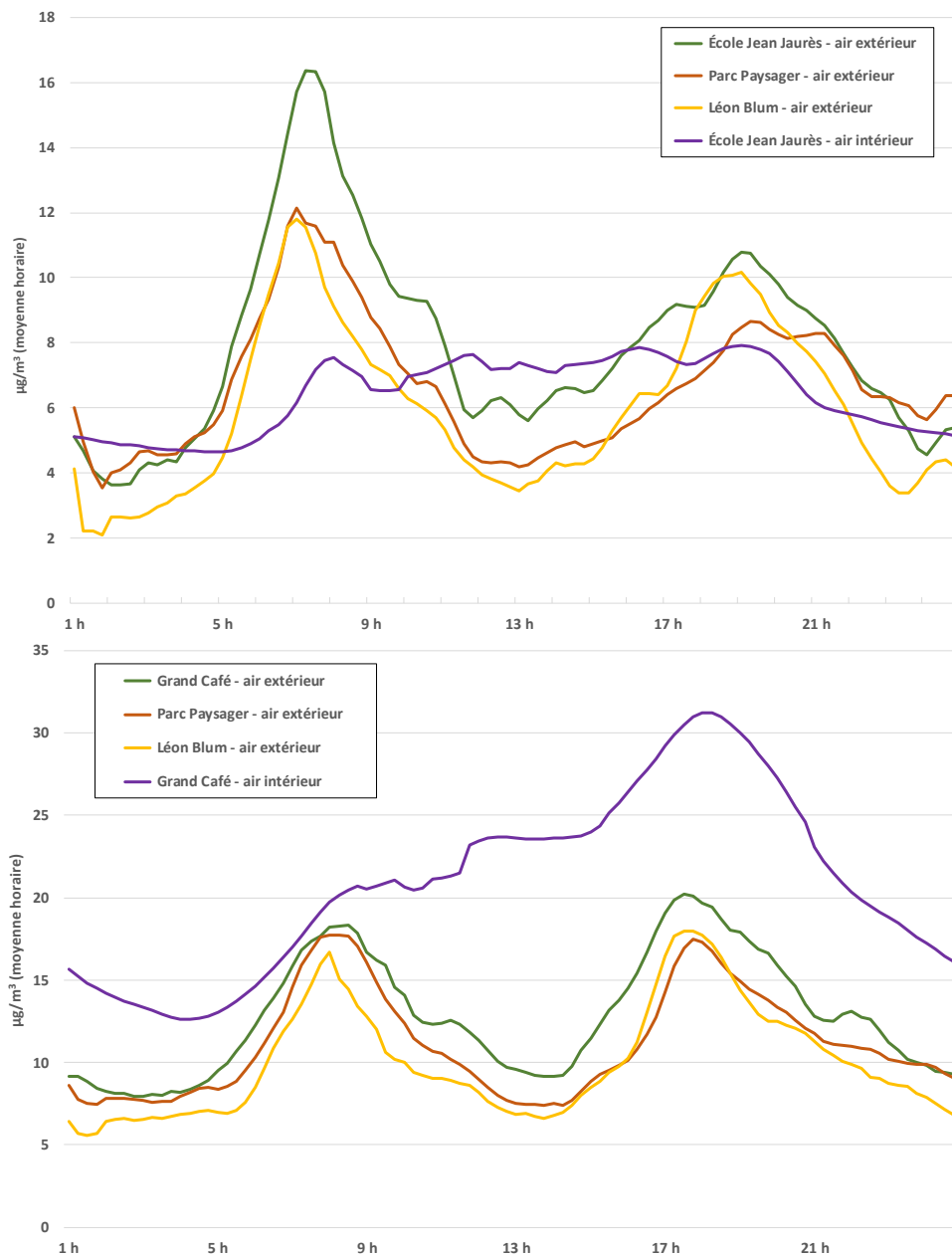
Période	Site de mesure	Moyenne sur la période	Maximum horaire
26 septembre 2019 au 24 octobre 2019	<b>Ecole Jean Jaurès</b> Air intérieur	6,4 µg/m <sup>3</sup>	23,0 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Ecole Jean Jaurès</b> Air extérieur	8,0 µg/m <sup>3</sup>	59,7 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Station Parc Paysager</b> Air extérieur	6,7 µg/m <sup>3</sup>	62,4 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Station Léon Blum</b> Air extérieur	6,0 µg/m <sup>3</sup>	61,5 µg/m <sup>3</sup>
24 octobre 2019 au 3 décembre 2019	<b>Grand Café</b> Air intérieur	21,3 µg/m <sup>3</sup>	60,7 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Grand Café</b> Air extérieur	13,0 µg/m <sup>3</sup>	61,2 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Station Parc Paysager</b> Air extérieur	11,2 µg/m <sup>3</sup>	56,7 µg/m <sup>3</sup>
	<b>Station Léon Blum</b> Air extérieur	10,2 µg/m <sup>3</sup>	74 µg/m <sup>3</sup>

Au regard de ces valeurs, il apparaît que

- les moyennes horaires ne dépassent jamais 200 µg/m<sup>3</sup> (au maximum, le niveau horaire atteint 30 % de cette valeur à l'école Jean Jaurès et 31% au Grand Café), il y a donc de fortes chances que la valeur limite en moyenne horaire et le seuil d'information et de recommandation soient respectés,
- les valeurs mesurées en air extérieur, tant à l'école Jean Jaurès qu'au Grand Café sont proches des valeurs relevées sur les sites permanents. Par analogie avec ces sites, il est très probable que la valeur limite en moyenne annuelle (40 µg/m<sup>3</sup>) soit respectée.
- en air intérieur :
  - les niveaux mesurés à l'école Jean Jaurès sont inférieurs aux niveaux en air extérieur. Il y a par ailleurs une forte probabilité que la valeur guide de l'Anses (20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) soit respectée sur ce site,
  - en revanche, les niveaux relevés en air intérieur au Grand Café sont supérieurs en moyenne aux niveaux relevés en air extérieur, et **il est possible que la valeur guide pour l'air intérieur (VGAI) de l'Anses soit dépassée.**

## évolution moyenne

Les graphiques suivants présentent l'évolution moyenne du niveau en NO<sub>2</sub> au cours d'une journée (aussi appelée profil journalier). Cette moyenne est calculée à partir de l'ensemble des mesures de la campagne (28 jours pour l'école Jean Jaurès, 39 jours pour le Grand Café).



*évolution moyenne au cours d'une journée de la concentration en dioxyde d'azote*

L'observation des profils moyens journaliers permet de vérifier l'influence du trafic automobile sur le niveau en dioxyde d'azote : on observe en effet un pic de concentration le matin et le soir, au heures d'affluence.

Ces pics s'observent sur l'ensemble des sites de mesures en air extérieur. Toutefois, le pic du matin est plus important à l'école Jean Jaurès que sur les stations permanentes, ce qui peut s'expliquer par une plus grande proximité avec un axe routier (notamment le boulevard Léon Gambetta), ou encore par un afflux important de véhicules le matin, au moment de la dépose des élèves.

En ce qui concerne l'air intérieur, les concentrations mesurées au sein de l'école Jean Jaurès indiquent des résultats homogènes sur l'ensemble de la journée. Ceci indique un transfert de l'air extérieur vers l'air intérieur faible, notamment lié à l'absence de ventilation dans l'école. Bénéfique dans un contexte de pollution extérieure, ce système ne permet pas de maintenir des niveaux en CO<sub>2</sub> et polluants d'origine intérieure (formaldéhyde, ...) satisfaisants. Un système de ventilation mécanique contrôlée est ici à préconiser. Les niveaux en NO<sub>2</sub> extérieur étant faibles, l'ajout d'un système de filtration ne semble pas nécessaire.



Au grand café, les concentrations augmentent en début de journée avec le trafic automobile, puis continuent de s'accroître jusqu'en fin de journée, avec la baisse du trafic. Malgré l'absence de ventilation mécanique contrôlée dans cet établissement, cette évolution indique un transfert de l'air extérieur, vers l'air intérieur occasionné par un manque d'étanchéité à l'air du bâtiment (ouverture des portes, passage d'air sous fenêtres, ...).

## Conclusions de l'analyse environnementale

Deux points d'attention ressortent des deux mois de mesures :

- Le niveau en dioxyde d'azote à l'intérieur du Grand Café a des risques de dépasser la valeur guide de l'ANSES et pourrait s'expliquer par un mauvais renouvellement d'air dans les locaux
- Le niveau en dioxyde d'azote dans l'air ambiant à l'école Jean Jaurès présente un pic le matin plus élevé que le pic observé sur les autres sites de Saint-Nazaire, indiquant une influence accrue du trafic automobile à proximité

Les autres mesures diffèrent peu des valeurs mesurées sur les sites permanents d'Air Pays de la Loire pour l'air ambiant.

# évaluation du niveau de NO<sub>2</sub>

Le premier objectif visé est d'évaluer la capacité des capteurs Atmotrack à donner une information quantitative sur les niveaux en dioxyde d'azote. Cette partie étudie donc la cohérence entre les valeurs données par les micro-capteurs et les valeurs fournies par les analyseurs de référence. Cette étude utilise plusieurs pas de temps afin de distinguer plusieurs paramètres à surveiller (exposition de fond, pics de pollution,...).

## Qu'est ce que l'écart normalisé ?

Plusieurs indicateurs font appel à un calcul d'écart normalisé. Il s'agit de la différence entre deux mesures (ici entre la mesure Atmotrack et la mesure de référence), rapportée à la somme des incertitudes de chacune de ces mesures.

L'écart normalisé permet de s'affranchir de l'unité de travail, en ramenant la différence entre les deux mesures sur une échelle plus facilement compréhensible. En métrologie, on considère qu'un écart normalisé supérieur à 1 est significatif, car alors, la différence entre les valeurs dépasse la marge d'erreur de ces valeurs.

La définition des indicateurs utilisés dans ce rapport s'appuie notamment sur les travaux menés pour les différents exercices français d'inter-comparaison de micro-capteurs, par exemple ceux du LCSQA ou d'AirParif (Challenge micro-capteurs). Certains seuils ont également été définis en référence aux valeurs réglementaires ou aux pratiques métrologiques en œuvre dans les AASQA.

## niveau moyen sur toute la campagne

Ce niveau correspond à la pollution de fond à laquelle sont exposés les usagers quotidiens des lieux. La loi française fixe à 40 µg/m<sup>3</sup> la valeur moyenne annuelle que ne doit pas dépasser la concentration en dioxyde d'azote dans l'air ambiant. Cette valeur est également celle préconisée par l'OMS pour protéger le public des effets du NO<sub>2</sub> sur la santé.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs relevées pendant toute la campagne ainsi que les écarts entre les mesures par capteurs Atmotrack et la valeur de référence. Un écart normalisé inférieur à 1 est attendu pour valider l'objectif.

	Point de mesure	Moyenne sur la campagne <sup>2</sup>	Ecart normalisé
<b>Air intérieur</b>	Référence	15,2 µg/m <sup>3</sup>	/
	Atmotrack 58	3,2 µg/m <sup>3</sup>	<b>11,2</b>
	Atmotrack 59	4,5 µg/m <sup>3</sup>	<b>8,0</b>
	Moyenne	3,9 µg/m <sup>3</sup>	<b>9,5</b>
<b>Air ambiant</b>	Référence	11,0 µg/m <sup>3</sup>	/
	Atmotrack 56 - mems <sup>3</sup>	14,4 µg/m <sup>3</sup>	<b>0,9</b>
	Atmotrack 57 - mems	16,0 µg/m <sup>3</sup>	<b>1,3</b>
	Moyenne mems	15,3 µg/m <sup>3</sup>	<b>1,1</b>
	Atmotrack 56 - cc <sup>4</sup>	37,8 µg/m <sup>3</sup>	<b>2,8</b>
	Atmotrack 57 - cc	31,1 µg/m <sup>3</sup>	<b>2,6</b>
	Moyenne cc	34,2 µg/m <sup>3</sup>	<b>2,7</b>

**Les résultats ci-dessus indiquent que, dans les conditions actuelles, la mesure par capteurs Atmotrack ne répond pas à un objectif de quantification du niveau de fond en dioxyde d'azote.**

<sup>2</sup> Pour le calcul d'incertitude, la période de référence prise en compte est du 1<sup>er</sup> octobre au 1<sup>er</sup> décembre

<sup>3</sup> MemS : capteur à base de semi-conducteur

<sup>4</sup> CC : capteur électro-chimique

## niveau moyen journalier

Ce niveau permet de suivre l'évolution au cours du temps de la pollution au NO<sub>2</sub> en s'affranchissant du cycle journalier de celui-ci.

Le tableau ci-dessous présente la fréquence à laquelle les capteurs Atmotrack parviennent à reproduire le niveau moyen journalier (le critère reste un écart normalisé < 1 ). Un taux de 75 % est attendu pour valider l'objectif, par similitude avec le taux de validité attendu pour les mesures réglementaires.

	Point de mesure	Nombre de jours disponibles	Nombre de jours avec En<1
<b>Air intérieur</b>	Atmotrack 58	53 jours	9 jours (17 %)
	Atmotrack 59	56 jours	16 jours (29 %)
	Moyenne	56 jours	13 jours (23 %)
<b>Air ambiant</b>	Atmotrack 56 - mems <sup>5</sup>	65 jours	33 jours (51 %)
	Atmotrack 57 - mems	68 jours	37 jours (54 %)
	Moyenne mems	68 jours	36 jours (53 %)
	Atmotrack 56 - cc <sup>6</sup>	65 jours	10 jours (15 %)
	Atmotrack 57 - cc	68 jours	16 jours (24 %)
	Moyenne cc	68 jours	16 jours (24 %)

**Les résultats ci-dessus indiquent que pour cette étude, l'objectif de quantification des niveaux moyens journaliers en NO<sub>2</sub> n'est pas permis par les capteurs Atmotrack.**

## niveau moyen horaire

La moyenne horaire de la concentration est l'indicateur qui permet d'évaluer l'exposition dite aigüe, c'est-à-dire une exposition qui peut être en plus forte concentration mais sur un plus faible intervalle de temps. Le dioxyde d'azote étant un polluant qui présente un cycle journalier important (la principale source de pollution au NO<sub>2</sub> en milieu urbain étant le trafic automobile, comme l'illustre l'analyse environnementale), l'étude de la moyenne horaire permet de caractériser l'évolution du polluant au cours de la journée. Par ailleurs, une des valeurs limites est fixée en moyenne horaire : celle-ci ne doit pas dépasser 200 µg/m<sup>3</sup> plus de 18h par an.

### Qu'est ce que les classes du sous-indice ?

L'écart normalisé étant un indicateur sensible au niveau absolu, la suite de l'analyse calculera cet écart pour des classes de concentrations. Ces classes sont issues du calcul de l'indice de qualité de l'air

L'une des composantes de l'indice de qualité de l'air est en effet la concentration en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Pour prendre en compte le cycle journalier de ce polluant, on utilise le maximum au cours d'une journée de la moyenne horaire. La valeur de ce maximum est comparée à une échelle de concentrations qui permet de calculer un sous-indice qui est lui une valeur sans unité. Pour chaque sous-indice, il y a donc une classe de concentrations qui permet de caractériser une moyenne horaire en NO<sub>2</sub>.

Le tableau de la page suivante indique pour chaque classe de concentrations le nombre d'heures sur lequel il est possible de faire le calcul et la part de celles-ci où l'écart normalisé entre les valeurs Atmotrack et la valeur de référence est inférieur à 1.

Ainsi, la valeur entre parenthèse dans la dernière colonne indique, pour un niveau de pollution donné, le pourcentage du temps où le capteur Atmotrack retrouve ce niveau.

<sup>5</sup> MemS : capteur à base de semi-conducteur

<sup>6</sup> CC : capteur électro-chimique

Pour chaque classe de concentration, un taux de 75 % est attendu pour permettre un suivi du niveau horaire par les capteurs Atmotracks.

Air intérieur	Point de mesure	Nombre d'heures disponibles	Nombre d'heures avec En<1
<b>Sous-indice = 1 (1 413 h)</b>	Atmotrack 58	1 412 h	257 h (18 %)
	Atmotrack 59	1 412 h	271 h (19 %)
	Moyenne	1 412 h	267 h (19 %)
<b>Sous-indice = 2 (185 h)</b>	Atmotrack 58	185 h	0 h (0 %)
	Atmotrack 59	185 h	0 h (0 %)
	Moyenne	185 h	0 h (0 %)
<b>Sous-indice = 3 (4 h)<sup>7</sup></b>	Atmotrack 58	4 h	0 h (0 %)
	Atmotrack 59	4 h	0 h (0 %)
	Moyenne	4 h	0 h (0 %)

Air ambiant	Point de mesure	Nombre d'heures disponibles	Nombre d'heures avec En<1
<b>Sous-indice = 1 (1 462 h)</b>	Atmotrack 56 - mems <sup>8</sup>	1 416 h	400 h (28 %)
	Atmotrack 57 - mems	1 461 h	448 h (31 %)
	Moyenne mems	1 461 h	444 h (30 %)
	Atmotrack 56 - cc <sup>9</sup>	1 416 h	131 h (9 %)
	Atmotrack 57 - cc	1 461 h	166 h (11 %)
	Moyenne cc	1 461 h	151 h (10 %)
<b>Sous-indice = 2 (87 h)</b>	Atmotrack 56 - mems	75 h	38 h (51 %)
	Atmotrack 57 - mems	87 h	34 h (39 %)
	Moyenne mems	87 h	35 h (40 %)
	Atmotrack 56 - cc	75 h	33 h (44 %)
	Atmotrack 57 - cc	87 h	28 h (32 %)
	Moyenne cc	87 h	33 h (38 %)
<b>Sous-indice = 3 (4 h)</b>	Atmotrack 56 - mems	4 h	2 h (50 %)
	Atmotrack 57 - mems	4 h	2 h (50 %)
	Moyenne mems	4 h	2 h (50 %)
	Atmotrack 56 - cc	4 h	1 h (25 %)
	Atmotrack 57 - cc	4 h	0 h (0 %)
	Moyenne cc	4 h	0 h (0 %)

La campagne s'est déroulée dans un contexte de concentrations en NO<sub>2</sub> plutôt faibles (le sous-indice a majoritairement été à 1). Sur ces niveaux, les concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées par les capteurs Atmotrack présentent régulièrement un écart significatif avec la mesure de référence.

**Les résultats présentés indiquent que, dans les conditions de mesures données, l'objectif de quantification des niveaux moyens horaires en NO<sub>2</sub> n'est pas rempli par les capteurs Atmotrack.**

<sup>7</sup> La survenue d'un sous-indice 3 pendant la période de la campagne est très rare, les résultats présentés ne sont donc pas statistiquement pertinents.

<sup>8</sup> MemS : capteur à base de semi-conducteur

<sup>9</sup> CC : capteur électro-chimique

## niveau de pointe

On s'intéresse ici à une autre valeur en moyenne horaire, le niveau maximum qu'atteint cette moyenne au cours d'une journée. Cette valeur permet d'étudier des expositions sur des pas de temps horaires en s'affranchissant des moments de la journée où les valeurs sont les plus faibles. Il s'agit donc d'un zoom sur l'exposition maximale au cours d'une journée.

Deux indicateurs sont présentés : le pourcentage de calcul de sous-indice conforme et la corrélation sur ce niveau.

### sous-indice

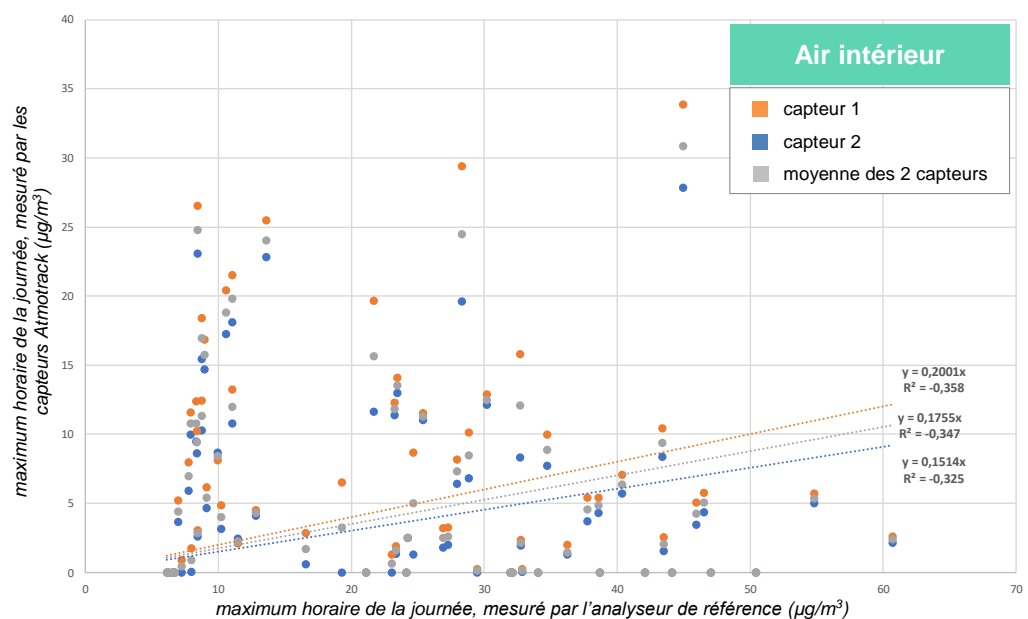
Le tableau ci-dessous présente le score des capteurs Atmotracks pour le calcul d'un sous-indice NO<sub>2</sub> pendant la campagne. 80 % de sous-indices corrects sont attendus pour vérifier cet objectif.

Sur 67 jours	Point de mesure	Nombre de jours où le sous-indice NO <sub>2</sub> est bon
Air intérieur	Atmotrack 58	42 jours (63 %)
	Atmotrack 59	42 jours (63 %)
	Moyenne	43 jours (64 %)
Air ambiant	Atmotrack 56 - mems <sup>10</sup>	38 jours (57 %)
	Atmotrack 57 - mems	34 jours (51 %)
	Moyenne mems	39 jours (58 %)
	Atmotrack 56 - cc <sup>11</sup>	15 jours (22 %)
	Atmotrack 57 - cc	16 jours (24 %)
	Moyenne cc	15 jours (22 %)

### corrélation sur le niveau de pointe journalier

Les graphiques suivants présentent la corrélation entre les mesures de référence (abscisse) et les mesures par capteurs Atmotrack pour le maximum horaire journalier (sur les graphiques, chaque point représente donc une journée). Sont également représentées, en pointillés, les droites de régression linéaire, les équations de celle-ci et les coefficients de détermination<sup>12</sup>.

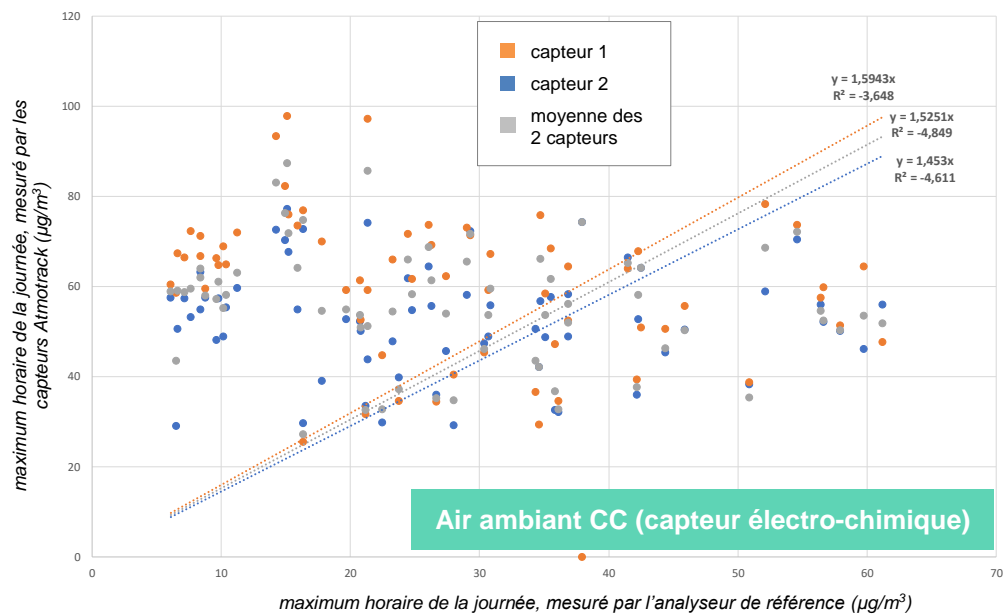
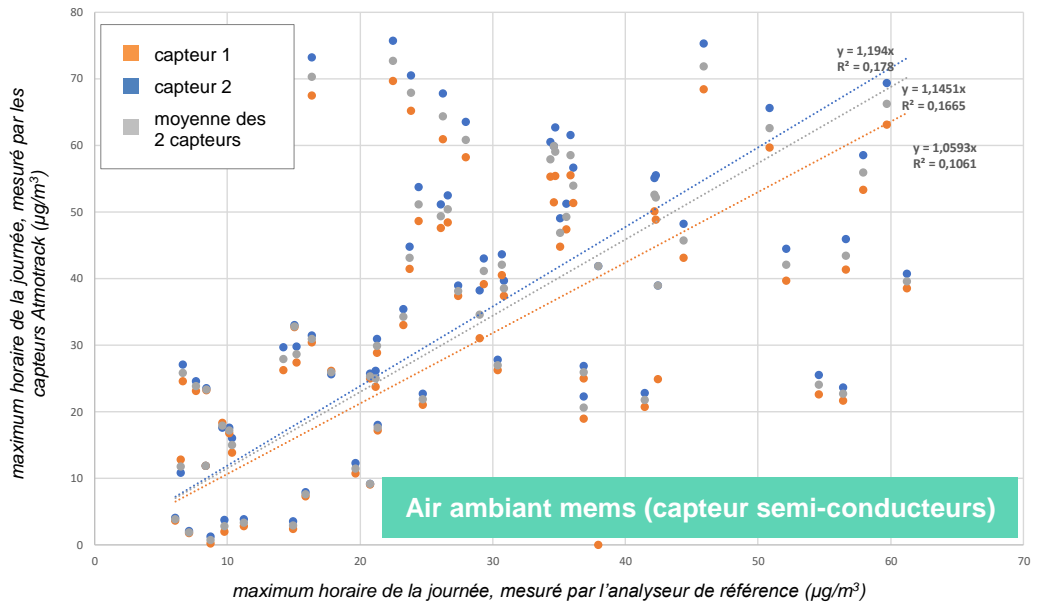
Selon le barème de LCSQA, un coefficient R<sup>2</sup> d'au moins 0,7 est attendu pour établir une relation entre les valeurs Atmotrack et les valeurs de référence sur le maximum horaire journalier.



<sup>10</sup> Mems : capteur à base de semi-conducteur

<sup>11</sup> CC : capteur électro-chimique

<sup>12</sup> Le coefficient de détermination est une valeur sans unité qui indique si la régression linéaire est pertinente ou pas : plus ce coefficient est proche de 1, meilleure est la régression.



**Le tableau et les graphiques précédents indiquent que les mesures par capteur Atmotrack ne satisfont pas les critères attendus pour le suivi des niveaux de pointe (maximum horaire de la journée).**

# affiner l'évolution temporelle pour identifier les sources

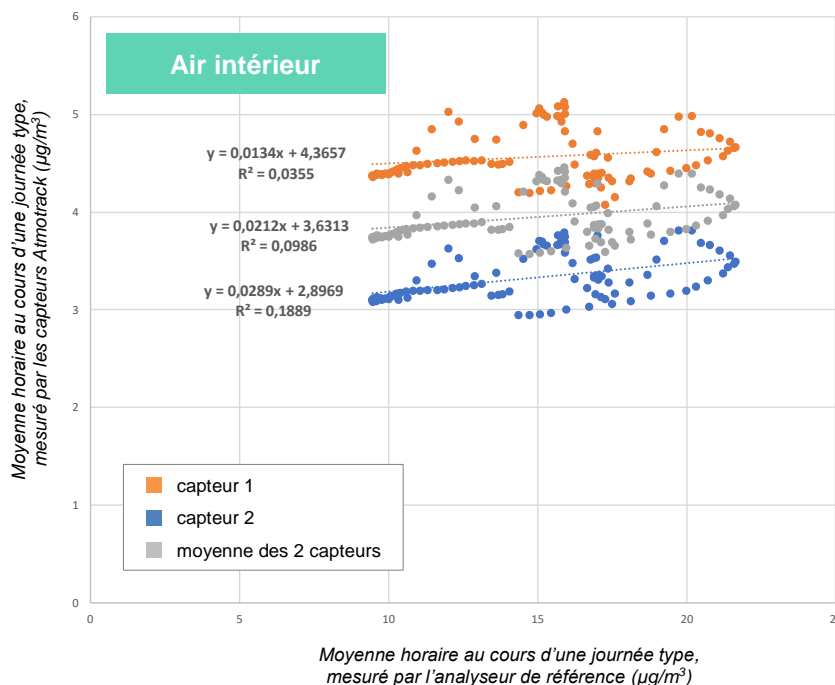
Cette partie s'intéresse à la temporalité du niveau en NO<sub>2</sub> : il ne s'agit plus de quantifier la concentration mais d'évaluer sa dynamique. L'intérêt principal est qu'en identifiant plus précisément les moments où surviennent les pics de concentration, il est possible d'en déterminer l'origine. Les plans d'actions sont ainsi plus adaptés : par exemple, le constat de la survenue de pics de NO<sub>2</sub> répétés au moment de l'entrée en classe pourrait justifier la proposition d'un plan d'actions sur la circulation automobile autour de l'école.

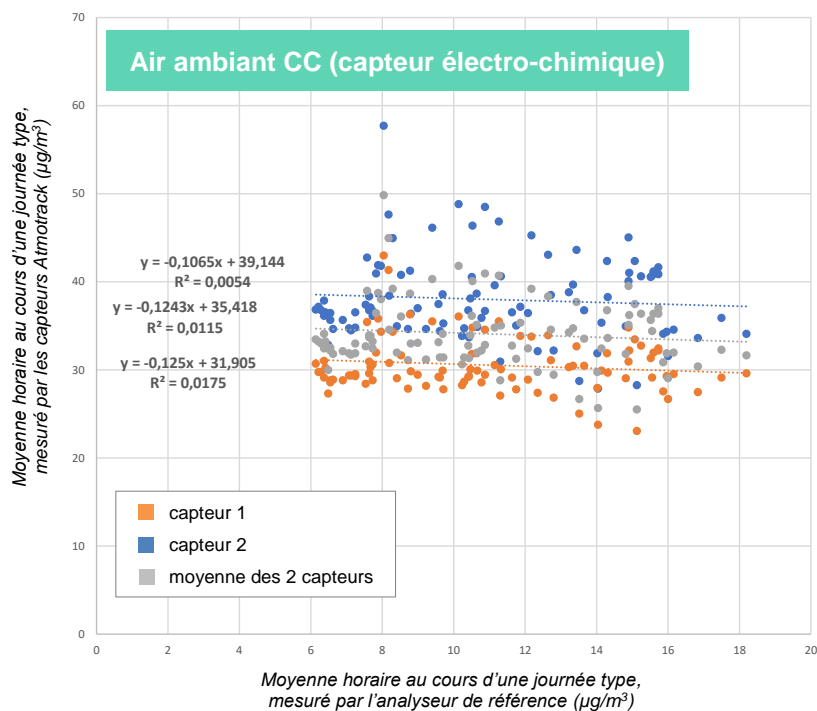
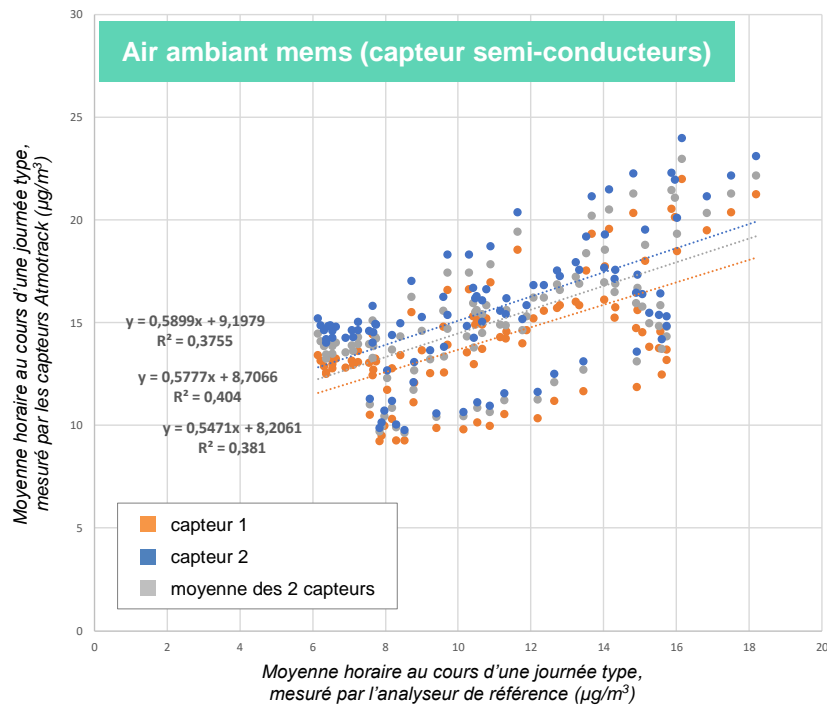
## évolution moyenne au cours d'une journée

Ce premier indicateur vise à identifier si les capteurs Atmotrack observent la même évolution que les analyseurs de référence en moyenne sur une journée. On calcule donc les profils journaliers (de la même manière que dans l'analyse environnementale) et on étudie la corrélation pour chaque heure de la journée. Par exemple, le niveau observé à 9h est-il le même sur la référence et sur les capteurs Atmotrack

Les graphiques suivants représentent la corrélation entre les niveaux moyens observés par les deux types d'instrument, pour chaque heure de la journée.

Les droites de régression linéaire, les équations de celle-ci et les coefficients de détermination sont également représentés. Selon le barème de LCSQA, un R<sup>2</sup> d'au moins 0,7 est attendu pour établir une relation entre les valeurs Atmotrack et les valeurs de référence sur le maximum horaire journalier.





Les coefficients de détermination présentés sur les graphiques indiquent une absence de relation linéaire entre les deux types de mesures. **La campagne n'a donc pas permis de vérifier l'adéquation de mesures Atmotrack avec l'objectif de suivi temporel des variations de concentrations en NO<sub>2</sub>.**

\*



# utilisation des capteurs

## recupération des données

Les données ont été récupérées par Air Pays de la Loire en continu (pas de temps de 15 minutes), sur son serveur central, directement pour les analyseurs de référence et via l'API Atmotrack pour les micro-capteurs. Une extraction finale de données a été réalisée à partir de l'API, sur laquelle se base les analyses présentées.

Les données issues de cette extraction finale et les données recueillies tout au long de la campagne présentent des différences (certaines données ont été invalidées ou recalculées) qui peuvent s'expliquer par un post-traitement automatique ou manuel par 42 Factory.

**Air Pays de la Loire propose que ce type de traitement fasse systématiquement l'objet d'une information et que toute modification apportée aux données soit consignée. L'enjeu est d'améliorer la traçabilité des données et de garantir que la version des données analysées est bien la dernière en date.**



# conclusions et perspectives

La campagne de mesure qui s'est déroulée à l'automne 2019 a permis d'expérimenter pour la première fois la mesure de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) par capteur Atmotrack. Les sites choisis, l'école Jean Jaurès et le Grand Café à Saint-Nazaire avaient fait l'objet d'un point d'attention dans la carte stratégique, en raison de leur exposition particulière au NO<sub>2</sub> et de leur fonction d'accueil du public, notamment sensible.

Les mesures réalisées par les analyseurs de référence Air Pays de la Loire permettent de confirmer ces points d'attention :

- Le niveau en NO<sub>2</sub> en air extérieur est un peu plus important à l'école Jean Jaurès que sur les autres sites urbains de Saint Nazaire, notamment le matin,
- Le niveau en NO<sub>2</sub> en air intérieur au Grand Café a de fortes chances de dépasser la valeur guide ANSES.

**Cette campagne, de deux mois, a également permis d'évaluer la pertinence et la performance de 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'actions 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 micro-capteurs et les mesures de références réalisées à l'aide d'analyseurs automatiques).

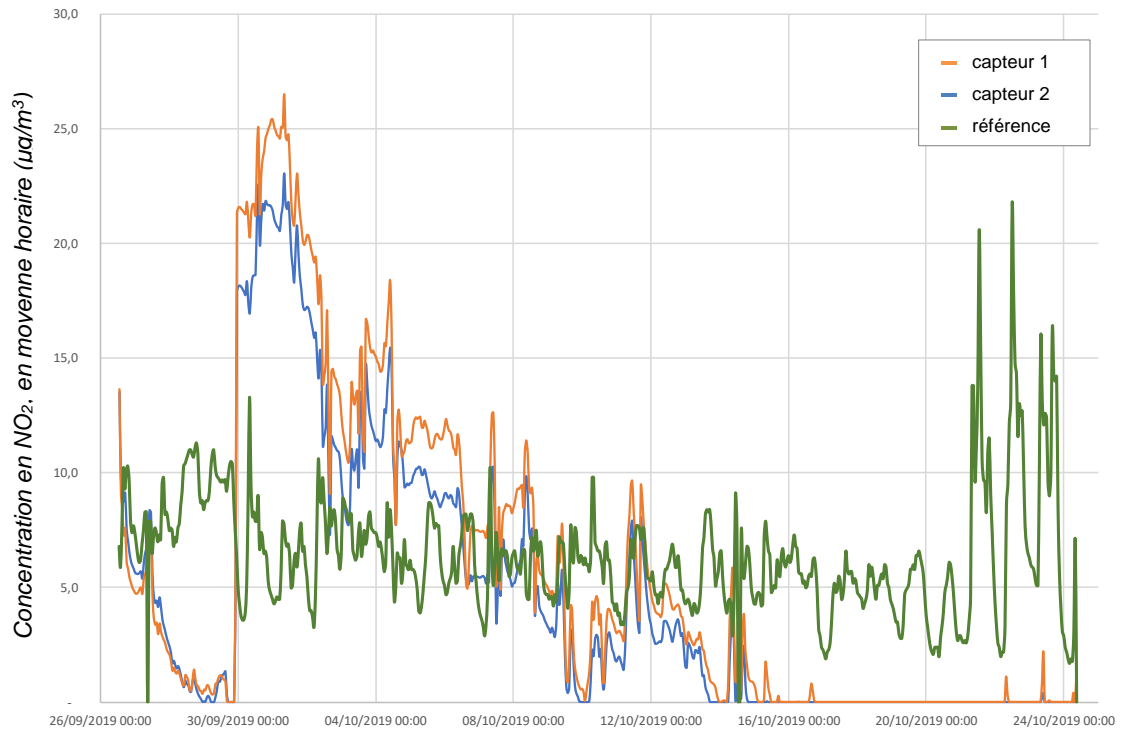
Les objectifs de la CARENE, notamment le besoin d'une meilleure connaissance de l'évolution des niveaux en NO<sub>2</sub> sur une longue période pourraient toutefois être remplis par une surveillance renforcée par analyseurs de référence ou par d'autres micro-capteurs du marché, plus performants. Un dispositif mixte, basé sur les stations permanentes du Parc Paysager et de l'école Léon Blum et sur plusieurs capteurs performants, permettrait de recueillir des données, de quantifier plus précisément les niveaux en NO<sub>2</sub> et d'évaluer des actions, par exemple sur le trafic routier aux abords de l'école Jean Jaurès.

Air Pays de la Loire continuera à travailler dans l'amélioration de la mesure des polluants gazeux par micro-capteurs afin de tendre vers les critères proposés par ce protocole, notamment au travers de la mise en place d'une phase d'étalonnage des capteurs auprès d'analyseurs de référence. Cette phase pourrait avoir lieu sur les stations permanentes du réseau Air Pays de la Loire à Saint-Nazaire.

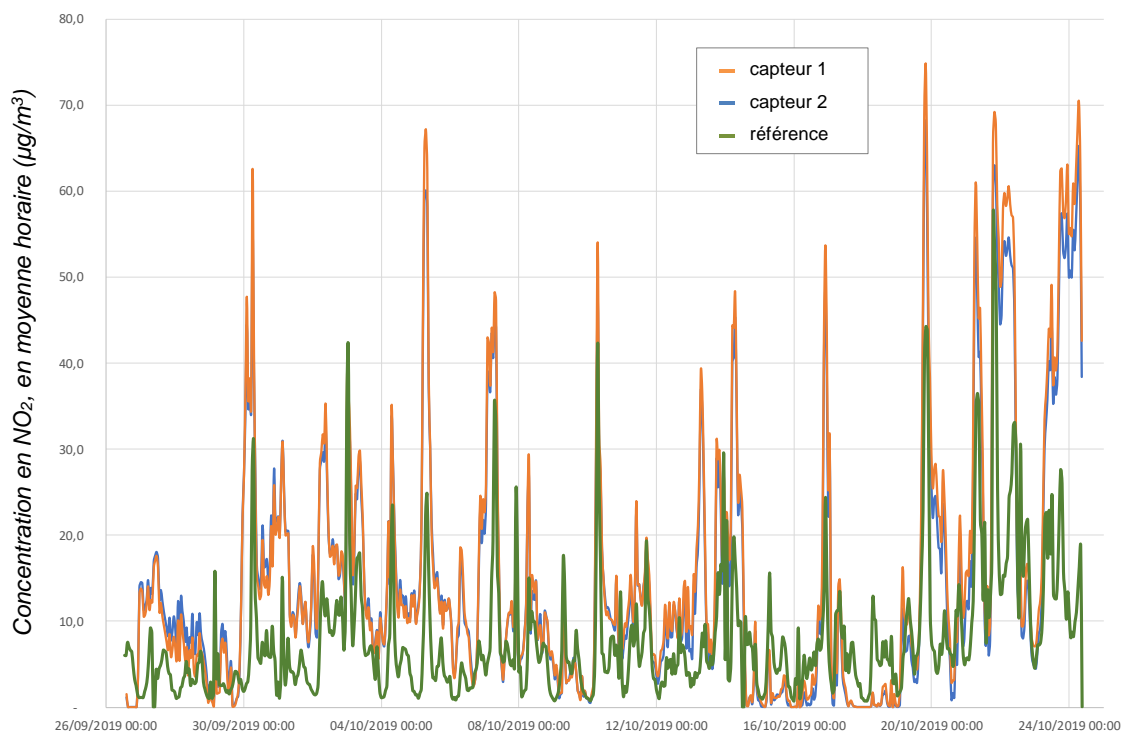
# annexe

## évolution des concentrations en NO<sub>2</sub> au cours de la phase à l'école Jean Jaurès

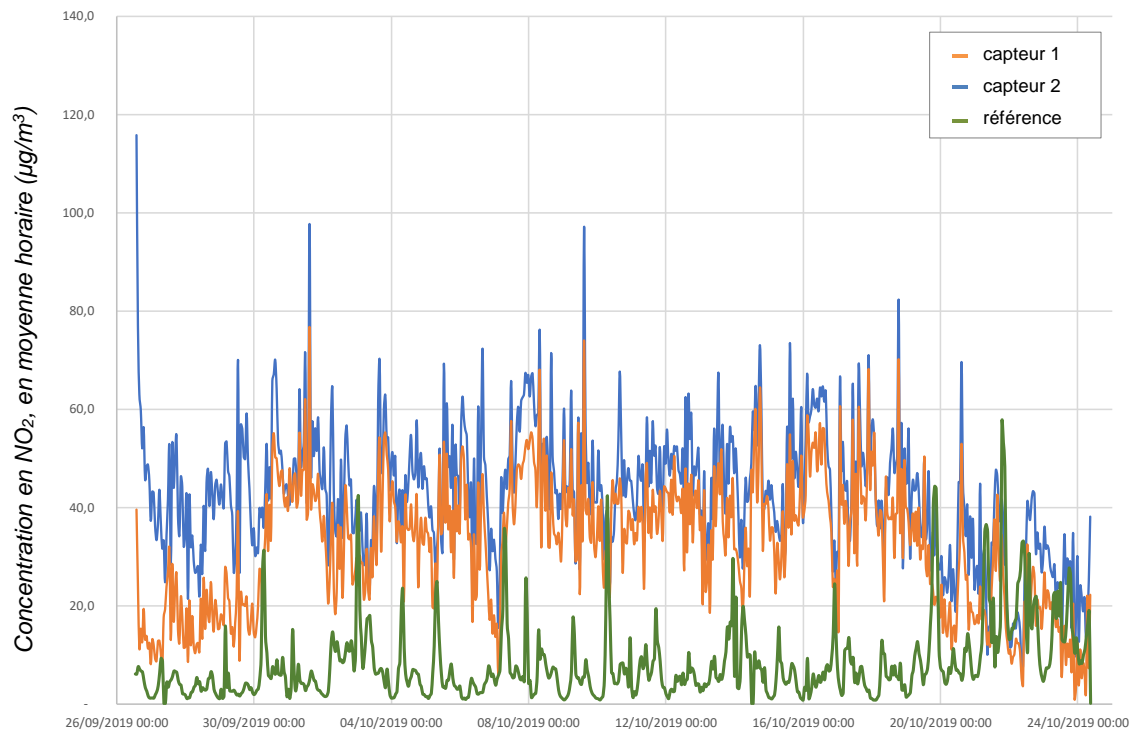
### air intérieur



### air extérieur – capteur semi-conducteur (mems)

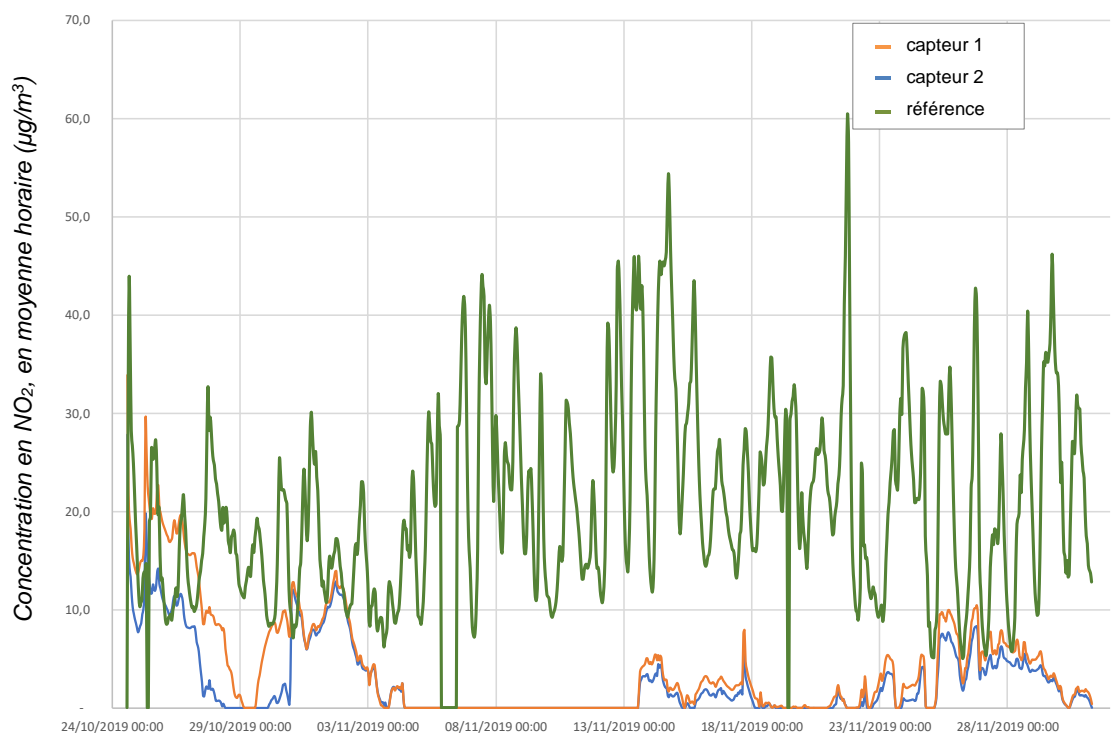


## air extérieur – capteur électro-chimique (CC)

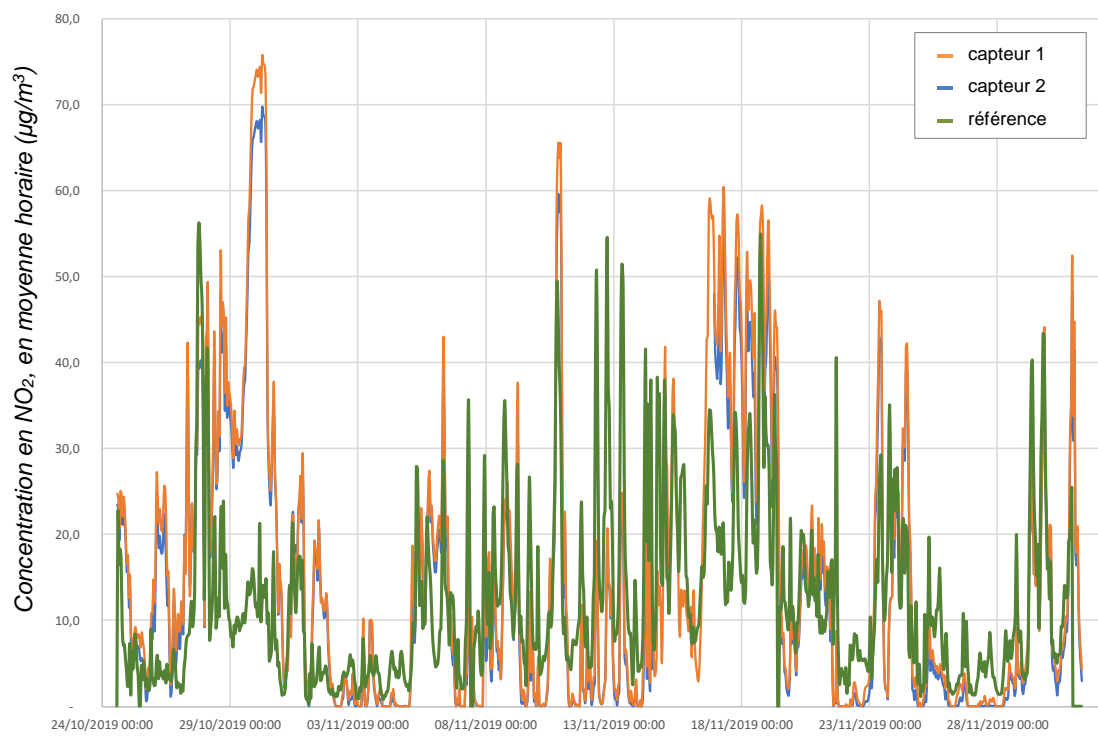


## évolution des concentrations en NO<sub>2</sub> au cours de la phase au Grand Café

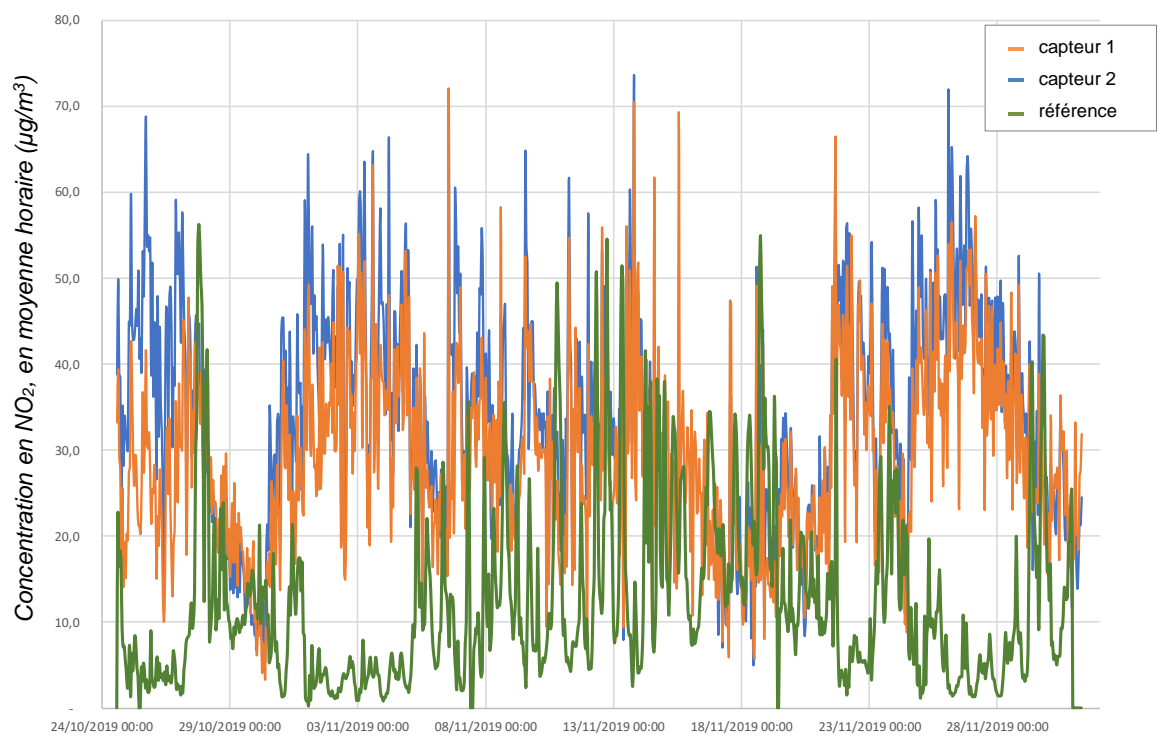
### air intérieur



## air extérieur – capteur semi-conducteur (mems)



## air extérieur – capteur électro-chimique (CC)



# airpays 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)