

## Observations du NO<sub>2</sub>, Lyon, France 2022

### Rapport technique de Greenpeace Research Laboratories GRL-TR- 22 juin 2022

Aidan Farrow<sup>1</sup>, Chloe Le Floch<sup>2</sup>, Florin Popescu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Greenpeace Research Laboratories, College of Life and Environmental Sciences, Innovation Centre Phase 2, University of Exeter, Exeter, Royaume-Uni. <sup>2</sup>Greenpeace France

#### Principales conclusions

##### Concentrations des polluants atmosphériques

- Au niveau de la station de mesure du tunnel de la Croix-Rousse, qui jouxte l'école primaire Michel Servet, les moyennes annuelles de dioxyde d'azote ont dépassé les préconisations établies par la ligne directrice de l'OMS et les normes de l'UE tous les ans depuis au moins 2015, même pendant la pandémie de COVID-19.
- Tout au long d'une étude de surveillance à court terme, les concentrations moyennes journalières de dioxyde d'azote ont excédé les taux préconisés par l'OMS, à l'intérieur comme à l'extérieur de l'école.
- Les taux moyens de dioxyde d'azote à l'intérieur de l'école pendant les heures d'accueil des élèves sont supérieurs aux concentrations moyennes journalières.

##### Causes de la pollution de l'air à l'intérieur de l'école

- L'analyse de la qualité de l'air mesurée par les stations situées en bordure des routes et par les stations de fond urbain à Lyon semble indiquer que la circulation routière est responsable des fortes concentrations de polluants atmosphériques aux abords de la sortie du tunnel de la Croix-Rousse.
- L'augmentation des concentrations en dioxyde d'azote coïncide avec les pics de congestion des routes, ce qui renforce la théorie selon laquelle le trafic routier contribue fortement aux concentrations des polluants à l'intérieur de l'école.

##### Impact de la pollution de l'air

- Les normes de l'UE sont dépassées, bien que la norme européenne concernant la moyenne annuelle de dioxyde d'azote soit désormais considérée comme inadaptée pour la protection de la santé publique. En effet, on sait à présent qu'une exposition à des concentrations bien plus basses entraîne un risque de mortalité plus élevé.
- Les enfants sont particulièrement vulnérables aux effets de la pollution de l'air.

## Introduction 2

## Methods 4

Lyon air quality monitoring network 4

AQMesh multi sensor air quality monitor 5

Traffic congestion data 6

## Results 6

Lyon air quality monitoring network 6

Primary School Michel Servet 9

## Conclusions 12

## References 13

## Appendix 15

# Introduction

L'école primaire Michel Servet se trouve dans le centre de Lyon, entre une colline escarpée et le fleuve Rhône. Juxtant l'entrée d'un tunnel routier, elle est située non loin de plusieurs grands axes routiers. Ce rapport se fonde sur les observations de la pollution de l'air au dioxyde d'azote (Encadré 1) pour étudier les répercussions possibles des émissions dues à la circulation routière dans le tunnel de la Croix-Rousse et sur les grands axes routiers voisins sur la qualité de l'air dans l'école. Les mesures effectuées à l'intérieur et à l'extérieur de l'école sont analysées afin d'évaluer à quelles concentrations en dioxyde d'azote sont exposés les enfants scolarisés ici.

On compte plusieurs axes majeurs au trafic dense non loin de l'école, lesquels convergent au niveau du Pont de Lattre de Tassigny à environ 120 m au nord-est de l'école. À l'ouest du Pont de Lattre de Tassigny s'étend le tunnel de la Croix-Rousse, un tunnel routier dont l'entrée jouxte immédiatement la bordure nord de l'école (Figure 1).

## **Encadré 1 : Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), qu'est-ce que c'est ?**

Lorsque des carburants sont brûlés dans l'air, la chaleur dégagée entraîne l'oxydation des atomes d'azote présents dans l'air et dans le carburant. Cela engendre l'émission de gaz appelés oxydes d'azote, qui comprennent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), regroupés sous le terme NO<sub>x</sub>. La pollution aux NO<sub>x</sub> peut réagir avec l'eau pour produire des pluies acides, mais aussi avec d'autres substances pour former une pollution atmosphérique aux particules et un smog. L'exposition aux oxydes d'azote a des répercussions sur la santé, notamment des maladies cardiovasculaires, des symptômes d'asthme exacerbés, la pneumopathie obstructive chronique et autres maladies respiratoires (Anderson et al. 2007, Guarnieri & Balmes 2014).



**Figure 1. Station de mesure de la qualité de l'air de Lyon et l'école primaire Michel Servet**

L'exposition à la pollution de l'air est associée à des répercussions néfastes sur la santé et la recherche semble indiquer que les enfants y sont particulièrement vulnérables (Garcia et al, 2019, Achakulwisut et al, 2019). C'est pourquoi certaines organisations responsables de la santé publique publient des lignes directrices et des normes en matière de qualité de l'air. Les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sur la qualité de l'air ont ainsi été mises à jour en 2021 après un examen minutieux des dernières recherches scientifiques. L'OMS établit des recommandations pour les concentrations moyennes annuelles et les valeurs moyennes journalières de  $\text{NO}_2$  (OMS, 2021) ainsi que pour la concentration moyenne horaire de  $\text{NO}_2$  (OMS, 2006). Ces préconisations sont conçues pour aider les décideurs à fixer des normes environnementales au niveau local. En outre, la directive européenne 2008/50/CE institue des normes juridiques en matière de qualité de l'air en France. Ces réglementations fixent des seuils pour les valeurs moyennes annuelles et les valeurs moyennes horaires de  $\text{NO}_2$  (EU, 2008). À noter que les réglementations de l'UE sont considérablement moins contraignantes que les lignes directrices de l'OMS, lesquelles s'appuient sur un bilan bien plus récent des avancées scientifiques en termes de compréhension des effets de la pollution sur la santé. La norme de l'UE portant sur les valeurs moyennes annuelles de  $\text{NO}_2$  peut aujourd'hui être considérée comme inadaptée pour la protection de la santé publique, puisque l'on sait désormais qu'une exposition à des concentrations bien moins élevées entraîne un risque accru de la mortalité (p. ex. Stieb et al 2021). Le Tableau 1 présente la ligne directrice de l'OMS et les normes actuelles de l'UE en matière de  $\text{NO}_2$ .

**Tableau 1 : Lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé sur la qualité de l'air (2021) et Normes de l'UE sur la qualité de l'air (2008)**

Pollutant	WHO Guideline	EU Standard	Averaging period
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	10	40	Annual
	25*	-	24-hour
	200	200	1-hour

\* Not to be exceeded on more than 3-4 days each year

Source : UE (2008), OMS (2006), OMS (2021)

## Méthodes

### Réseau de surveillance de la qualité de l'air à Lyon

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (Atmo), l'association agréée par le ministère de l'Écologie et de la Transition écologique et solidaire pour la surveillance et l'information sur la qualité de l'air dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, gère un réseau de stations de mesure de la qualité de l'air à Lyon. Ce réseau se compose de neuf stations de mesure de la qualité de l'air en fond urbain et à proximité des routes, situées dans des environnements dits « urbains ». L'une d'entre elles, la station de Saint Just, n'est plus en fonctionnement depuis 2017 et n'est donc pas incluse dans ce rapport.

La station du tunnel de la Croix-Rousse à Lyon, qui fait partie de ce réseau de surveillance, mesure la qualité de l'air en bord de route. Elle se situe dans l'enceinte de l'école primaire Michel Servet, entre la sortie du tunnel routier et les bâtiments de l'école (Figure 1). La cabine est installée sur un mur séparant l'école de la route et le capteur d'air se trouve à environ 6 m au-dessus de la surface de la route. Les mesures des polluants atmosphériques (notamment PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> et NO) sont disponibles sur le site Internet d'Atmo (Atmo, sans date).

Le rapport s'appuie sur les observations de la station du tunnel de la Croix-Rousse de Lyon pour décrire la qualité de l'air à l'extérieur des bâtiments de l'école primaire Michel Servet ; on parle de la station de mesure « du tunnel de la Croix-Rousse ».

### Système multi-capteurs AQMesh de mesure de la qualité de l'air

Les appareils AQMesh (Environmental Instruments Ltd, Royaume-Uni, [www.aqmesh.com](http://www.aqmesh.com)) sont des unités autonomes qui mesurent les concentrations ambiantes en polluants atmosphériques gazeux (ici : SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub>) ainsi que certaines variables environnementales (température, humidité relative et pression atmosphérique). Les données sont recueillies à l'aide de capteurs de gaz électrochimiques et sont traitées par un algorithme exclusif qui corrige les interférences croisées ainsi que l'effet de la température et de l'humidité relative.

Lors de l'utilisation d'unités AQMesh ou de tout autre capteur de gaz électrochimique en vue d'évaluer les concentrations en polluants atmosphériques, les bonnes pratiques recommandent de réaliser un étalonnage sur le terrain afin d'obtenir des résultats plus précis et de valider les mesures effectuées. L'instrument AQMesh a été co-implanté avec la station de mesure du tunnel de la Croix-Rousse et un étalonnage croisé a été réalisé pour calculer des facteurs d'échelle qui ont ensuite été appliqués aux données collectées à l'aide de l'AQMesh. L'ensemble des détails concernant cet étalonnage sur le terrain figure dans l'Annexe 1.

Le 25 mars 2022, une fois l'étalonnage effectué, l'instrument AQMesh a été déployé à l'intérieur d'une salle de classe dans le bâtiment principal de l'école primaire Michel Servet. Là, les mesures de SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> ont été réalisées directement dans l'environnement où évoluent les élèves. Les mesures sont toujours effectuées dans la salle de classe et les résultats pour la période du 25 mars au 16 mai 2022 sont présentés ci-dessous. Une coupure de l'alimentation électrique a empêché de réaliser les mesures du 25 au 29 avril 2022. Étant donné que l'analyse s'appuie sur les observations de cette station de mesure pour décrire la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments de l'école, ce site est appelé « station intérieure ».

## Données sur la congestion du trafic routier

Le système de navigation par satellite TomTom fournit des statistiques en ligne sur l'encombrement du trafic à Lyon (TomTom, 2022). Les données sur la congestion se fondent sur un indice calculé à partir des temps de trajet moyens. Par exemple, lorsque TomTom annonce un taux de congestion de 10 %, cela signifie que les temps de trajet moyens sont 10 % supérieurs aux conditions de référence, c'est-à-dire en l'absence de congestion. Ces données servent à déterminer à quel moment de la journée les niveaux de congestion atteignent leur pic à Lyon.

## Résultats

### Réseau de surveillance de la qualité de l'air à Lyon

La concentration moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> observée entre 2015 et 2021 sur chacune des 8 stations urbaines de mesure de la qualité de l'air de Lyon est présentée dans le Tableau 2.

Ces résultats, qui rassemblent les données des sept dernières années (y compris 5 années précédant l'épidémie de COVID-19), révèlent que les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> dépassent les seuils recommandés dans la ligne directrice de l'OMS à tous les emplacements et qu'elles excèdent la norme de l'UE sur toutes les stations en bordure de route sur la même période. La norme de l'UE n'est dépassée que sur les stations situées en bordure de route. Au niveau des stations du tunnel de la Croix-Rousse et du périphérique, qui jouxtent des axes majeurs, les préconisations de l'OMS et de l'UE ont été dépassées chaque année pendant les sept années. Les sites de mesure Lyon Trafic Jaurès et Villeurbanne Place Grand-Clément bordent des axes routiers significativement moins importants.

Au cours des années analysées, la norme européenne n'a été dépassée dans aucune station de fond urbain. Lorsque l'on compare les résultats des stations en bord de route et des stations urbaines, on constate que le trafic routier est responsable dans une large mesure de la concentration totale en NO<sub>2</sub> non loin des principaux axes routiers dans Lyon. C'est aussi vraisemblablement le cas au niveau des stations du tunnel de la Croix-Rousse et du périphérique, où les sites de mesure jouxtent des axes majeurs et l'entrée du tunnel. Les concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> à l'écart des routes les plus fréquentées se situent entre 16 et 42 µg/m<sup>3</sup>, tandis que les résultats au niveau du tunnel de la Croix-Rousse et du périphérique sont nettement plus élevés, atteignant entre 55 et 78 µg/m<sup>3</sup> les années sans restrictions liées au COVID-19. Cela tend à démontrer que les émissions dues à la circulation routière constituent un facteur significatif sur ces sites. Les valeurs moyennes annuelles les plus basses ont été enregistrées en 2020 et 2021, lorsque les restrictions et la réduction du trafic automobile liées au COVID-19 influaient sur les concentrations en NO<sub>2</sub> et NO (Atmo, 2021c). En 2020, la station située à la sortie du tunnel de la Croix-Rousse a enregistré une forte réduction de la concentration en NO<sub>2</sub>, tout comme les autres stations du réseau d'observation de la qualité de l'air de Lyon, et en particulier au 2<sup>e</sup> trimestre, ce qui s'explique essentiellement par le recul des activités (et donc du trafic routier) pendant le premier confinement lié au COVID-19 (Atmo, 2021b).

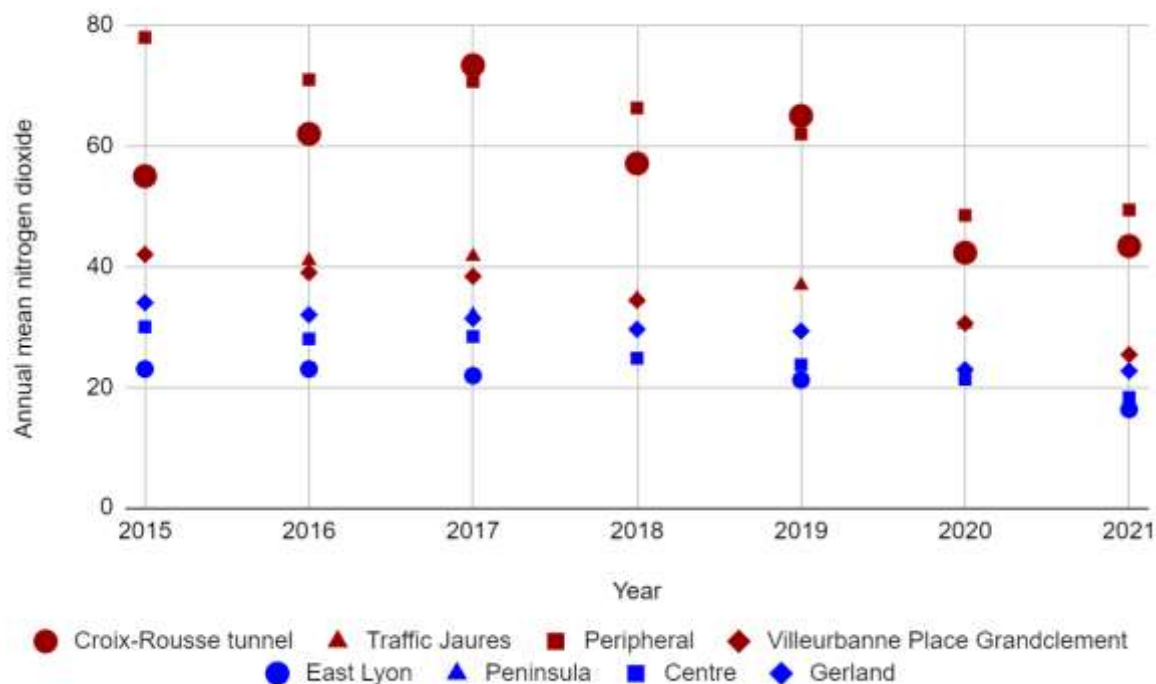
Entre 2015 et 2021, la différence moyenne des concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> entre les sites en bordure de route et les sites de fond urbain, toutes stations de mesure confondues à Lyon, se situait entre 16 et 30 µg/m<sup>3</sup>. À lui seul, cet incrément excède le seuil recommandé par la ligne directrice de l’OMS, à savoir 10 µg/m<sup>3</sup>, ce qui indique que les émissions dues au trafic à Lyon pourraient contribuer fortement à la quantité totale de NO<sub>2</sub> sur les sites en bordure de route dans toute la ville. Les enquêtes menées sur la contribution des routes aux concentrations en NO<sub>2</sub> à leurs abords viennent étayer cette conclusion (Atmo, 2021a).

**Tableau 2. Concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> aux stations de mesure de la qualité de l’air en zone urbaine à Lyon entre 2015 et 2021 (µg/m<sup>3</sup>)\***

Station	Type	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Croix-Rousse tunnel	Roadside	<b>55.0</b>	<b>62.0</b>	<b>73.4</b>	<b>57.1</b>	<b>65.0</b>	<b>42.3</b>	<b>43.4</b>
Traffic Jaures	Roadside		<b>41.0</b>	<b>41.7</b>	34.7	36.9	30.5	
Peripheral	Roadside	<b>78.0</b>	<b>71.0</b>	<b>70.7</b>	<b>66.3</b>	<b>62.0</b>	<b>48.5</b>	<b>49.4</b>
Villeurbanne Place Grand Clément	Roadside	<b>42.0</b>	39.0	38.4	34.4		30.6	25.4
East Lyon	Urban background	23.0	23.0	21.9		21.2		16.3
Peninsula	Urban Background			32.0				
Centre	Urban Background	30.0	28.0	28.4	24.8	23.7	21.3	18.3
Gerland	Urban background	34.0	32.0	31.4	29.6	29.3	22.9	22.7
Average (R)	Roadside	<b>58.3</b>	<b>53.3</b>	<b>56.1</b>	<b>48.1</b>	<b>54.6</b>	38.0	39.4
Average (UB)	Urban background	29.0	27.7	28.4	27.2	24.7	22.1	19.1
Average road increment (R - UB)	Roadside - Urban Background	29.3	25.6	27.6	20.9	29.9	15.9	20.3

\*Les valeurs dépassant la norme de l’UE pour les concentrations moyennes annuelles en dioxyde d’azote sont indiquées en **gras**, toutes les concentrations indiquées excèdent les valeurs préconisées par l’OMS.

Source : Atmo, <https://www.atmo-auvergnerrhonealpes.fr/donnees/acces-par-station> (Consulté le 27/05/2022)



**Figure 2. Concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> aux stations de mesure de la qualité de l'air de Lyon (aire urbaine) en bordure de route (rouge) et sur les sites de fond urbain (bleu) entre 2015 et 2021 (µg/m<sup>3</sup>).** Source : Atmo, <https://www.atmo-auvergnerrhonealpes.fr/donnees/acces-par-station> (consulté le 27/05/2022)

Les concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> relevées par la plupart des stations de surveillance dans l'aire urbaine de Lyon présentent une tendance très progressive à la baisse (Tableau 2, Figure 2). Dans certains cas, comme sur le site du tunnel de la Croix-Rousse, la variabilité interannuelle est forte par comparaison avec la tendance sur le long terme. Les valeurs enregistrées y sont les plus basses en 2020 et 2021, années où les réductions de courte durée des émissions dues au trafic routier peuvent être attribuées aux restrictions liées au COVID-19. Sur le long terme, il est probable que la tendance de fond s'explique par le renouvellement de la flotte automobile en cours à Lyon (Atmo 2016) et par les actions mises en place par la Métropole de Lyon dans le cadre du Plan Oxygène, notamment des abaissements de vitesse et des zones à faibles émissions (Métropole de Lyon, 2021, Atmo, 2021b). Les véhicules récents qui entrent en circulation respectent un seuil d'émissions de NO<sub>x</sub> plus bas, conformément aux réglementations européennes.

Aucune tendance ne se dessine clairement dans les concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> mesurées par la station du tunnel de la Croix-Rousse au niveau de l'école Michel Servet sur la période 2015-2019, même si des concentrations plus faibles ont été enregistrées en 2020 et 2021 (Tableau 2, Figure 2). L'année 2017 a affiché des taux atypiques plus élevés de NO<sub>2</sub> qui peuvent résulter de la fermeture de certaines routes dans Lyon (Atmo, 2021b). Les concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> aux abords du tunnel de la Croix-Rousse ont continué à dépasser les seuils réglementaires. Les valeurs plus faibles relevées au printemps 2020 donnent une idée de la qualité de l'air que l'on pourrait atteindre si le trafic automobile dans le tunnel de la Croix-Rousse était radicalement réduit.

## École primaire Michel Servet

Tout au long de la période de surveillance, du 28 mars 2022 au 16 mai 2022, les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> enregistrées au niveau du tunnel de la Croix-Rousse et à l'intérieur de l'école étaient respectivement de 30,1 et 19,0 µg/m<sup>3</sup> (Tableau 3).

Afin de se faire une meilleure idée de la qualité de l'air que respirent les écoliers, un sous-ensemble d'observations réalisées pendant les heures de classe a été étudié séparément. Le sous-ensemble de mesures prises uniquement pendant les horaires scolaires comprend des observations réalisées du lundi au vendredi (36 jours), de 8h00 à 19h00. Ces horaires incluent toutes les heures où les salles de classe sont potentiellement utilisées pour les cours ou les activités périscolaires (École primaire Michel Servet, sans date).

Pendant les heures de classe, la station du tunnel de la Croix-Rousse et la station intérieure relevaient respectivement des concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> de 43,4 et 24,1 µg/m<sup>3</sup> (Tableau 3).

L'OMS préconise que les concentrations moyennes journalières en NO<sub>2</sub> n'excèdent pas 25 µg/m<sup>3</sup> sur plus de 3 à 4 jours par an (Tableau 1). Au cours de la période de surveillance de 49 jours, du 28 mars 2022 au 16 mai 2022, les concentrations moyennes journalières en NO<sub>2</sub> préconisées par l'OMS ont été dépassées sur 31 jours au niveau de la station du tunnel de la Croix-Rousse, et sur 7 jours au niveau de la station intérieure. La moyenne journalière la plus élevée a atteint 73,9 µg/m<sup>3</sup> au tunnel de la Croix-Rousse et 44,2 µg/m<sup>3</sup> à la station intérieure (Tableau 3). Même en tenant compte de l'incertitude de mesure de la station intérieure (+/- ~10 µg/m<sup>3</sup>), il est probable que les directives sanitaires de l'OMS aient été enfreintes au cours de la période de surveillance de 49 jours. L'incertitude de mesure de l'AQMesh est détaillée en annexe.

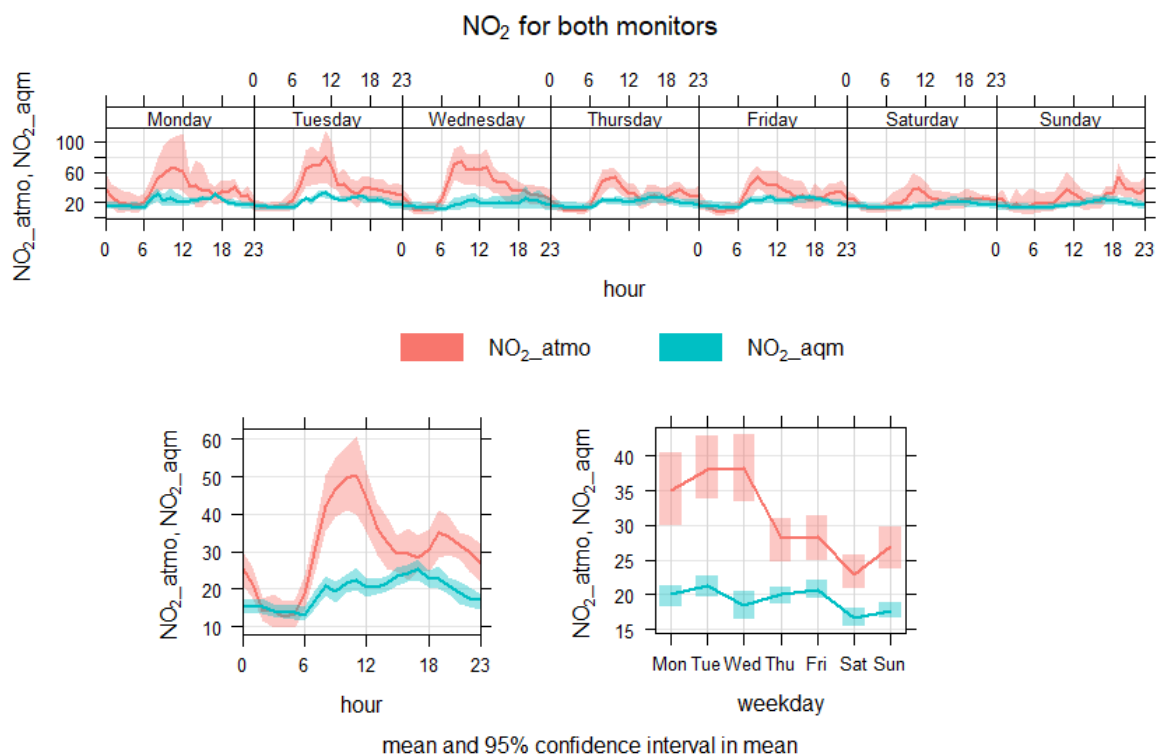
Les concentrations horaires maximales en NO<sub>2</sub> étaient respectivement de 156,4 et 65,5 µg/m<sup>3</sup> aux stations du tunnel de la Croix-Rousse et à l'intérieur de l'école (Tableau 3). Les normes européennes et les lignes directrices de l'OMS précisant que les concentrations horaires en NO<sub>2</sub> ne doivent pas dépasser 200 µg/m<sup>3</sup> (Tableau 1), aucune des mesures réalisées n'indique que les seuils préconisés par l'UE et l'OMS ont été dépassés.

**Tableau 3. Synthèse des mesures de NO<sub>2</sub> à l'école primaire Michel Servet du 28 mars 2022 au 16 mai 2022**

Statistic	Units	Croix-Rousse Tunnel Monitor (outdoor)	AQMesh Monitor (indoor)	Relevant WHO Guideline	Relevant EU Standard
Environment	-	Outside Air	Indoor Air	-	-
Monitoring Period Average	µg/m <sup>3</sup>	30.2	19.0	-	-
Monitoring Period Average (School hours only)	µg/m <sup>3</sup>	43.4	24.1	-	-
Monitoring Period 24-hour Maximum	µg/m <sup>3</sup>	73.9	44.2	25	-
Number of days exceeding WHO 24-hour Guideline	Days	31	7	3-4*	-
Monitoring Period 1-hour Maximum	µg/m <sup>3</sup>	156.4	65.5	200	200
Monitoring Period 1-hour Maximum (School hours only)	µg/m <sup>3</sup>	156.4	65.5	200	200



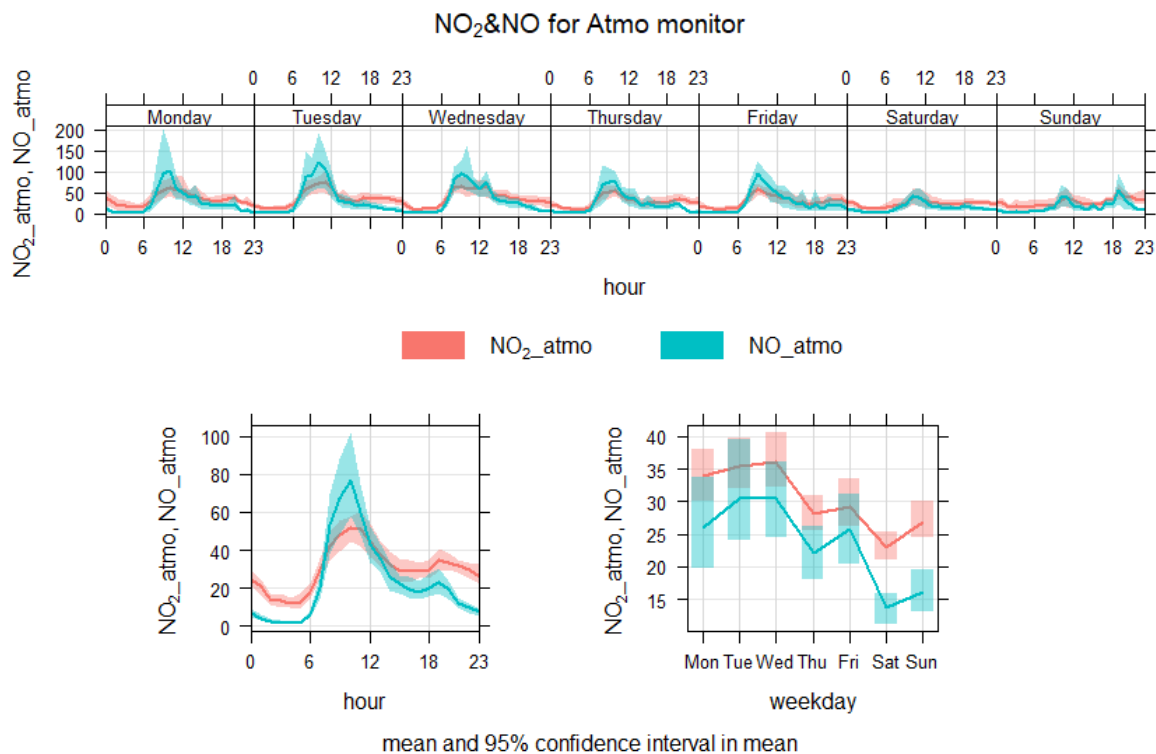
\*The guideline concentration must not be exceeded on more than 3-4 days each year



**Figure 3. Synthèse des mesures de NO<sub>2</sub> (moyenne et intervalle de confiance à 95 %) dans l'école primaire Michel Servet pour la station du tunnel de la Croix-Rousse (rouge) et la station AQMesh intérieure (bleu) (µg/m<sup>3</sup>) du 28 mars 2022 au 16 mai 2022**

Les données du trafic routier à Lyon pour 2019 et 2020 montrent que les pics de congestion en semaine s'observaient à 8-9h et 17-18h. Le week-end, les pics surviennent vers 11h et 18h (TomTom, 2022). Ces périodes de pic d'encombrement sont corrélées avec une augmentation du taux de NO<sub>2</sub> mesuré par les deux stations (Figure 3), ce qui tend à indiquer que le trafic automobile est un facteur important de la concentration des polluants à l'intérieur de l'école.

Au pic de NO<sub>2</sub> observé chaque matin à 8-9h correspond un pic de NO de plus grande amplitude (Figure 4). Le NO est un gaz plus réactif que le NO<sub>2</sub> qui s'oxyde en NO<sub>2</sub> avec le temps. Le ratio NO sur NO<sub>2</sub> relevé par la station du tunnel de la Croix-Rousse permet donc de penser qu'une source d'émission proche, telle que le trafic routier empruntant le tunnel de la Croix-Rousse, est responsable des concentrations de polluants aux heures de pointe.



**Figure 4. Synthèse des mesures de NO (bleu) et NO<sub>2</sub> (rouge) (moyenne et intervalle de confiance à 95 %) à l'école primaire Michel Servet pour la station du tunnel de la Croix-Rousse (µg/m<sup>3</sup>) du 28 mars 2022 au 16 mai 2022**

## Conclusions

L'étude de la qualité de l'air dans l'école primaire Michel Servet s'est appuyée sur les données de NO<sub>2</sub> provenant d'une courte campagne de surveillance à l'école ainsi que sur les observations réalisées sur le long terme par les stations de surveillance de la pollution de l'air dans toute la ville de Lyon.

La courte campagne de surveillance a débuté le 28 mars et les données ont été analysées jusqu'au 16 mai 2022. Les seuils de concentration moyenne journalière en NO<sub>2</sub> préconisés par la ligne directrice de l'OMS ont été dépassés à plusieurs reprises, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'école au cours de cette période. Les taux moyens de NO<sub>2</sub> observés à l'intérieur de l'école pendant les heures d'ouverture étaient plus élevés que ceux relevés sur 24 heures.

Les taux de NO<sub>2</sub> mesurés à l'intérieur du bâtiment principal de l'école primaire Michel Servet au cours des 49 jours de surveillance ont excédé les seuils journaliers préconisés par l'OMS à 7 reprises.

Les taux de NO<sub>2</sub> mesurés dans la cour nord de l'école primaire Michel Servet par la station du tunnel de la Croix-Rousse au cours des 49 jours de surveillance ont dépassé les seuils journaliers préconisés par l'OMS à 31 reprises. Les relevés sur ce site révèlent que la moyenne annuelle de NO<sub>2</sub> recommandée par la ligne directrice de l'OMS et la norme de l'UE a été dépassée chaque année depuis au moins 2015, même pendant la pandémie de COVID-19.

Les analyses des concentrations horaires en NO<sub>2</sub> ont montré que l'augmentation des taux coïncide avec les pics de congestion de la circulation. Cela tend à indiquer que le trafic routier est un facteur important des concentrations en polluants au niveau de l'école.

La comparaison des données sur la qualité de l'air de Lyon provenant des sites de surveillance en bord de route et des sites de fond a fourni la preuve que le trafic routier est responsable des concentrations élevées de polluants atmosphériques aux abords du tunnel de la Croix-Rousse.

## Références

**Achakulwisut et al (2019)** - Pattanun Achakulwisut, Michael Brauer, Perry Hystad, Susan C Anenberg, Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO<sub>2</sub> pollution: estimates from global datasets, *The Lancet Planetary Health*, Volume 3, Issue 4, 2019, Pages e166-e178, ISSN 2542-5196, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30046-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30046-4)

**Anderson et al (2007)** - Anderson, H., et al. *Quantitative systematic review of short term associations between ambient air pollution (particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide), and mortality and morbidity*. Londres, ministère de la Santé. Disponible à l'adresse : <https://www.gov.uk/government/publications/quantitative-systematic-review-of-short-term-associations-between-ambient-air-pollution-particulate-matter-ozone-nitrogen-dioxide-sulphur-dioxide-and-carbon-monoxide-and-mortality-and-morbidity> (2007).

**Atmo (Sans date)** - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Accès aux données de mesure. <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/donnees/telecharger> (consulté le 27/05/2022) Sans date

**Atmo (2016)** - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Étude de la qualité de l'air sur le secteur de la Croix-Rousse (Lyon 1er et 4ème) Rapport de synthèse - Mesures et Modélisation - 2014-2015. [rapport-synthese-etudexrousse-2014-2015-vrevmlvaldch-def.pdf\(atmo-auvergnerhonealpes.fr\)](http://rapport-synthese-etudexrousse-2014-2015-vrevmlvaldch-def.pdf(atmo-auvergnerhonealpes.fr)) (consulté le 09/06/2022)

**Atmo (2021a)** - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. CAPI - Communauté d'Agglomération Porte de l'Isère Évaluation de la qualité de l'air autour d'axes de circulation structurants du territoire (A43 et RD1006) Bilan des campagnes de mesure réalisées entre 2019 et 2020. [https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/medias/documents/2021-10/atmo\\_synthese\\_mesures\\_2019-2020\\_capi\\_20201203.pdf](https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/aura/files/medias/documents/2021-10/atmo_synthese_mesures_2019-2020_capi_20201203.pdf) (consulté le 08/06/2022)

**Atmo (2021b)** - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Synthèse de la qualité de l'air aux abords du tunnel de la Croix-Rousse Analyse des données de 2014 à 2020. [Atmo-Nom du Rapport\(atmo-auvergne rhone alpes.fr\)](http://Atmo-Nom du Rapport(atmo-auvergne rhone alpes.fr)) (consulté le 09/06/2022)

**Atmo (2021c)** - Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Bilan de la qualité de l'air 2020 en Auvergne-Rhône-Alpes [atmo bilan 2020 web-maj-sept-2021.pdf\(atmo-auvergnerhonealpes.fr\)](http://atmo bilan 2020 web-maj-sept-2021.pdf(atmo-auvergnerhonealpes.fr)) (consulté le 10/06/2022)

**École primaire Michel Servet (Sans date)** - [École primaire Michel Servet](http://École primaire Michel Servet) <https://ecoleprimairemichelservet.blogs.laclass.com/informations-administratives/les-horaires/> (consulté le 08/06/2022)

**Garcia et al (2019)** - Garcia E, Berhane KT, Islam T, et al. Association of Changes in Air Quality With Incident Asthma in Children in California, 1993-2014. *JAMA*. 2019;321(19):1906-1915. doi:10.1001/jama.2019.5357

**Guarnieri & Balmes (2014)** - Guarnieri M, Balmes JR, Outdoor air pollution and asthma, *The Lancet*, Volume 383, Issue 9928, 2014, Pages 1581-1592, ISSN 0140-6736, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6).

**Métropole de Lyon (2021)** - Métropole de Lyon. Plan Climat Air Énergie Territorial Point d'étape 2021 [https://www.grandlyon.com/fileadmin/user\\_upload/media/pdf/environnement/20220223\\_pcaet\\_point-etape.pdf](https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/environnement/20220223_pcaet_point-etape.pdf) (consulté le 09/06/2022)

**OMS (2006)** - Organisation mondiale de la santé. *Lignes directrices relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre : mise à jour mondiale 2005*. (2006)

**OMS (2021)** - Organisation mondiale de la santé. *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules (PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub>), ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et monoxyde de carbone*. 2021.

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/346555>. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO (consulté le 08/02/2022)

**Stieb et al (2021)** - Stieb, D.M., Berjawi, R., Emode, M., Zheng, C., Salama, D., Hocking, R., Lyrette, N., Matz, C., Lavigne, E. and Shin, H.H., 2021. Systematic review and meta-analysis of cohort studies of long term outdoor nitrogen dioxide exposure and mortality. *PloS one*, 16(2), p.e0246451.

**TomTom (2022)** - TomTom. *Lyon in Traffic Index 2021*. [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/lyon-traffic/#statistics](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/lyon-traffic/#statistics) (consulté le 08/06/2022)

**UE (2008)** - Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

## Annexe

### Étalonnage de l'AQMesh sur le terrain

L'instrument de surveillance de la qualité de l'air AQMesh utilise des capteurs électrochimiques pour déterminer les taux ambiants de gaz à l'état de traces. Les capteurs sont sensibles à l'environnement, et notamment aux effets de la température et de l'humidité. Les données brutes recueillies par les capteurs de gaz électrochimiques sont traitées par un algorithme exclusif qui corrige ces effets à l'aide de mesures de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique également réalisées par le dispositif AQMesh.

Un étalonnage sur le terrain de l'étude a été effectué en co-implantant l'AQMesh avec la station du tunnel de la Croix-Rousse. Cette co-implantation a permis de faire des comparaisons avec un instrument de référence en matière de qualité pour déterminer des facteurs d'échelle qui ont ensuite été appliqués aux mesures de l'AQMesh. La station de référence du tunnel de la Croix-Rousse, située du côté nord de la cour de l'école primaire Michel Servet, à proximité de l'entrée du tunnel, mesure les concentrations horaires de PM<sub>10</sub>, NO et NO<sub>2</sub>, principaux polluants atmosphériques.

L'unité AQMesh a été co-implantée avec la station de référence du 10 février 2022 au 24 mars 2022, bien que la collecte des données ait été interrompue en raison d'une panne de batterie sur cette période (Figure A1). L'étalonnage sur le terrain ayant été réalisé pour le NO et le NO<sub>2</sub> le 15 mars 2022, l'analyse du rapport se fonde sur les données recueillies à partir du 16 mars.

Les résultats de la co-implantation avant étalonnage sont présentés dans les Figures A1 et A4 pour le NO et le NO<sub>2</sub>. La comparaison entre les résultats de l'AQMesh et ceux de la station de référence, présentée dans les Figures A2 et A5, indique que l'unité AQMesh s'accordait de façon relativement bonne avec la station de référence du tunnel de la Croix-Rousse pour le NO ( $R^2=0,58$ ) et NO<sub>2</sub> ( $R^2=0,44$ ).

Les facteurs d'échelle indiqués dans le Tableau A1 ont ensuite été appliqués aux résultats de surveillance de l'AQMesh pour améliorer les performances de l'instrument au cours de son déploiement dans l'école primaire Michel Servet de Lyon. Les Figures A3 et A6 présentent les résultats pondérés de l'étalonnage, respectivement pour le NO et le NO<sub>2</sub>.

**Tableau A1 : Comparaison des données de l'AQMesh et du site de référence du tunnel de la Croix-Rousse (ppb)**

	NO	NO <sub>2</sub>
Slope	0.697	0.682
Intercept	7.739	-0.359

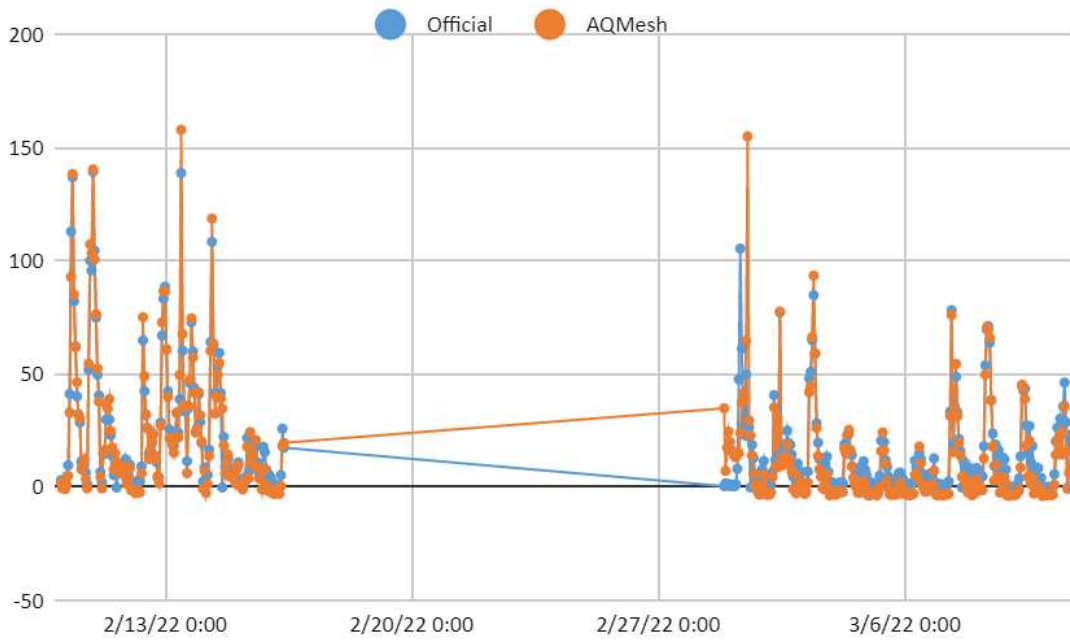


Figure A1 : Concentrations en NO (ppb) mesurées par AQMesh (avant étalonnage) et par la station de référence

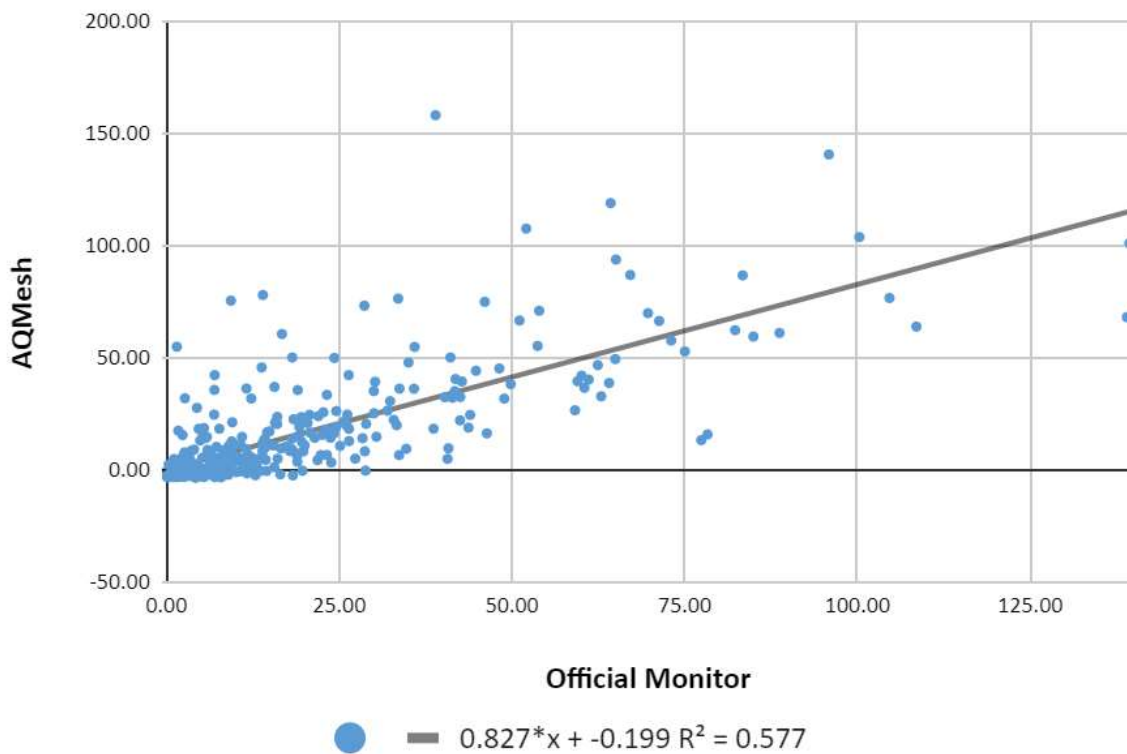


Figure A2 : Comparaison entre les concentrations en NO (ppb) mesurées par AQMesh et par la station de référence

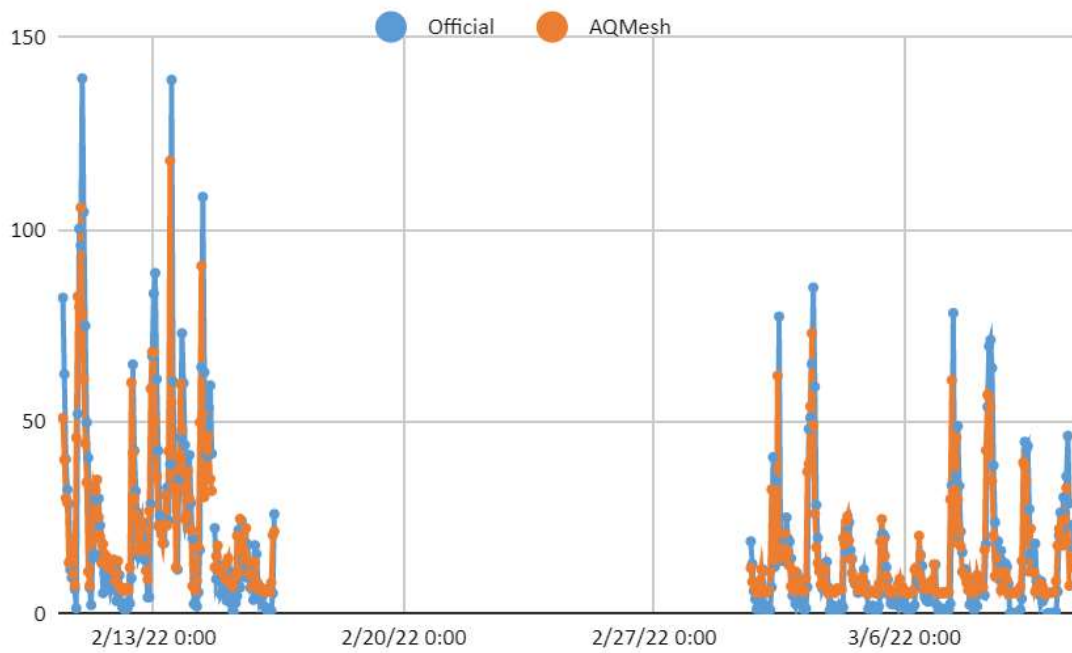


Figure A3 : Concentrations en NO (ppb) mesurées par AQMesh (ajustées) et par la station de référence

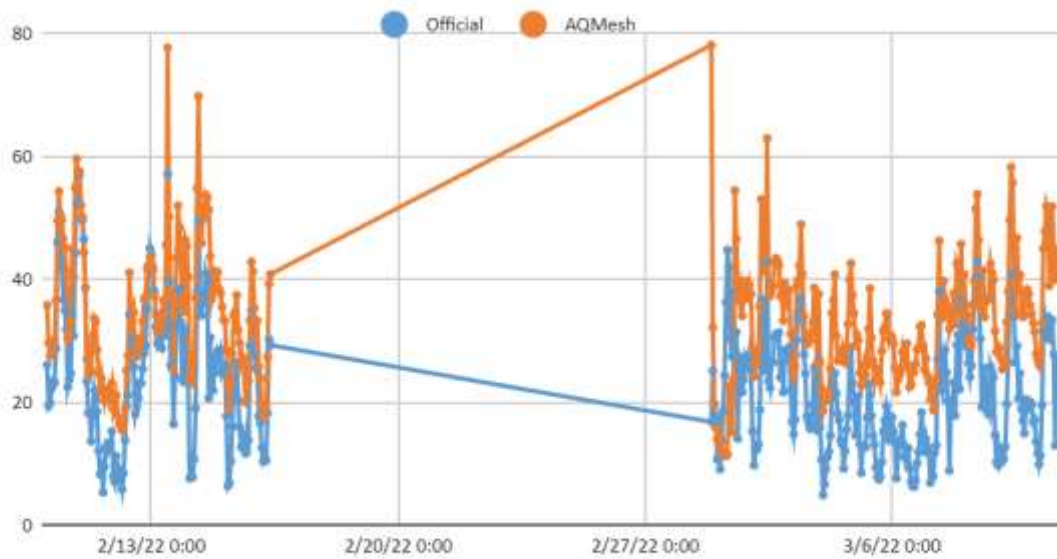


Figure A4 : Concentrations en NO<sub>2</sub> (ppb) mesurées par AQMesh (avant étalonnage) et par la station de référence

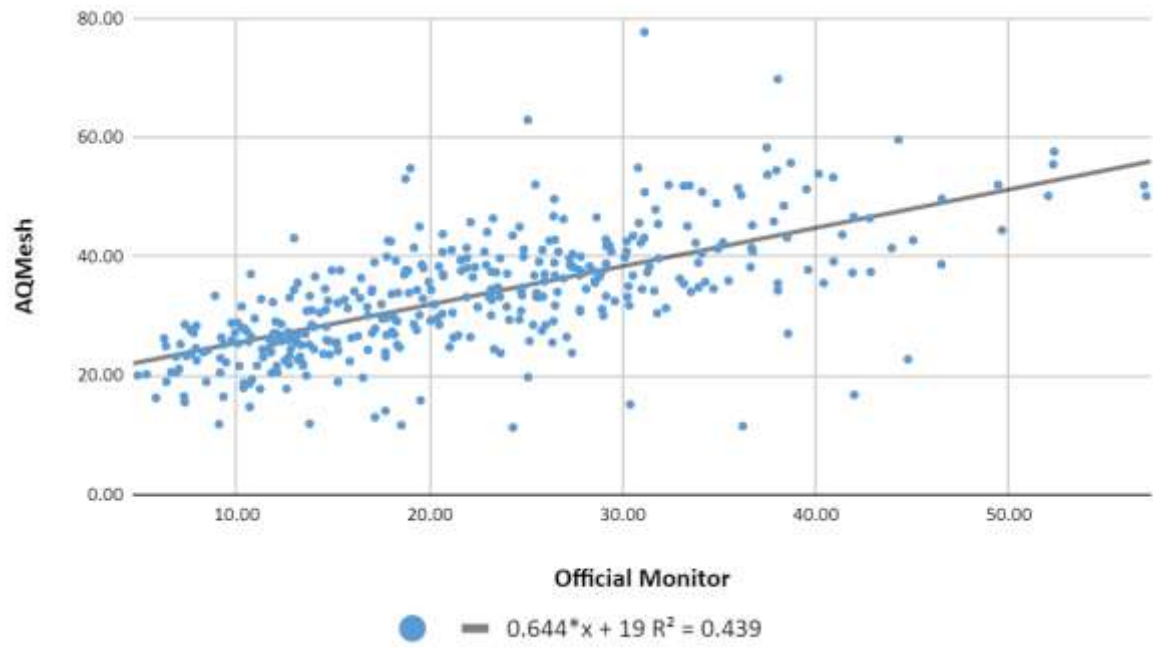


Figure A5 : Comparaison entre les concentrations en NO<sub>2</sub> (ppb) mesurées par AQMesh et par la station de référence

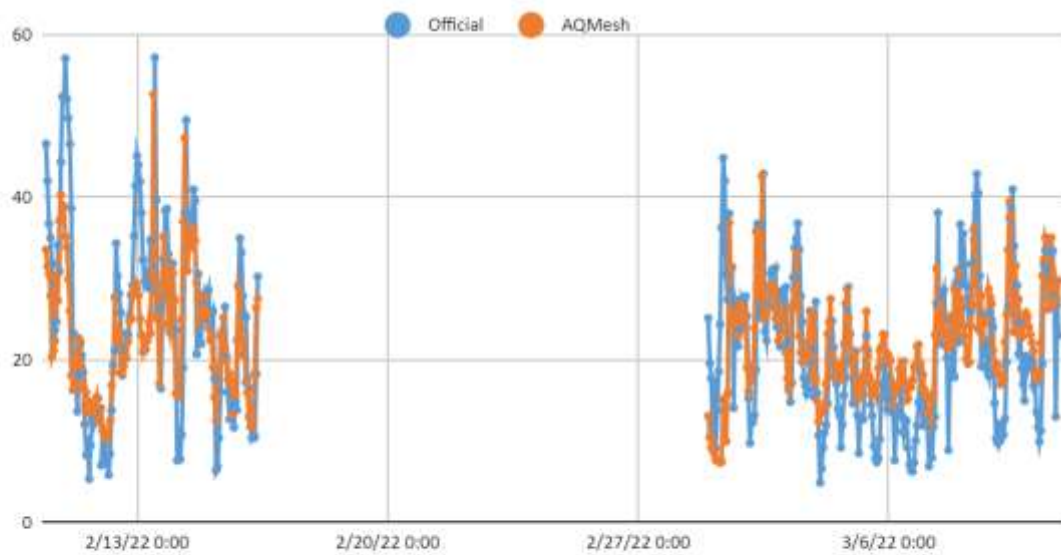


Figure A6 : Concentrations en NO<sub>2</sub> (ppb) mesurées par AQMesh (ajustées) et par la station de référence