

EXPERIMENTATION DE PIETONNISATION DE LA PRESQU'ILE DE LYON

EVALUATION DE L'IMPACT SUR LA
QUALITE DE L'AIR

Diffusion : avril 2020

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr



Sommaire

Financement	3
Contexte	3
Méthode d'évaluation et accompagnement d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	5
1. Méthodologie générale	5
2. Présentation des micro-capteurs	6
2.1. Préconisations d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes concernant l'usage de micro-capteurs	6
2.2. Présentation des micro-capteurs AtmoTrack employés dans l'étude	6
3. Plan et durée de l'échantillonnage	7
Calibration des micro-capteurs	8
1. Principe de la calibration	8
2. Résultats de la calibration du dioxyde d'azote NO₂	9
3. Résultats de la calibration des particules PM₁₀	11
Exploitation du suivi métrologique	14
1. Méthodologie d'exploitation	14
1.1. Nature des exploitations.....	14
1.2. Identification des conditions comparables pour l'analyse temporelle	15
2. Résultats pour le dioxyde d'azote NO₂	15
2.1. Comparaison des concentrations moyennes entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables	15
2.2. Comparaison de la variation des concentrations entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables	18
2.3. Analyse de la répartition spatiale des concentrations	21
3. Résultats pour les particules PM₁₀	24
3.1. Comparaison des concentrations moyennes entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables	24
3.2. Analyse de la répartition spatiale des concentrations	27
4. Conclusion de l'analyse métrologique	30
Exploitation complémentaire par modélisation	31
1. Méthodologie	31
2. Résultats de la modélisation	32
2.1. Résultats modélisés pour le dioxyde d'azote NO ₂	32
2.2. Résultats modélisés pour les particules PM ₁₀ et PM _{2,5}	33
Conclusion	36

Financement

Cette étude s'inscrit dans le programme d'actions 2019 établi entre la Métropole de Lyon et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Elle a pu être réalisée grâce aux données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, ainsi que la subvention attribuée par la Métropole de Lyon dans le cadre de la convention d'attribution pour son programme d'actions 2019.

Contexte

Le mercredi 12 juin 2019, David Kimelfeld, Président de la Métropole de Lyon a annoncé le lancement d'une expérimentation grandeur nature d'un projet de piétonnisation de la Presqu'île de Lyon.

Afin d'évaluer les possibilités de donner la priorité à la marche à pied dans le centre-ville de Lyon, 5 journées d'expérimentation ont été retenues à partir de septembre 2019 :

- Le samedi 28 septembre ;
- Le samedi 12 octobre ;
- Le samedi 26 octobre ;
- Le mercredi 20 novembre ;
- Le jeudi 21 novembre.

Au cours de ces journées, les piétons ont été prioritaires sur l'ensemble de la zone et ont pu marcher sur la chaussée. La circulation des véhicules a quant à elle été limitée comme suit :

- Les automobilistes non-résidents pouvaient uniquement accéder aux parkings, la circulation sur la zone d'expérimentation leur étant interdite ;
- Seuls certains véhicules ont été autorisés à circuler dans la zone d'expérimentation, à 5km/h et selon le sens de circulation indiqué ;
- Les riverains et certains usagers ont également pu stationner dans certaines rues indiquées.

La piétonnisation a été mise en place de 11h à 20h du bas des pentes de la Croix Rouse à la Place Bellecour.

Afin de conserver des accès Rhône-Saône aux automobilistes, les rues Grenette et Constantine sont restées ouvertes à la circulation des voitures. Les accès aux parkings ont également été maintenus, des panneaux indiquant les itinéraires à suivre pour s'y rendre (Figure 1).

➤ Méthode d'évaluation et accompagnement d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

1. Méthodologie générale

L'évaluation de l'impact de l'expérimentation de piétonnisation sur la qualité de l'air a été réalisée au travers d'un suivi métrologique des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) et des particules (PM10, PM2,5 et PM1) au niveau de la Presqu'île à partir de micro-capteurs AtmoTrack (cf. annexe 1), loués par la Métropole de Lyon à compter du 27 septembre 2019 et pour une durée de trois mois.

Le plan d'échantillonnage du suivi de l'expérimentation et l'installation sur site des micro-capteurs ont été réalisés par la Métropole de Lyon.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a accompagné la Métropole de Lyon dans l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation de la piétonnisation sur 3 volets :

- Calibration des micro-capteurs au niveau d'une station de référence de l'observatoire en amont et en aval de la campagne de mesure ;
- Exploitation des données de la campagne de mesure ;
- Rédaction des conclusions de l'étude sous la forme d'un rapport et diffusion via, notamment, le site internet d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.



Figure 2 : démarche d'évaluation de l'impact de l'expérimentation de la piétonnisation en presqu'île de Lyon sur la qualité de l'air

En plus de cet accompagnement, et pour compléter l'exploitation du suivi métrologique, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a réalisé une analyse de l'impact de l'expérimentation de piétonnisation de la Presqu'île de Lyon à partir de ses outils de modélisation (cf. chapitre « Exploitation complémentaire par modélisation » du présent document).

2. Présentation des micro-capteurs

2.1. Préconisations d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes concernant l'usage de micro-capteurs

Le domaine de la surveillance de la qualité de l'air connaît actuellement de nombreuses innovations technologiques avec l'amélioration de la gamme des micro-capteurs disponibles offrant de nouvelles perspectives dans le domaine de la mesure.

L'observatoire travaille depuis plusieurs années à l'évaluation des champs d'application des micro-capteurs à la surveillance de la qualité de l'air. Fort de cette expérience et de son expertise, en cas d'usage de micro-capteurs, afin de garantir la fiabilité de l'information délivrée, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes recommande :

- 1/ De choisir les micro-capteurs les plus adaptés aux contextes et enjeux des études parmi les participants au challenge Airlab¹. Ce challenge a en effet pour but de comparer différents micro-capteurs afin d'éclairer, en toute indépendance, les utilisateurs entre l'adéquation du produit et les usages possibles ;
- 2/ De réaliser avant et après la mise en place des micro-capteurs une mise en parallèle des appareils avec des analyseurs de référence (calibration) ;
- 3/ De maintenir, pendant la mesure, un micro-capteurs sur un site de référence afin de garantir une cohérence entre les résultats.

L'usage des micro-capteurs présente des perspectives particulièrement intéressantes et un certain nombre d'avantages (souplesse d'installation par exemple). Les micro-capteurs ne constituent pas néanmoins des analyseurs homologués de référence et leur utilisation relève encore du domaine de l'innovation.

2.2. Présentation des micro-capteurs AtmoTrack employés dans l'étude

Les micro-capteurs AtmoTrack employés dans l'étude ont visé la mesure des concentrations en NO₂, des particules du type PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁ (respectivement de taille inférieure à 10, 2,5 et 1 µm).

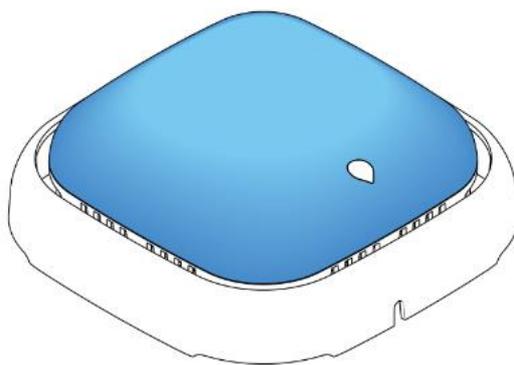


Figure 3 : illustration d'un micro-capteur AtmoTrack

Méthode d'évaluation des particules :

- Mesure optique ;
- Référence : sable californien ;
- Précision de la mesure $\pm 10\%$ pour 100-500µg/ m³, $\pm 10\mu\text{g}$ pour 0- 100µg/ m³.

¹ organisé par Airparif avec l'appui d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, d'Atmo Grand-Est, du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, de la délégation Régionale Île-de-France de la Caisse des Dépôts et des Consignations, du Laboratoire Fédéral d'essai des matériaux et de recherche suisse (EMPA), de la Fédération Interprofessionnelle des Métiers de l'Environnement Atmosphérique, d'ICADE, de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, et de Veolia

Méthode d'évaluation du NO₂ :

- Membrane multicouche silicone ;
- Résolution : 5 ppb soit 10µg/m³ ;
- Intervalle de mesure : 0.02 à 10 ppm, soit à partir de 38µg/m³ (1 ppb = 1,9125 µg/m³ à 20°C).

Facteurs d'influence sur les mesures :

- Pour les particules : humidité, nature des particules (réfraction différente) ;
- Pour l'ensemble des polluants : influence de l'orientation et vitesse de l'air.

Ces micro-capteurs ont participé au challenge Airlab, respectivement, en 2018 et 2019 (cf. annexe 1).

3. Plan et durée de l'échantillonnage

Les micro-capteurs ont été installés au niveau de feux de signalisation par les services techniques de la Métropole de Lyon selon le plan d'échantillonnage suivant (Figure 4) :

- trois micro-capteurs ont été disposés dans la zone d'expérimentation piétonne (les micro-capteurs nommés AT_037, AT_038 et AT_039), dont un en bordure de la zone (AT_037) ;
- un micro-capteur a été mis en place à l'extérieur de la zone, comme point de comparaison (le micro-capteur AT_040).

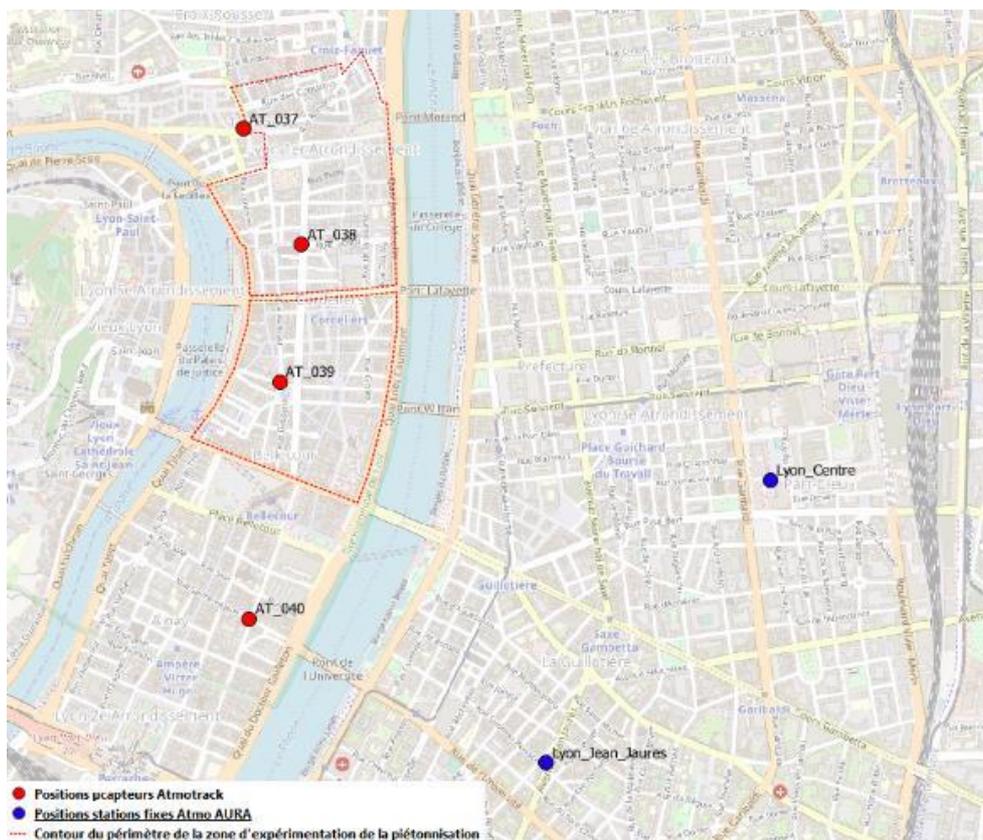


Figure 4 : plan d'échantillonnage du suivi de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation de la piétonnisation en Presqu'île

Après une période de calibration de plusieurs jours, les micro-capteurs AtmoTrack ont été installés le 07/10/2019 et jusqu'au 18/12/2019.

Pendant cette période, quatre jours d'expérimentation piétonne de 11 heures à 20 heures ont eu lieu, soit 36 heures au total.

Calibration des micro-capteurs

1. Principe de la calibration

Comme précisé ci-avant., lors de l'utilisation de micro-capteurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes préconise d'organiser une période de calibration afin d'identifier et pouvoir corriger d'éventuels biais de mesures.

La calibration consiste en la mise en place des micro-capteurs utilisés en parallèle d'une station de mesures homologuée pendant plusieurs jours, avant et après la campagne de mesure.

La comparaison entre les concentrations mesurées pendant cette période par les micro-capteurs et par la station de référence permet :

- De pouvoir écarter le cas échéant un micro-capteur défaillant ;
- D'évaluer l'erreur de mesures des micro-capteurs par rapport à l'analyseur homologué ;
- De corriger au mieux les résultats des mesures par micro-capteurs afin de réduire leurs écarts avec les analyseurs homologués, en ajustant l'algorithme interne de chaque micro-capteur.

Cette phase de calibration est fondamentale pour déterminer la précision des micro-capteurs utilisés. La station homologuée utilisée pour la calibration est la station d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes de Lyon Centre.

Les micro-capteurs ont été placés en parallèle de cette station une semaine en amont de la campagne, du 27/09/2019 au 04/10/2019, puis presque un mois à la fin de la campagne, du 18/12/2019 au 16/01/2019 (Figure 5).

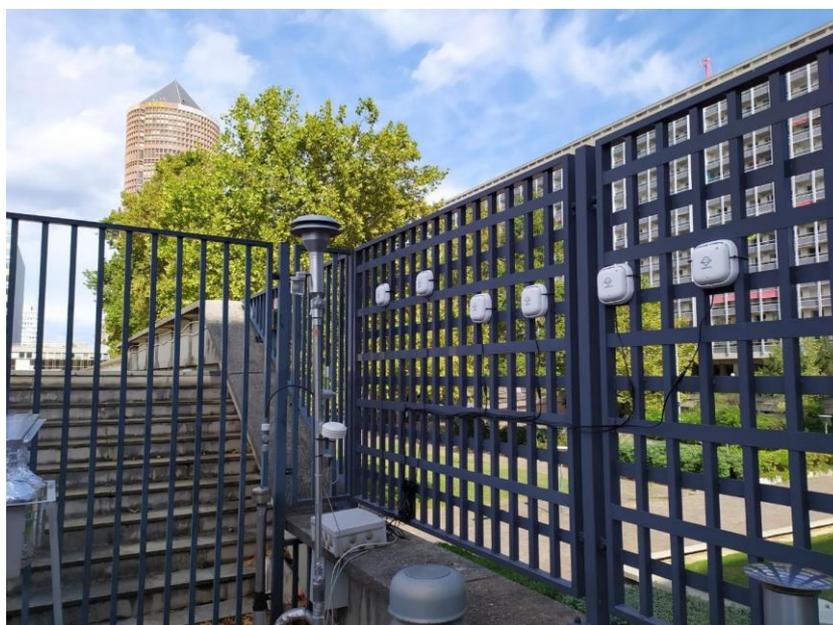


Figure 5 : illustration de la calibration des micro-capteurs AtmoTrack au niveau de la station fixe de mesure de Lyon centre

Afin d'évaluer la qualité des mesures de micro-capteurs par rapport à la station de référence, plusieurs critères statistiques sont utilisés :

- Le premier est le coefficient de corrélation R^2 , caractérisant la capacité du capteur à produire des mesures fidèles par rapport à l'analyseur de référence. Un coefficient de corrélation parfait est égal à 1 et est considéré comme bon lorsque supérieur à 0,75 ;
- Le second est le critère MAPE qui traduit la dispersion des erreurs entre le micro-capteur et l'analyseur homologué. Le critère MAPE de mesures parfaites est égal à 0 et il est considéré comme bon lorsqu'inférieur à 0,25.

Les éventuelles corrections apportées aux données à la suite de la calibration sont réalisées individuellement pour chacun des micro-capteurs.

2. Résultats de la calibration du dioxyde d'azote NO₂

À la suite de la phase de calibration, une correction des données a été appliquée aux résultats de NO₂ afin d'améliorer leur corrélation à ceux de la station de référence, les premiers résultats n'ayant pas fourni de résultats satisfaisants vis-à-vis des critères R^2 et MAPE (Tableau 1).

La correction apportée aux mesures des micro-capteurs a permis d'améliorer notablement la corrélation de ces dernières à celles de la station de référence. Les résultats finaux ne peuvent néanmoins être qualifiés de « bons » vis-à-vis des critères établis. En effet, après correction :

- les coefficients de corrélation obtenus se situent autour de 0,6 ;
- les critères MAPE se situent autour de 0,5.

	Avant correction		Après correction	
	Coefficient de corrélation R^2	Critère MAPE	Coefficient de corrélation R^2	Critère MAPE
AT_037	0.212	0.706	0.614	0.489
AT_038	0.203	0.754	0.601	0.543
AT_039	0.210	0.727	0.592	0.502
AT_040	0.153	0.775	0.592	0.483

Tableau 1 : résultats des coefficients de corrélation et critères MAPE des micro-capteurs avant et après la phase de calibration pour la mesure du NO₂

L'application des facteurs correctifs a rehaussé les niveaux mesurés par les micro-capteurs, qui tendaient à sous-estimer fortement les concentrations en NO₂ par rapport à la station de référence (Figure 6 et Figure 7).

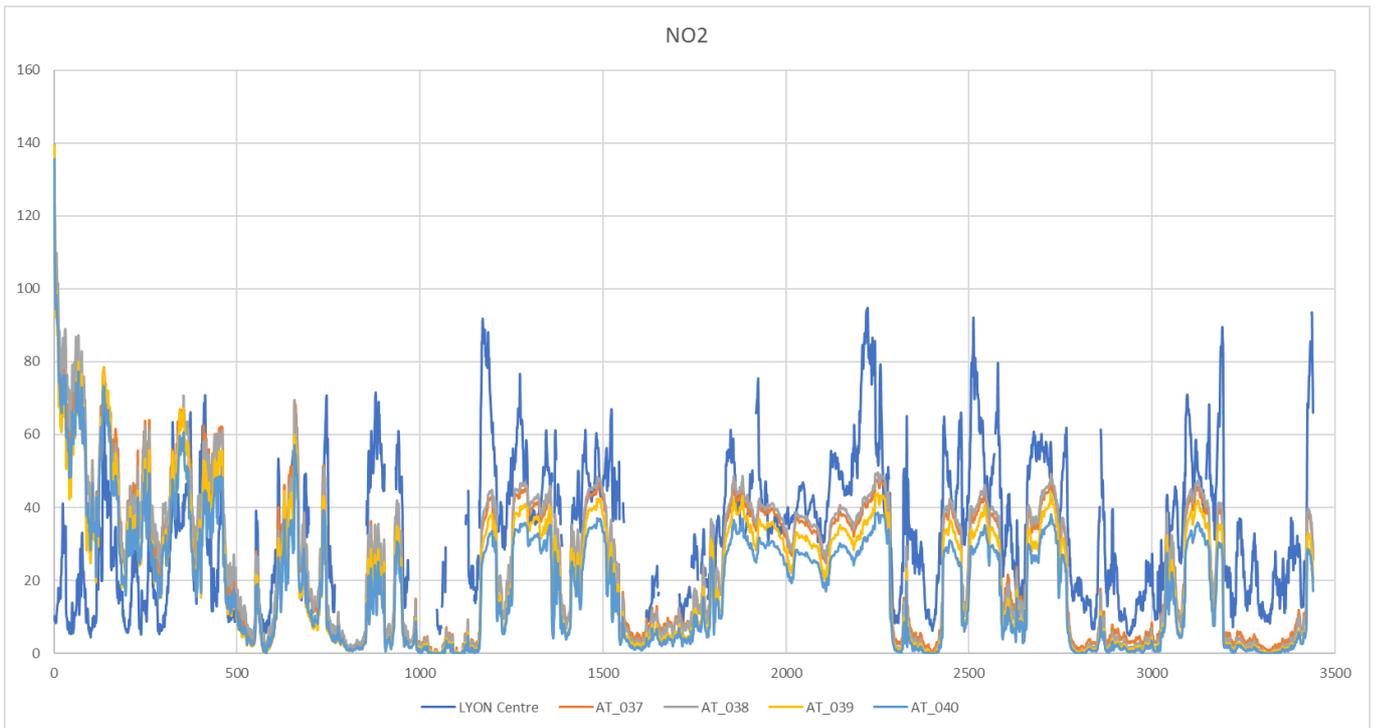


Figure 6 : profils des concentrations en NO₂ mesurées durant la phase de calibration par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs avant correction

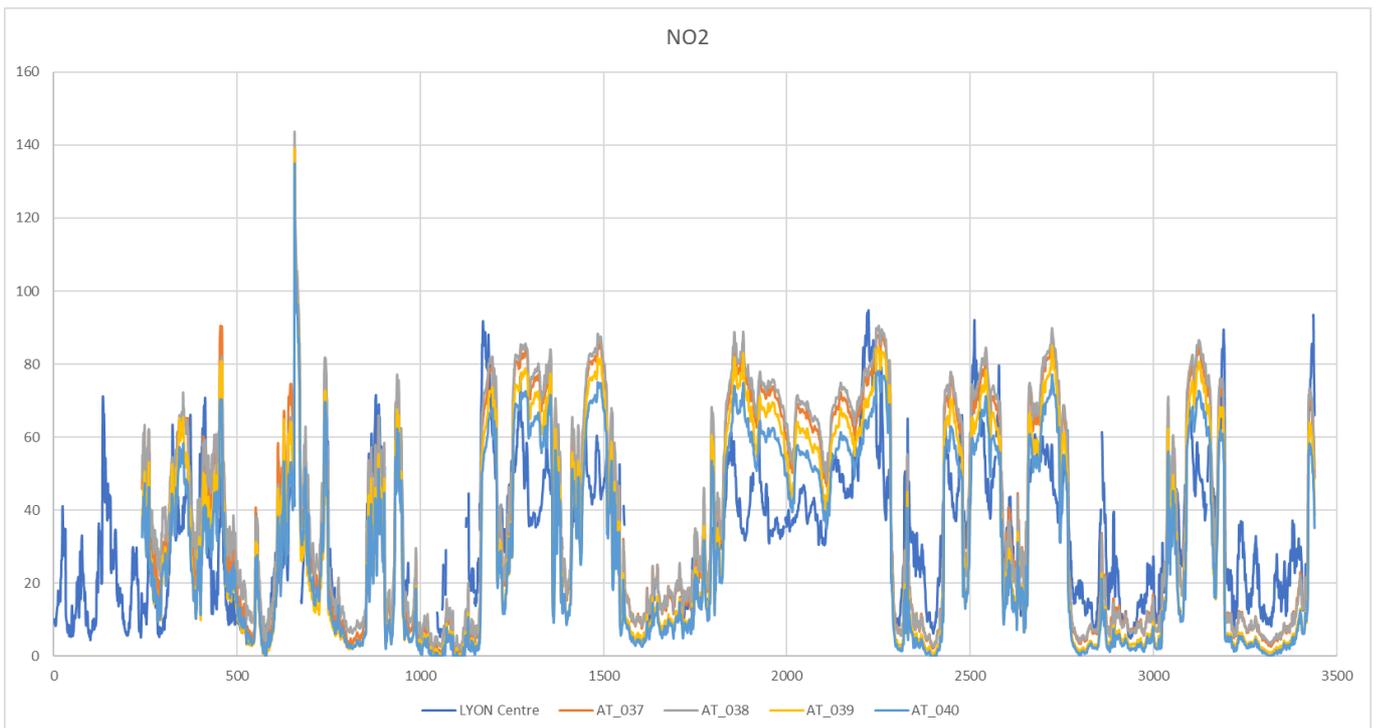


Figure 7 : profils des concentrations en NO₂ mesurées durant la phase de calibration par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs après correction

Après correction, deux micro-capteurs tendent cependant à la surestimation des niveaux : les capteurs AT_038 et AT_037, respectivement à +22% et +18% par rapport à la mesure de référence en moyenne sur la période de calibration (Figure 8).

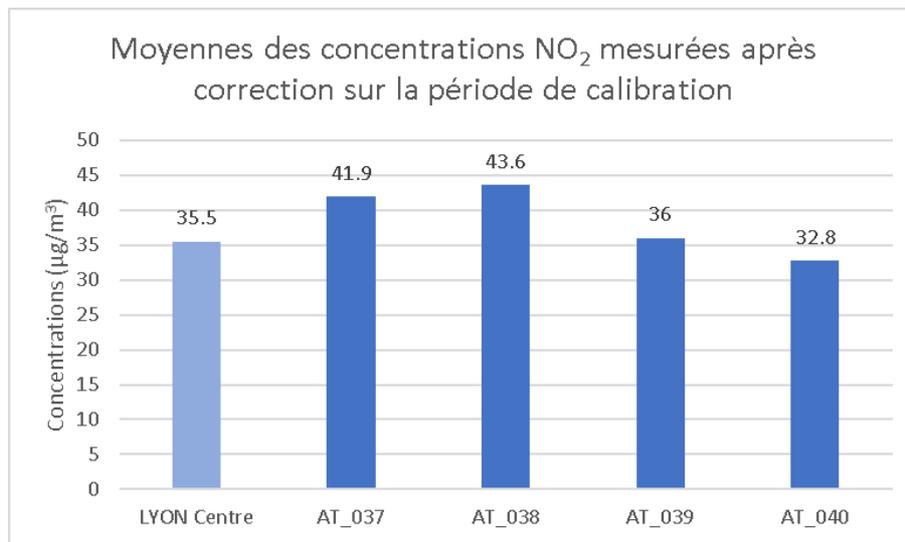


Figure 8 : résultats des concentrations moyennes en NO₂ mesurées par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-captureurs durant la phase de calibration après correction

Les résultats de la calibration du NO₂ mettent ainsi en évidence des écarts de mesures entre micro-captureurs comme suit : [AT_38] > [AT_037] > [AT_039] > [AT_040].

3. Résultats de la calibration des particules PM10

Contrairement au NO₂, la calibration des micro-captureurs pour la mesure des particules PM10, PM2,5 et PM1 a mis en évidence des résultats satisfaisants par rapport à la station de référence, avec des coefficients de corrélation supérieurs à 0,85 et des critères MAPE inférieurs à 0,3 pour les PM2,5 et PM1 (Tableau 2). Aucune correction n'a ainsi été apportée aux données de mesures des micro-captureurs pour les particules.

La taille des particules joue un rôle dans la précision des mesures, avec des résultats qui s'améliorent avec la diminution de la taille des particules.

	PM10		PM25		PM1	
	Coefficient de corrélation R ²	Critère MAPE	Coefficient de corrélation R ²	Critère MAPE	Coefficient de corrélation R ²	Critère MAPE
AT_037	0.866	0.416	0.966	0.210	0.973	0.261
AT_038	0.869	0.415	0.962	0.203	0.971	0.259
AT_039	0.862	0.470	0.966	0.235	0.972	0.287
AT_040	0.860	0.385	0.963	0.210	0.968	0.249

Tableau 2 : résultats des coefficients de corrélation et critères MAPE des micro-captureurs à la suite de la phase de calibration pour la mesure des PM10, PM2,5 et PM1

Les résultats de mesures des particules présentent moins de disparité entre micro-captureurs que pour le NO₂ (Figure 9, Figure 10 et Figure 11).

Les résultats de la calibration des PM10 mettent ainsi en évidence des écarts de mesures entre micro-captureurs comme suit : [AT_39] > [AT_038] > [AT_037] > [AT_040] (Figure 12).

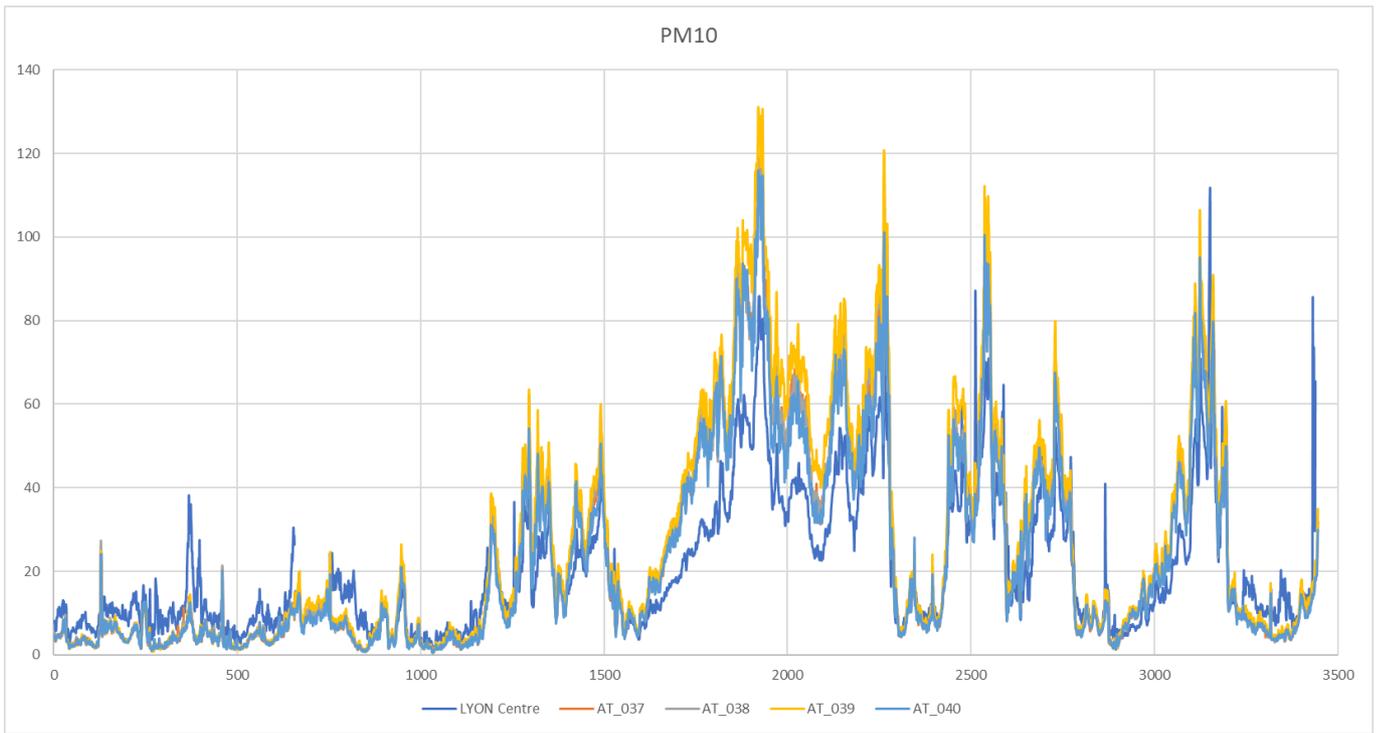


Figure 9 : profils des concentrations en PM10 mesurées durant la phase de calibration par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs

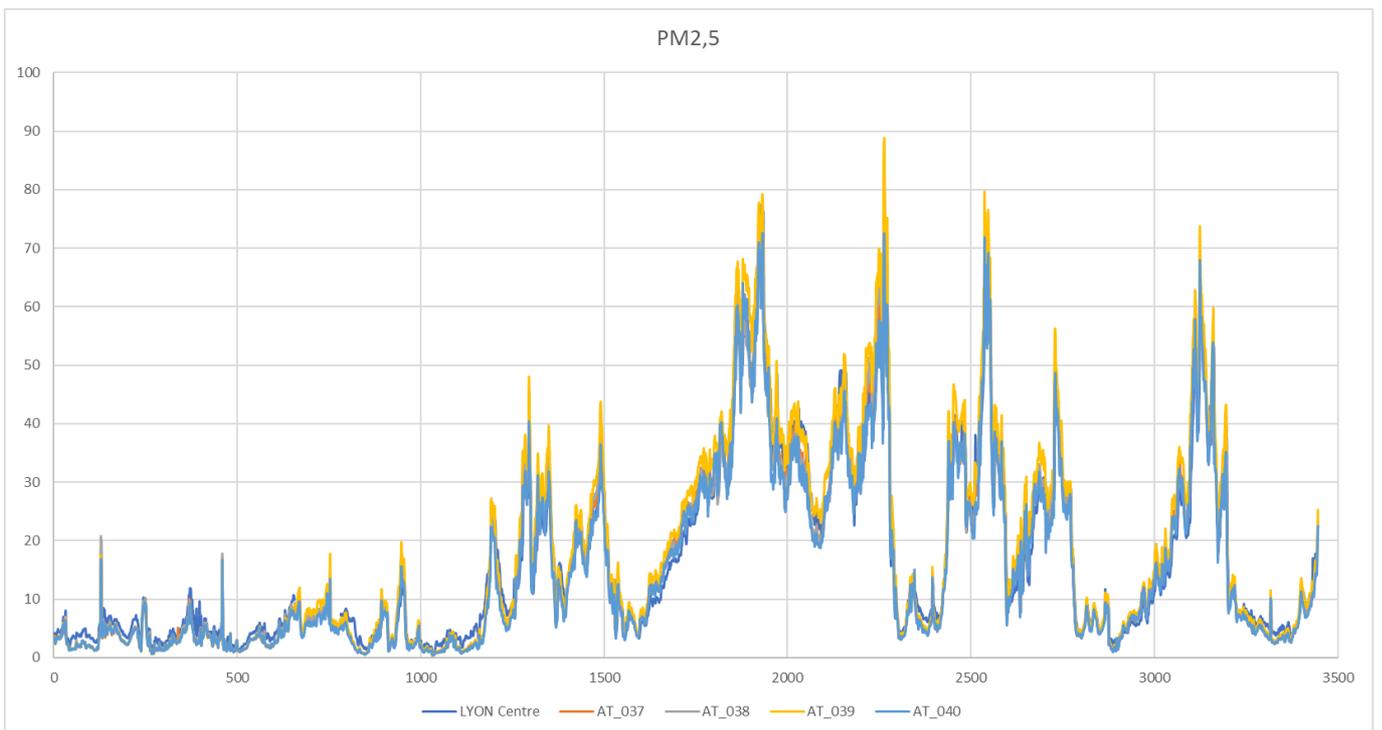


Figure 10 : profils des concentrations en PM2,5 mesurées durant la phase de calibration par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs

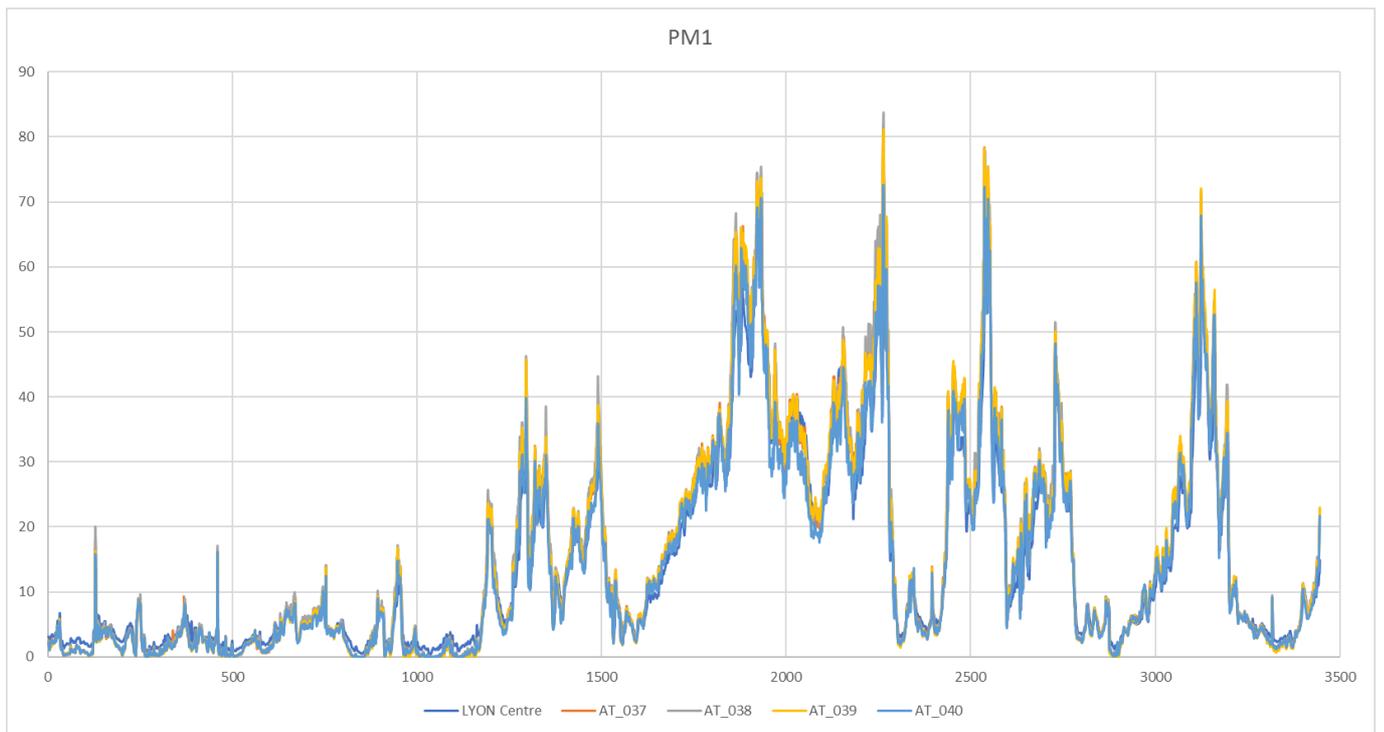


Figure 11 : profil des concentrations en PM1 mesurées durant la phase de calibration par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs

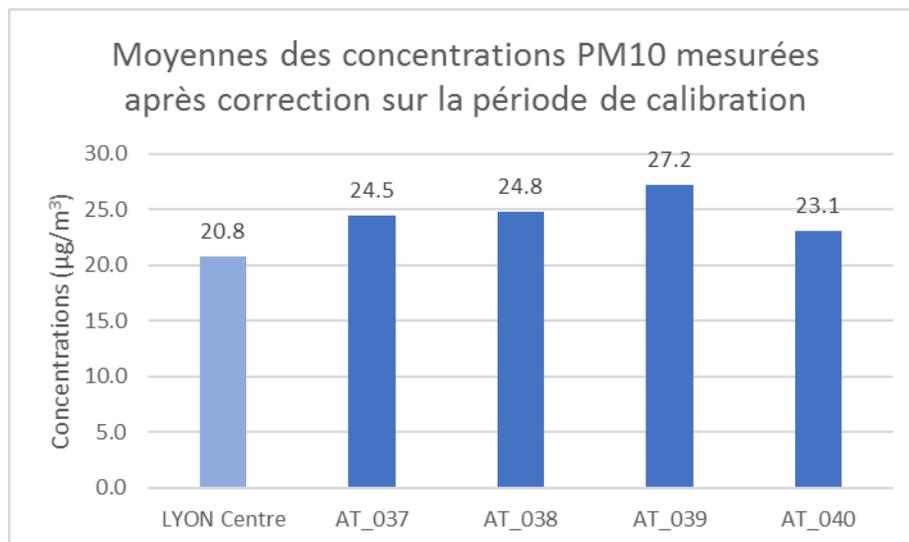


Figure 12 : résultats des concentrations moyennes en PM10 mesurées par la station de référence Lyon centre et les quatre micro-capteurs durant la phase de calibration après correction

Exploitation du suivi métrologique

1. Méthodologie d'exploitation

1.1. Nature des exploitations

Afin d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation, deux types d'exploitation métrologiques ont été réalisées :

1. Une exploitation temporelle en conditions comparables :
 - Comparaison des concentrations moyennes en polluants atmosphériques entre jours piétons et non piétons de même typologie (mercredis, jeudis et samedis) sur l'ensemble de la période de mesures (cf. annexe 2) ;
 - Comparaison des concentrations moyennes en polluants atmosphériques entre jours piétons et non piétons de même typologie (mercredis, jeudis et samedis) et présentant des conditions météorologiques comparables sur la période de mesures. De nombreux facteurs, dont les conditions météorologiques, influencent en effet la qualité de l'air. L'objectif de cette comparaison est ainsi de s'affranchir le plus possible du paramètre d'influence météorologique pour tenter d'évaluer l'impact de la mesure sur la qualité de l'air ;
 - Comparaison de la variation des concentrations en polluants atmosphériques entre jours piétons et non piétons de même typologie (mercredis, jeudis et samedis) et présentant des conditions météorologiques comparables sur la période de mesures.
2. Une exploitation spatiale :
 - Comparaison des résultats des mesures dans et en dehors de la zone de piétonnisation ;
 - Comparaison des résultats de mesure aux stations fixes de référence d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Nota concernant les incertitudes appliquées aux résultats de mesures des micro-capteurs AtmoTrack :

En l'absence d'information constructeur concernant l'incertitude de mesure des micro-capteurs et ces derniers étant des dispositifs non homologués, une incertitude de 50% a été appliquée aux résultats de mesure.

Au regard des données techniques disponibles (précision pour les particules, intervalle de mesure et résolution pour le NO₂), des résultats de la calibration ainsi que des gammes de concentrations mesurées lors de la campagne, cette incertitude est certainement :

- Pour les particules : quelque peu conservatrice mais correcte ;
- Pour le NO₂ : plutôt favorable. Les concentrations mesurées lors de la campagne tandis que la gamme de mesure démarre à 0,02 ppm, les résultats du critère MAPE (environ 0,5) et la dispersion des mesures laissent en effet à penser que l'incertitude de mesure en site trafic est bien supérieure à 50%.

1.2. Identification des conditions comparables pour l'analyse temporelle

Comme précisé ci-avant, de nombreux facteurs influencent les concentrations en polluants atmosphériques :

- la nature et la quantité des émissions ;
- les apports extérieurs ;
- les conditions de dispersion, ou, au contraire, de stagnation des polluants. Parmi ces conditions, la météorologie constitue un facteur d'influence majeur.

En raison de ces facteurs d'influence, il est souvent complexe d'évaluer l'impact d'une mesure sur la qualité de l'air à partir d'un suivi météorologique.

Afin de tenter d'évaluer l'impact de l'expérimentation sur les concentrations en polluants atmosphériques, il est ainsi nécessaire de s'affranchir le plus possible des facteurs d'influence de la mesure. Pour ce faire, il est nécessaire de sélectionner des périodes présentant des conditions similaires :

- jours de semaine similaires ;
- période de temps similaire (expérimentation : de 11 heures à 20 heures pendant quatre jours, soit 36 heures) ;
- conditions météorologiques le plus possible similaires : pluviométrie, direction principale des vents, vitesse moyenne et pourcentage de vents faibles (cf. annexe 3) ;
- pollution de fond, caractéristique des émissions hors de la zone et des influences à plus grande échelle. Au vu de la période courte de mesures sur site, environ deux mois, il n'a toutefois pas été possible de prendre en compte ce paramètre en raison du faible nombre de données disponibles.

La prise en compte de ces facteurs d'influence a conduit aux comparaisons entre jours piétons et non piétons suivantes :

- Samedi 12/10/2019 (jour piéton) vs. samedi 02/11/2019 ;
- Samedi 26/10/2019 (jour piéton) vs. samedi 30/11/2019 ;
- Mercredi 20/11/2019 (jour piéton) vs. mercredi 04/12/2019 ;
- Jeudi 21/11/2019 (jour piéton) vs. jeudi 07/11/2019.

2. Résultats pour le dioxyde d'azote NO₂

2.1. Comparaison des concentrations moyennes entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables

Les histogrammes suivants représentent les moyennes des concentrations en NO₂ mesurées de 11 heures à 20 heures durant les jours piétons et non piétons présentant des conditions météorologiques similaires :

- par les micro-capteurs AT_037, AT_038 et AT_039, situés dans la zone d'expérimentation (Figure 13, Figure 14 et Figure 15) ;
- par le micro-capteurs AT_040 et les stations fixes homologuées d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes Lyon centre (typologie de fond urbain) et Lyon Jean Jaurès (typologie de proximité trafic), situés en dehors de la zone d'expérimentation (Figure 16, Figure 17 et Figure 18).

Les barres d'erreurs liées à l'incertitude de la mesure sont indiquées sur l'ensemble des histogrammes. Il est possible de conclure à un effet significatif de l'expérimentation sur les concentrations de NO₂ dans le cas où l'écart entre jour piéton et jour non-piéton est supérieur à l'incertitude des mesures.

Pour les trois capteurs situés dans la zone, les concentrations NO₂ mesurées pour le mercredi et les deux samedis piétons présentent une baisse par rapport aux jours non piétons. A l'inverse, une augmentation des concentrations est observée pour le jeudi 21/11/2019, piéton, par rapport au jeudi 07/11/2019, non piéton.

Ces évolutions de concentrations ne peuvent être jugées significatives au regard des écarts et des incertitudes de mesure associées. Il en est de même au niveau du micro-capteur et des stations fixes de l'observatoire situées hors de la zone d'expérimentation.

Aux incertitudes de mesure près, sur les périodes d'expérimentation de 11 heures à 20 heures, les concentrations moyennes en NO₂ des jours d'expérimentation sont ainsi comparables à celles des journées sans expérimentation.

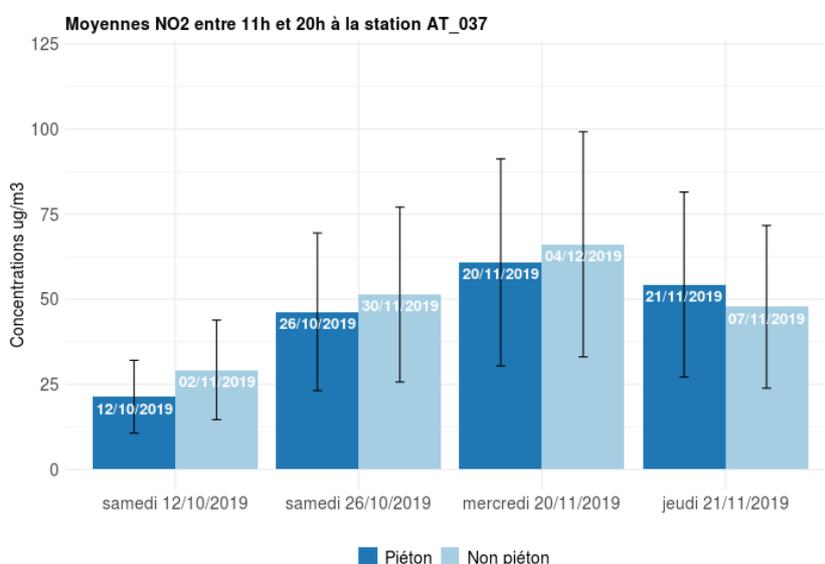


Figure 13 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_037, situé dans la zone d'expérimentation

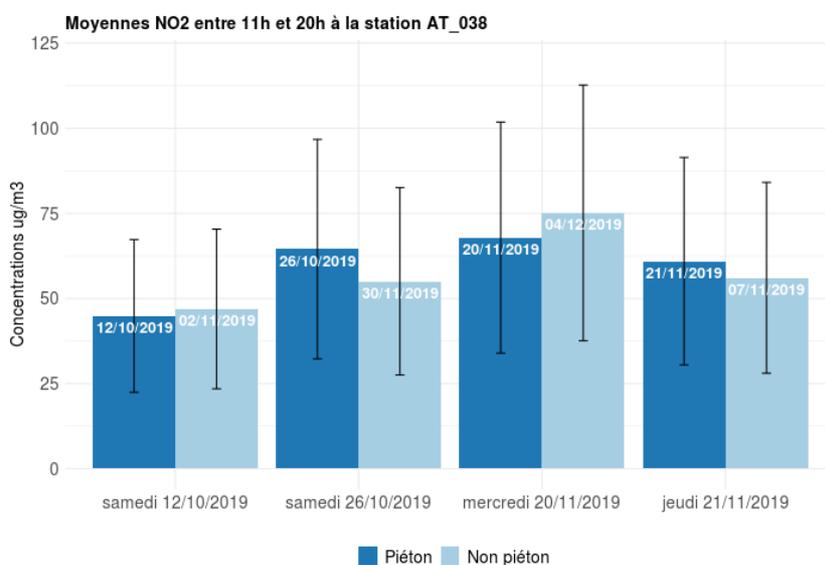


Figure 14 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_038, situé dans la zone d'expérimentation

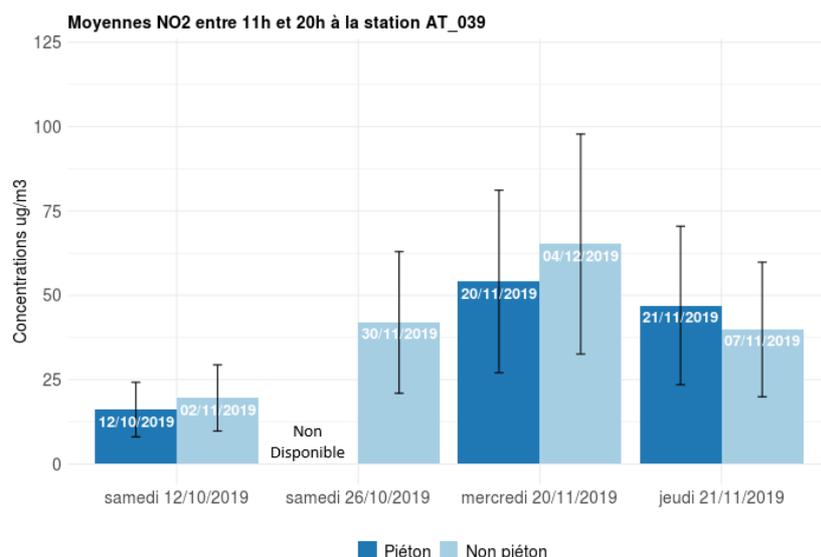


Figure 15 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_039, situé dans la zone d'expérimentation

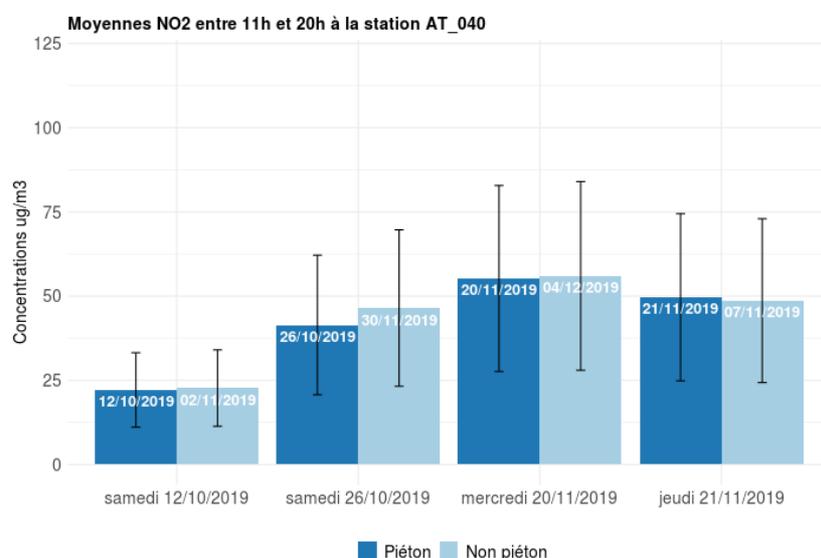


Figure 16 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_040, situé hors de la zone d'expérimentation

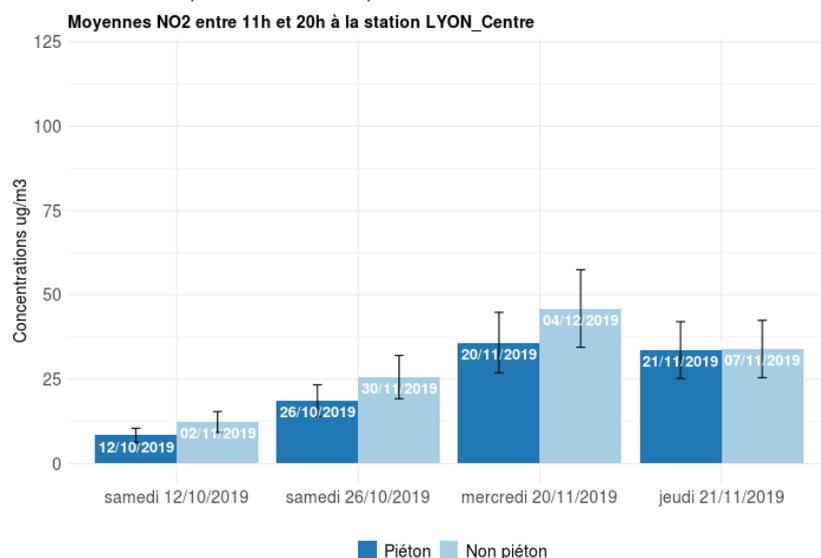


Figure 17 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon centre (typologie de fond urbain)

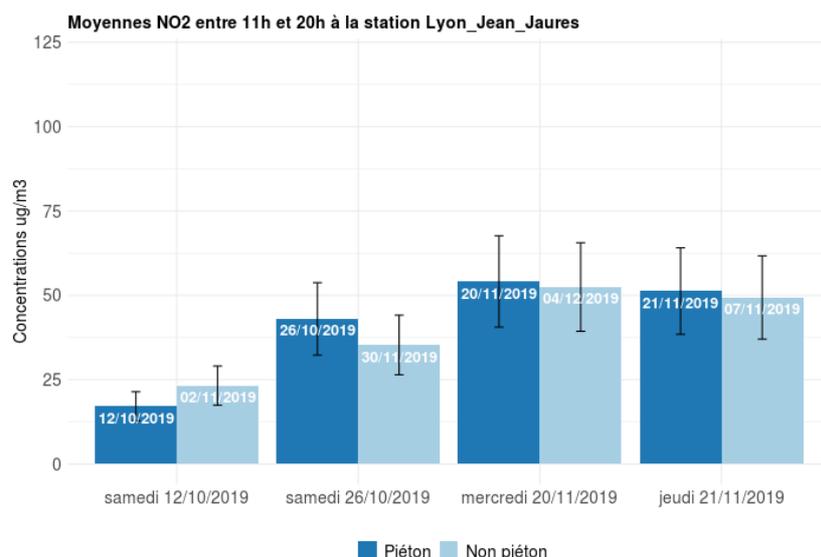


Figure 18 : comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon Jean Jaurès (typologie de proximité trafic)

2.2. Comparaison de la variation des concentrations entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables

Les graphes suivants représentent l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées par le micro-capteur AT_038 situé dans la zone d'expérimentation pour les jours piétons et non piétons correspondants. L'objectif de cette analyse est d'identifier si la mise en œuvre de l'expérimentation sur la plage 11h – 20h impacte les concentrations horaires en NO₂.

La comparaison des profils met en évidence une importante variabilité entre journée, sans dégagement d'un profil temporel net mettant en exergue une influence de l'expérimentation piétonne (aucun décrochement des concentrations n'est observé entre 11 heures et 20 heures pour les jours piétons par rapport aux jours non piétons) :

- le samedi 12/10/2019 présente des concentrations quasi uniformes de 11 heures à 20 heures (Figure 19). Ces résultats peuvent toutefois être expliqués par le caractère particulièrement venteux de cette journée ;
- le samedi 26/10/2019 présente quant à lui une baisse des concentrations dans la matinée mais une augmentation dans l'après-midi, toujours en période de piétonnisation (Figure 20). Cette baisse des concentrations de NO₂ en journée est d'ailleurs plus faible que celle du samedi 30/11/2019 (non piéton) qui présente une météorologie similaire ;
- le jeudi 21/11/2019 présente également une baisse importante des concentrations en NO₂ en début de période suivie d'une augmentation en début d'après-midi, atteignant même des niveaux supérieurs à ceux du matin (Figure 21) ;
- le mercredi 20/11/2019 présente enfin des concentrations à 16 heures supérieures à celles mesurées à 11 heures.

L'analyse des concentrations horaires en NO₂ sur le site AT_038 ne permet ainsi pas de dégager de différences substantielles entre les journées piétonnes et non piétonnes. Le constat est identique sur les autres stations de mesures (non présenté).

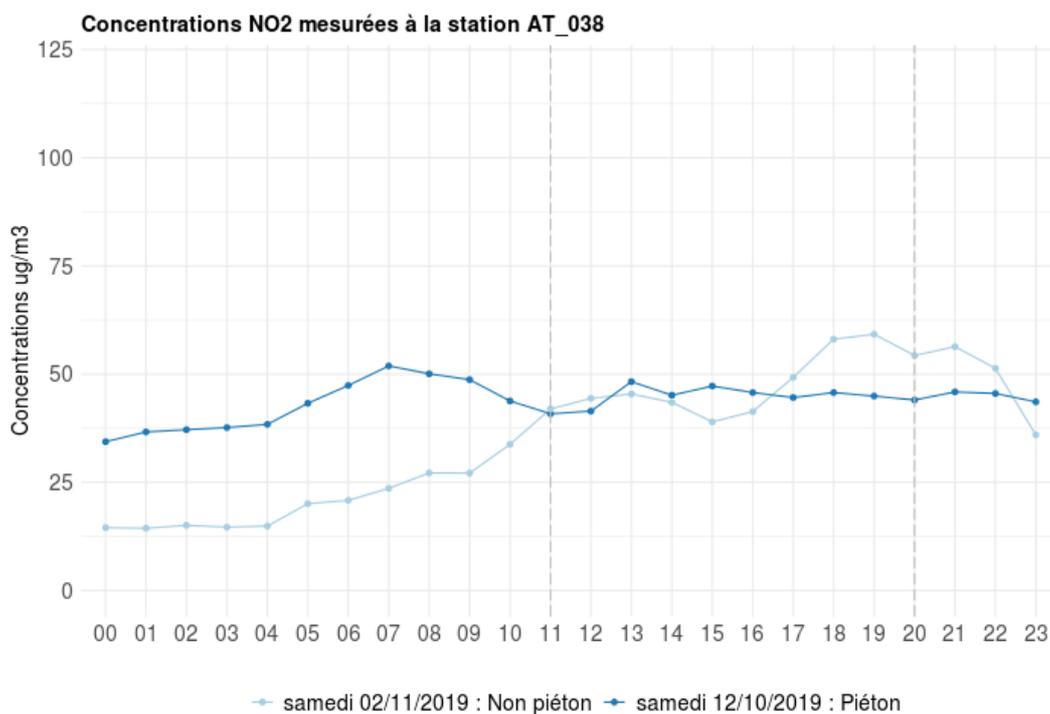


Figure 19 : comparaison de l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées au micro-capteur AT_038 entre le samedi 12/10/2019 piéton et le samedi 02/11/2019 non piéton

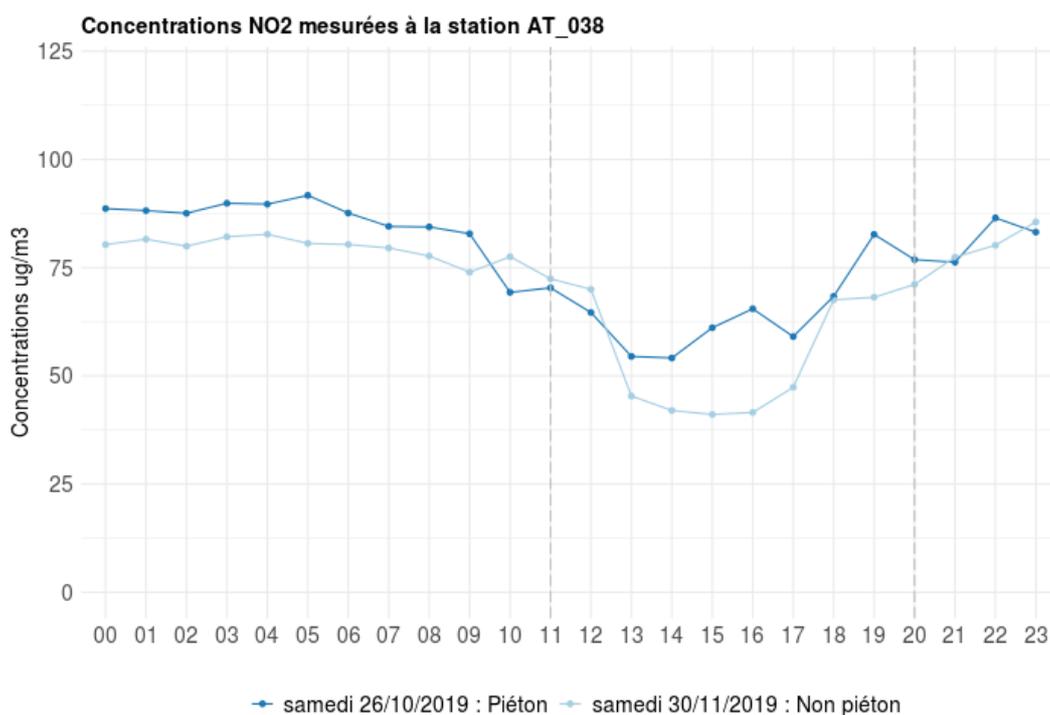


Figure 20 : comparaison de l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées au micro-capteur AT_038 entre le samedi 26/10/2019 piéton et le samedi 30/11/2019 non piéton

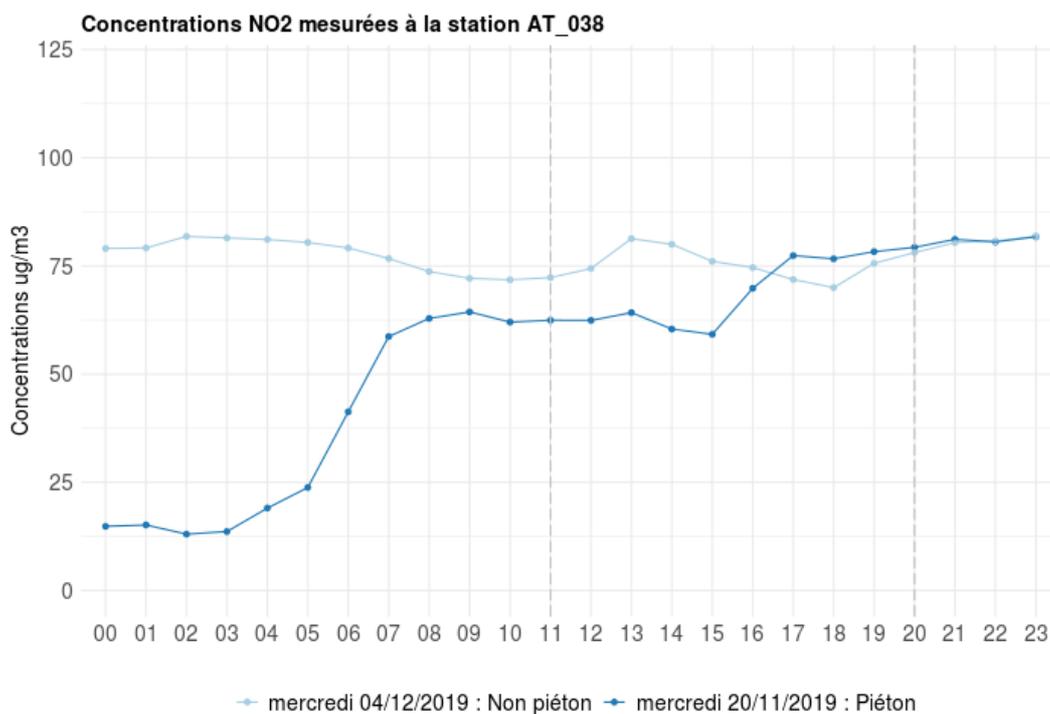


Figure 21 : comparaison de l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées au micro-capteur AT_038 entre le mercredi 20/11/2019 piéton et le mercredi 04/12/2019 non piéton

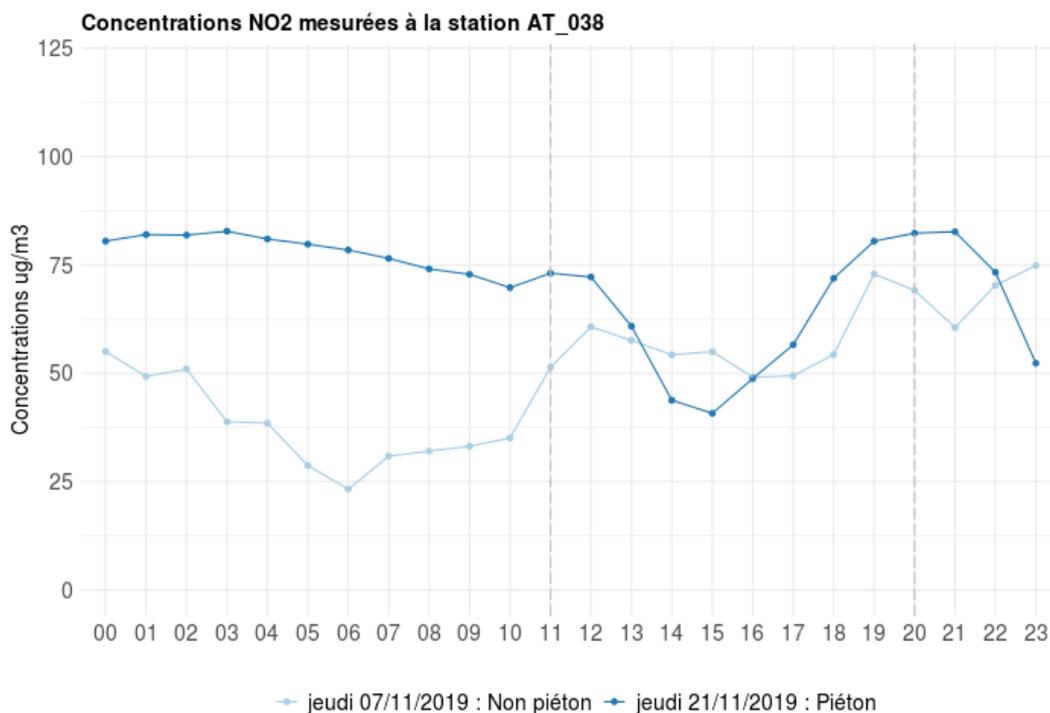


Figure 22 : comparaison de l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées au micro-capteur AT_038 entre le jeudi 21/11/2019 piéton et le jeudi 07/11/2019 non piéton

2.3. Analyse de la répartition spatiale des concentrations

Les cartographies suivantes (Figure 23, Figure 24, Figure 25) représentent :

- les concentrations moyennes en NO₂ mesurées entre 11 heures et 20 heures pour les quatre jours piétons sur l'ensemble des sites de mesure (Figure 23) ;
- les concentrations moyennes en NO₂ mesurées toujours entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure pour les quatre jours non piétons présentant des conditions météorologiques similaires (Figure 24) ;
- la différence de concentrations en NO₂ mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure entre les jours piétons et non piétons présentant des conditions météorologiques similaires (Figure 25).

L'analyse cartographique met en évidence des niveaux en NO₂ sur la Presqu'île supérieurs à ceux de la station de typologie urbaine de Lyon centre et plutôt comparables à ceux de la station trafic de Lyon Jean Jaurès que ce soit pour les jours piétons (Figure 23) ou non piétons (Figure 24).

Il est à noter que le micro-capteur AT_038 enregistre des concentrations de NO₂ durant les jours piétons supérieures aux autres micro-capteurs, bien qu'il se trouve dans la zone d'expérimentation. Ce résultat est cependant le même pour les jours non piétons et correspond à la tendance de surestimation de ce capteur observée lors de la calibration (cf. chapitre sur la calibration et ses résultats).

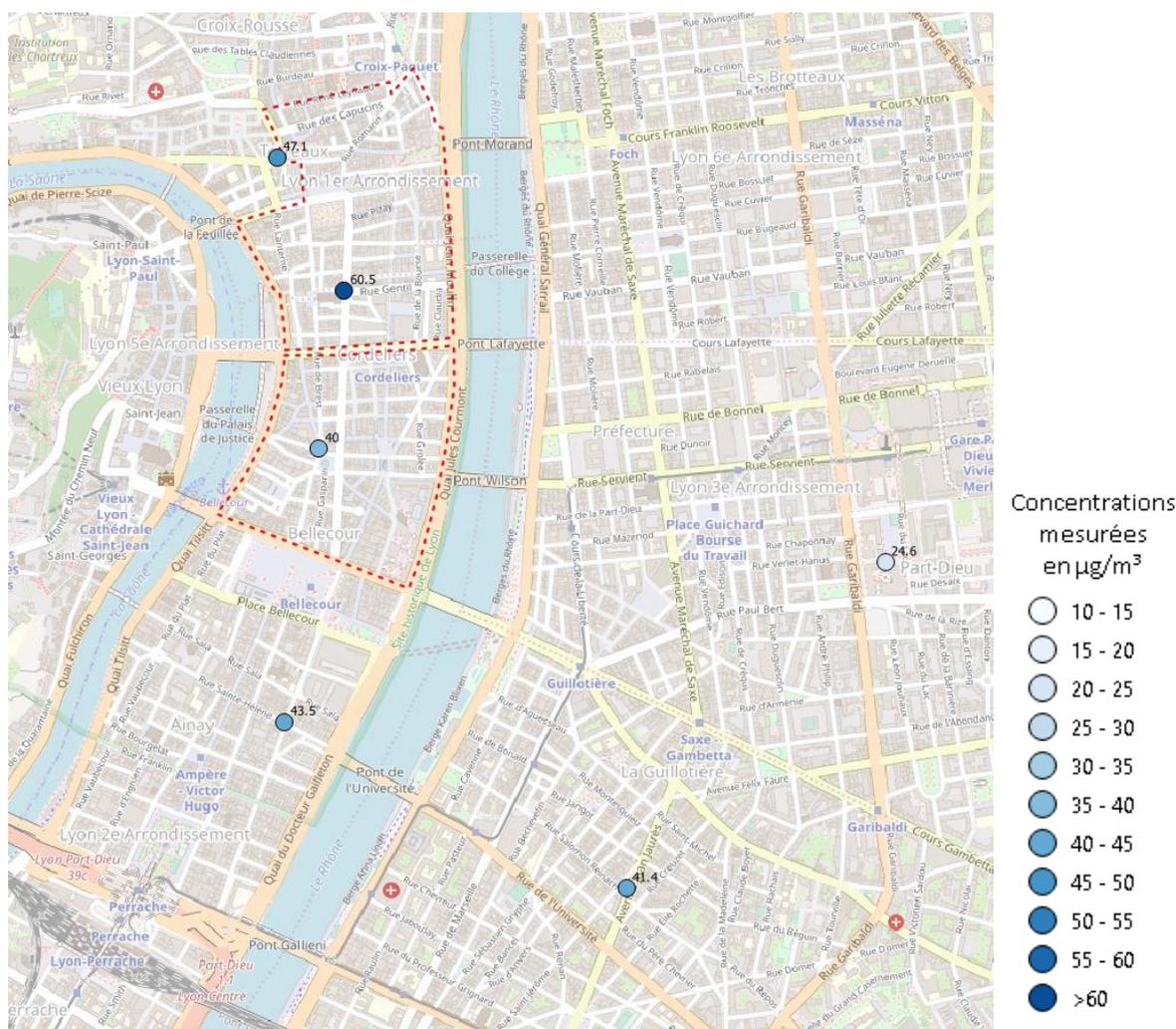


Figure 23 : cartographie des concentrations moyennes en NO₂ mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les quatre jours piétons

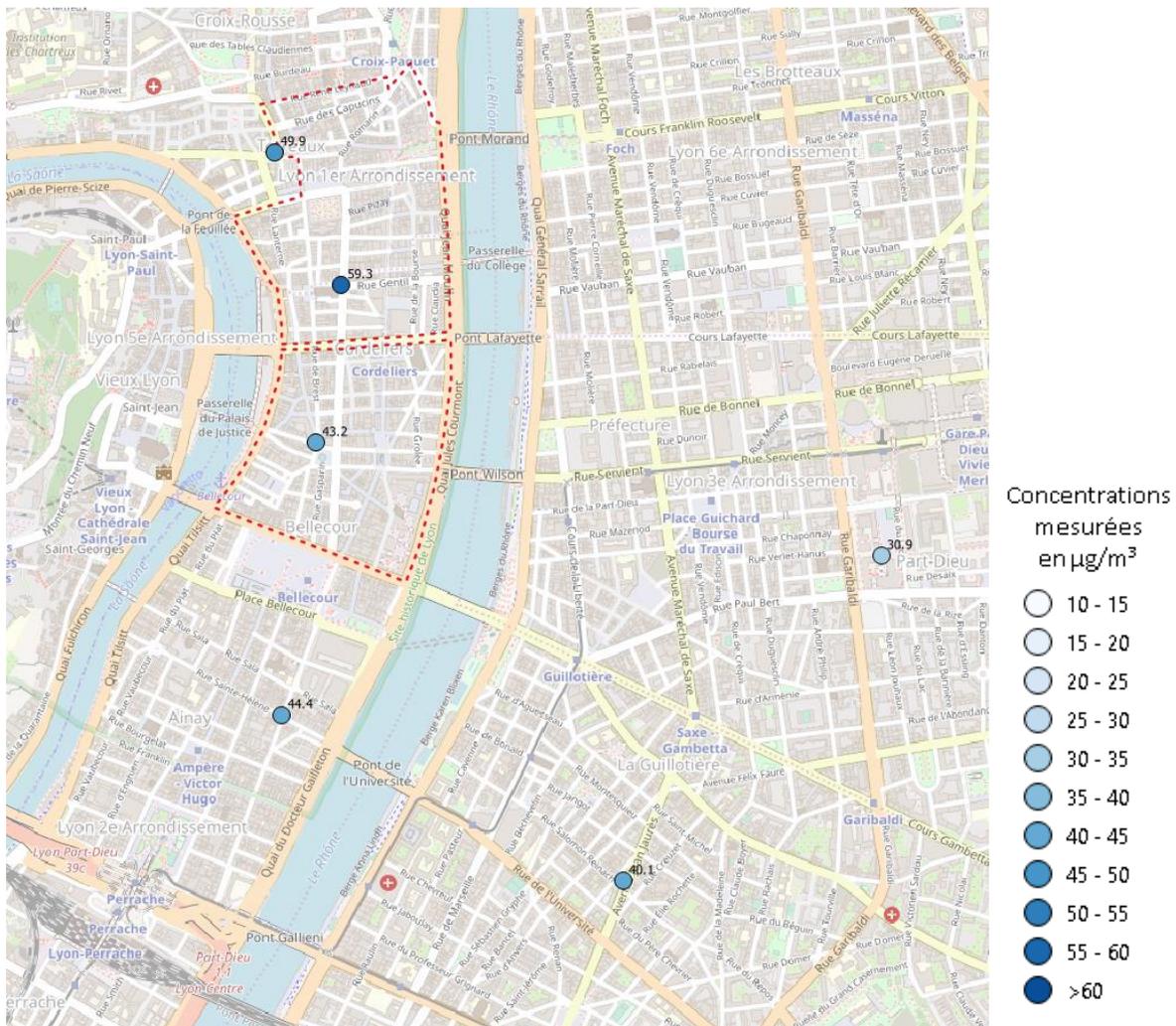


Figure 24 : cartographie des concentrations moyennes en NO_2 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les quatre jours non piétons présentant des conditions météorologiques similaires

Si l'analyse des concentrations spatiales en NO_2 met en évidence des concentrations en presque partout similaires à celles enregistrées par la station Jean Jaurès de typologie trafic que ce soit pour les jours piétons ou non piétons, l'analyse de la carte des différences (Figure 25) met quant à elle en évidence une diminution des concentrations entre jours piétons et non piétons sur la quasi-totalité des sites de mesure, exception faite du micro-capteur AT_038, pourtant situé en plein cœur de l'expérimentation (ce qui correspond, comme précisé ci-avant, à la tendance de surestimation de ce capteur observée lors de la calibration).

Le micro-capteur AT_038 mis à part, les micro-capteurs AT_037 et AT_039 ont enregistré une baisse de concentrations en NO_2 plus marquée que le capteur AT_040 situé en dehors de la zone d'expérimentation.

Ces baisses de concentrations en NO_2 sont toutefois à mettre en perspective :

- de l'écart modéré enregistré ;
- des écarts de mesure entre micro-capteurs mis en évidence par la phase de calibration ;
- des incertitudes de mesure ;
- de la baisse plus notable observée au niveau de la station de mesure de référence de Lyon centre, station de typologie urbaine située en dehors de la zone d'expérimentation (ainsi que du micro-capteur AT_040 également situé en dehors de la zone d'expérimentation).

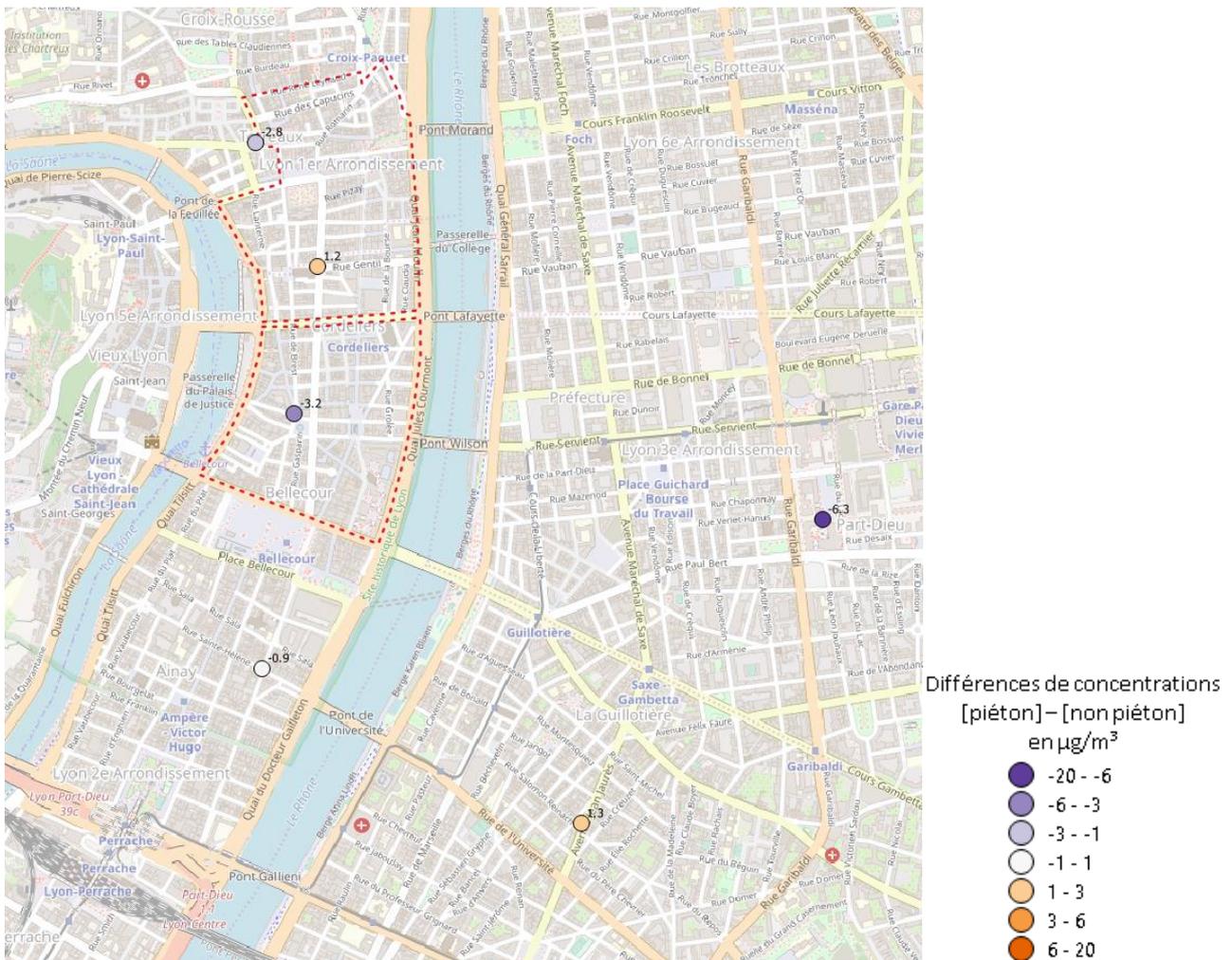


Figure 25 : cartographie des différences de concentrations moyennes en NO_2 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure : [jours piétons] - [jours non piétons avec météorologie similaire]

Au regard de ces éléments, l'exploitation géographique des résultats du suivi métrologique ne permet pas de dégager d'impact significatif de l'expérimentation piétonne sur les concentrations de NO_2 .

3. Résultats pour les particules PM10

3.1. Comparaison des concentrations moyennes entre jours piétons et non piétons de typologie et conditions météorologiques comparables

Les histogrammes suivants représentent les moyennes des concentrations en particules PM10 mesurées de 11 heures à 20 heures durant les jours piétons et non piétons présentant des conditions météorologiques similaires :

- par les micro-capteurs AT_037, AT_038 et AT_039, situés dans la zone d'expérimentation (Figure 26, Figure 27, Figure 28) ;
- par les micro-capteurs AT_040 et les stations fixes homologuées d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes Lyon centre (typologie de fond urbain) et Lyon Jean Jaurès (typologie de proximité trafic), situés en dehors de la zone d'expérimentation (Figure 29, Figure 30, Figure 31).

Les barres d'erreurs liées à l'incertitude de la mesure sont indiquées sur l'ensemble des histogrammes. Il est possible de conclure à un effet significatif de l'expérimentation sur les concentrations de PM10 dans le cas où l'écart entre jour piéton et jour non-piéton est supérieur à l'incertitude des mesures.

L'analyse de ces histogrammes met en évidence des concentrations plutôt homogènes entre sites de mesure mais une grande variabilité des concentrations de PM10 entre journées.

Ces variations de concentrations peuvent être liées, entre autres, aux autres sources d'émissions de particules. En effet, le trafic routier ne constitue pas la source principale d'émissions de particules (environ 24% des émissions de PM10 sont liées au transport routier), le secteur résidentiel-tertiaire (chauffage) étant prédominant avec près de 62% des émissions de PM_{2,5}².

Si certaines comparaisons entre concentrations en PM10 enregistrées lors des jours piétons et non piétons mettent en évidence des valeurs plus faibles durant les journées d'expérimentation (20/11/19 vs. 04/12/19), d'autres, au contraire, mettent en exergue l'inverse (21/11/19 vs. 07/11/19). Cette observation s'applique par ailleurs à l'ensemble des sites de mesures, qu'ils soient à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone d'expérimentation.

Aucun écart n'étant significatif vis-à-vis des incertitudes de mesures, l'analyse des données météorologiques ne permet pas de mettre en évidence un impact de l'expérimentation de la piétonnisation de la Presqu'île sur les concentrations en particules PM10. Le constat est similaire pour les particules PM_{2,5} et PM₁ (cf. annexes 4 et 5 concernant les résultats de l'exploitation météorologique pour les PM_{2,5} et PM₁).

² Source : inventaire 2017 d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes v.2019

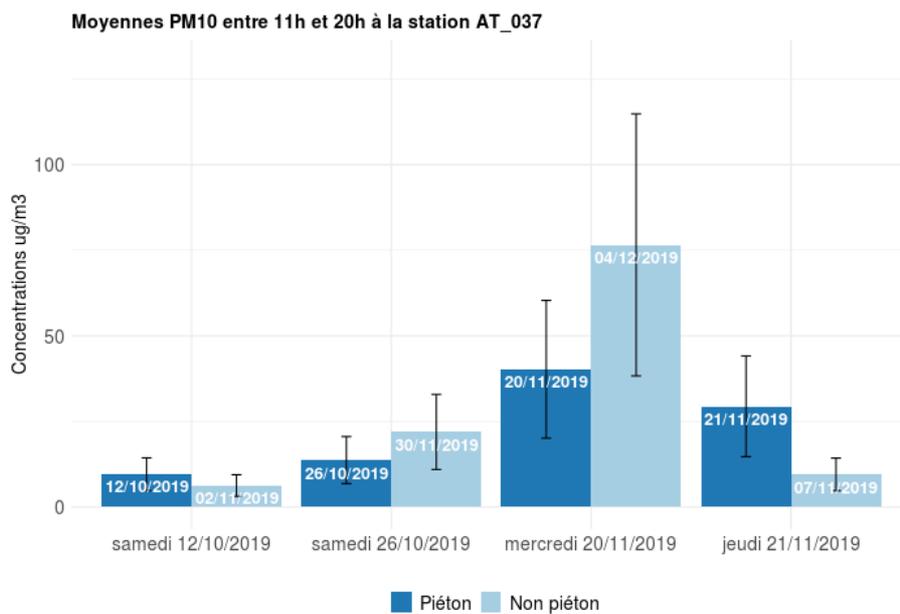


Figure 26 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_037, situé dans la zone d'expérimentation

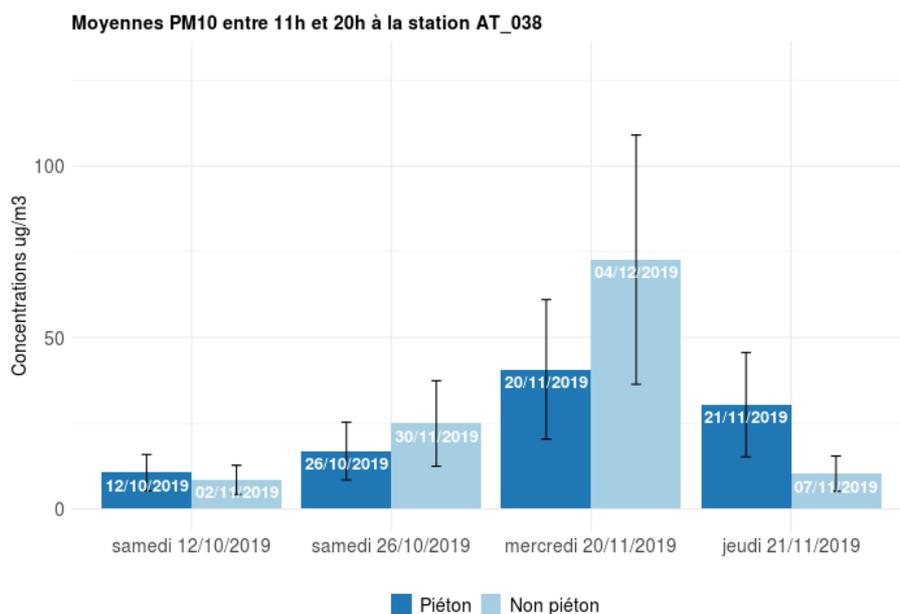


Figure 27 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_038, situé dans la zone d'expérimentation

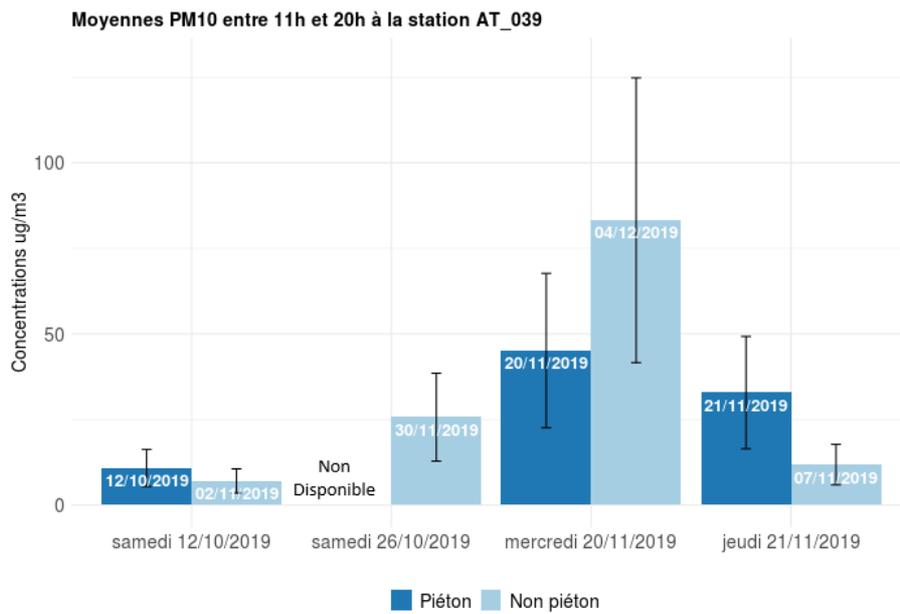


Figure 28 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_039, situé dans la zone d'expérimentation

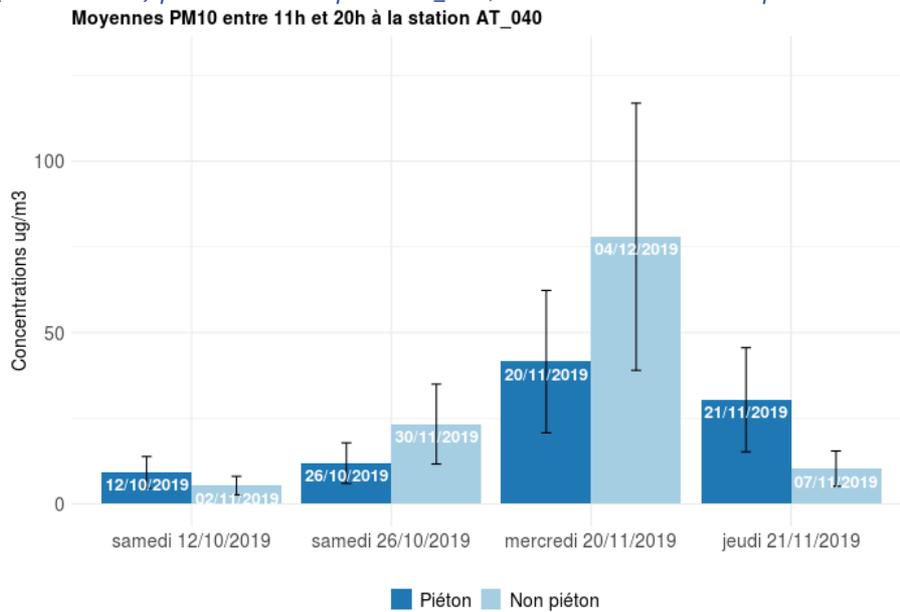


Figure 29 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_040, situé en dehors de la zone d'expérimentation

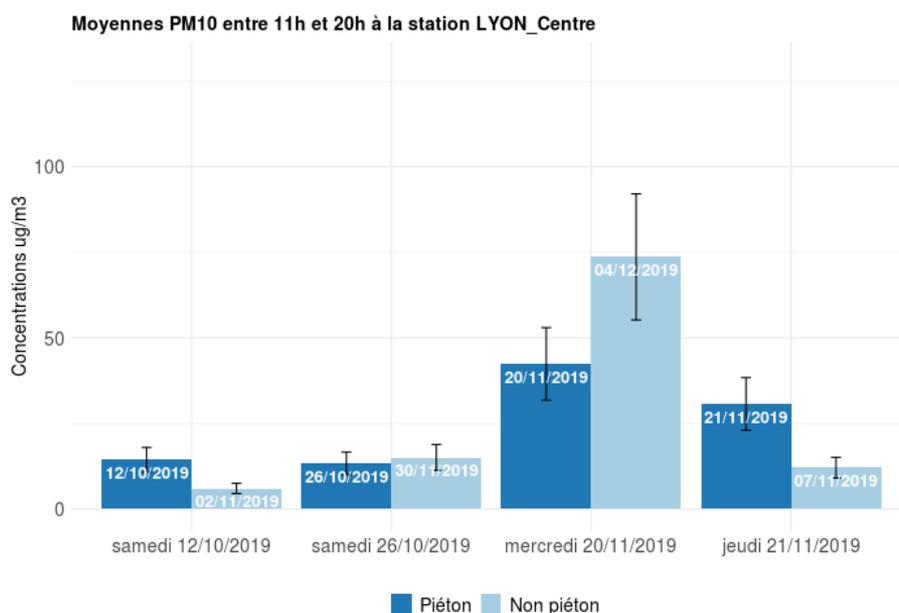


Figure 30 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon centre (typologie de fond urbain)

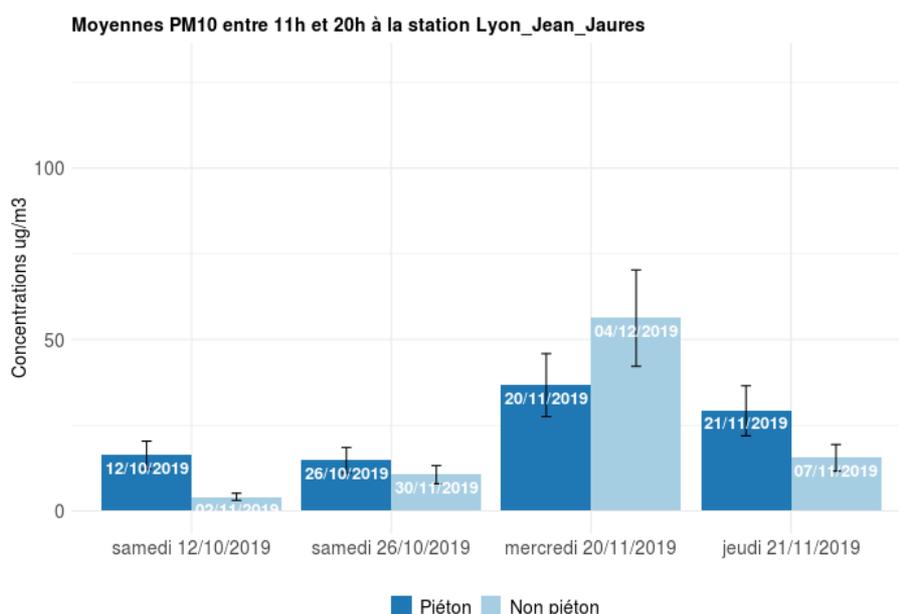


Figure 31 : concentrations moyennes en PM10 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon Jean Jaurès (typologie de proximité trafic)

3.2. Analyse de la répartition spatiale des concentrations

Les cartographiques suivantes (Figure 32, Figure 33, Figure 34) représentent :

- les concentrations moyennes en PM10 mesurées entre 11 heures et 20 heures pour les quatre jours piétons sur l'ensemble des sites de mesure (Figure 32) ;
- les concentrations moyennes en PM10 mesurées toujours entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure mais pour les quatre jours non piétons présentant des conditions météorologiques similaires (Figure 33) ;
- la différence de concentrations en PM10 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure entre les jours piétons et non piétons (Figure 34).

L'analyse cartographique met en évidence des niveaux en PM10 assez homogènes entre les différents points de mesures, que ce soit pour les jours piétons (Figure 32) ou non piétons (Figure 33).

La concentration maximale de PM10 est mesurée par le micro-capteur AT_039, pourtant situé en plein cœur de la zone d'expérimentation, pour les jours avec piétonnisation aussi bien que les jours sans. Lors de la calibration, ce micro-capteur était également celui présentant les mesures les plus élevées par rapport à la mesure de référence (cf. chapitre relatif à la calibration et ses résultats).

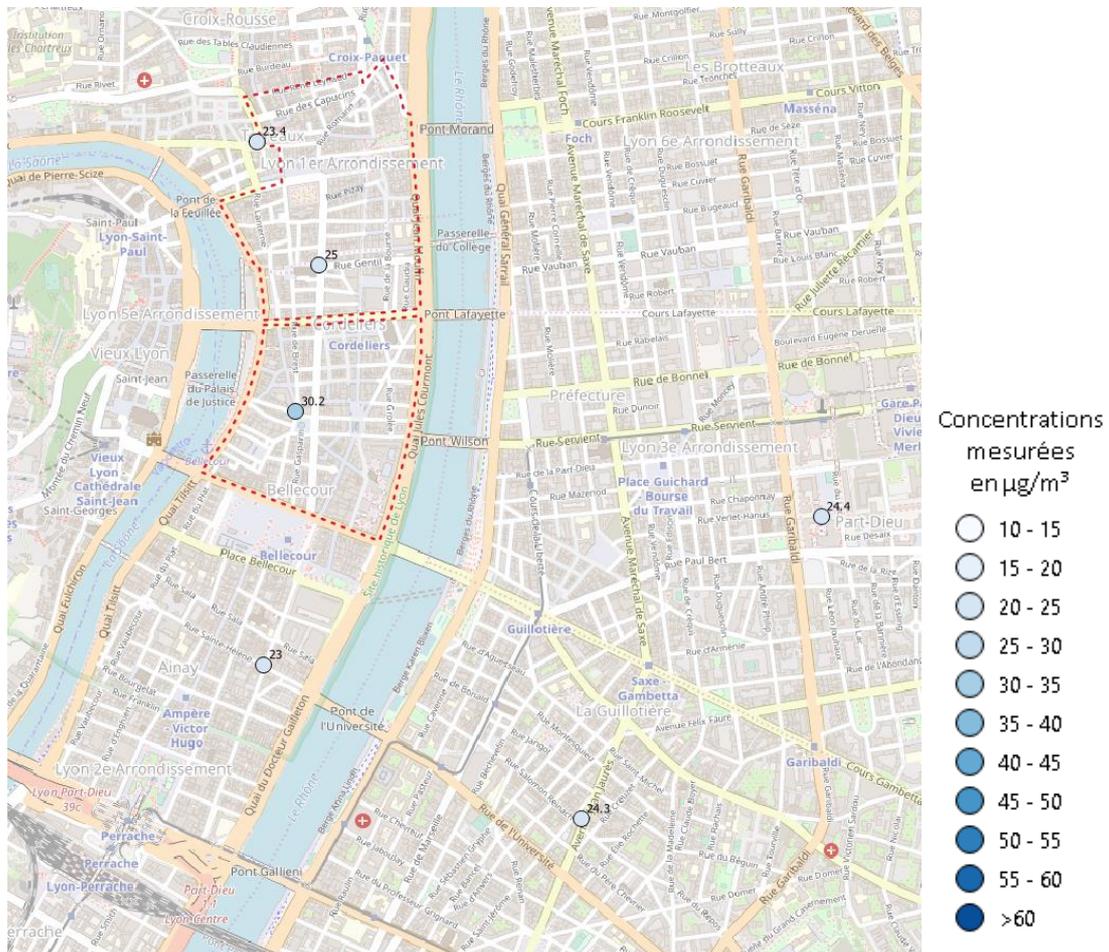


Figure 32 : cartographie des concentrations moyennes en PM10 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les quatre jours piétons

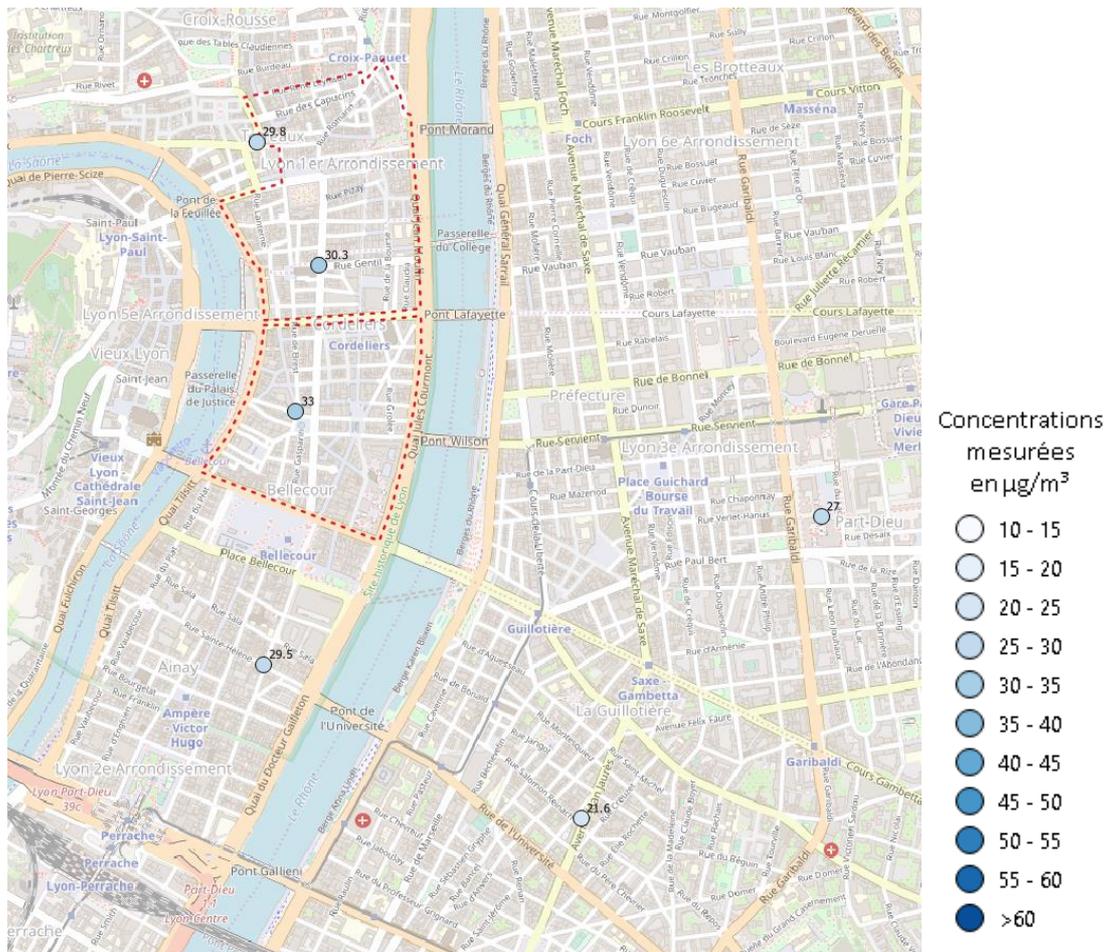


Figure 33 : cartographie des concentrations moyennes en PM10 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les jours non piétons présentant des conditions météorologies similaires

L'analyse de la carte de différence met en évidence une diminution des concentrations de PM10 durant les jours piétons sur l'ensemble des capteurs, exception faite de la station de proximité trafic de Lyon Jean Jaurès (Figure 34).

La baisse maximale a été enregistrée par le micro-capteur AT_040, situé à l'extérieur de la zone d'expérimentation et la baisse minimale par le micro-capteur AT_039 situé à l'intérieur de la zone.

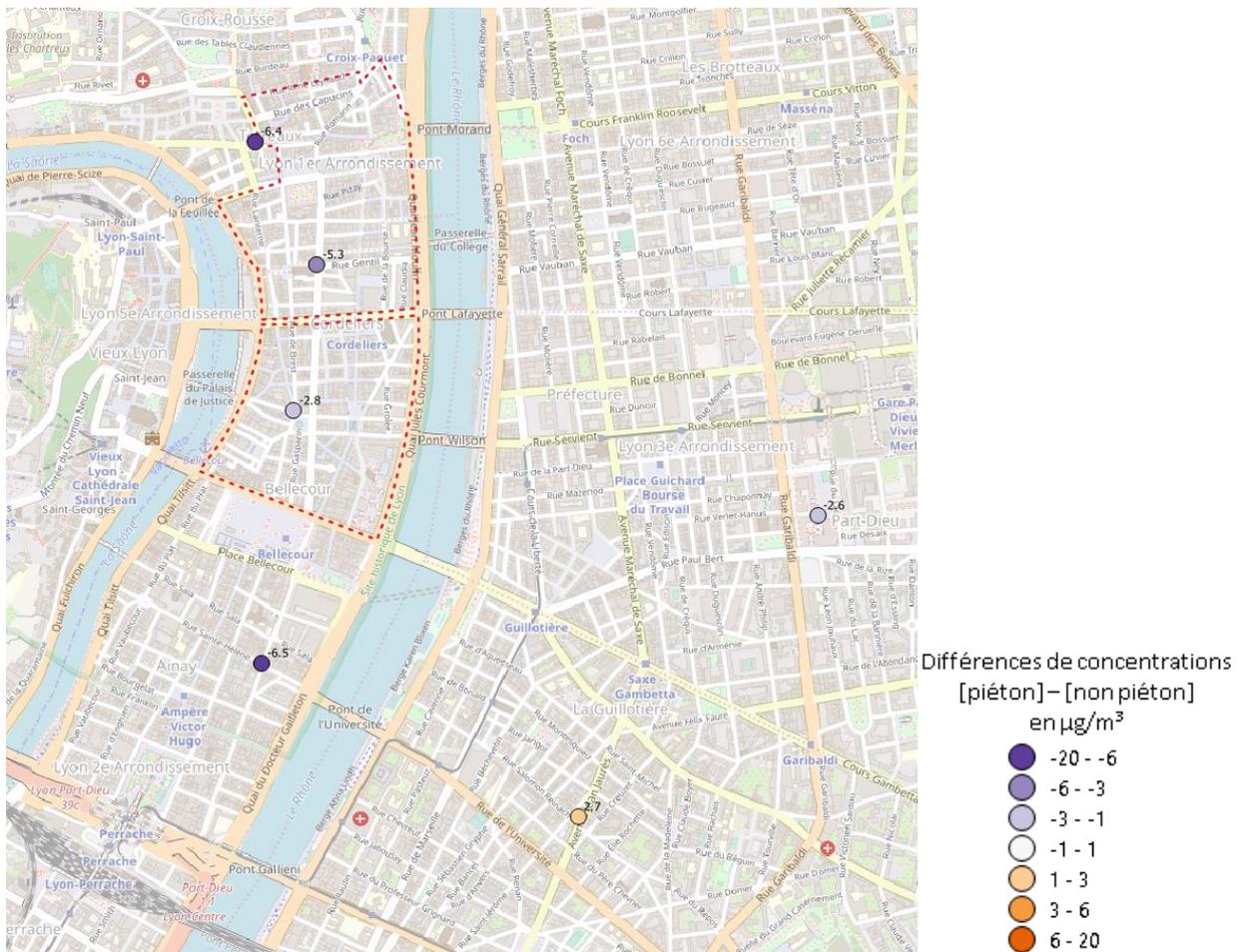


Figure 34 : cartographie des différences de concentrations moyennes en PM10 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure : [jours piétons] - [jours non piétons avec météorologie similaire]

Ces résultats, associés aux incertitudes de mesures, ne permettent pas de conclure à un impact significatif de la mise en place de l'expérimentation piétonne sur les concentrations de PM10. Les résultats sont similaires pour les PM2,5 et les PM1 (résultats présentés en annexes 2 et 3).

4. Conclusion de l'analyse métrologique

L'analyse des mesures effectuées par micro-capteurs n'a pas permis de mettre en évidence un impact significatif de l'expérimentation de la piétonnisation de la Presqu'île sur les concentrations en polluants.

Cette conclusion peut être mise en perspective de plusieurs paramètres :

- Facteurs d'influence des concentrations en polluants atmosphériques (autres sources d'émissions, conditions météorologiques etc.) rendant complexe l'analyse de l'impact d'une telle mesure sur la qualité de l'air à partir, exclusivement, d'un suivi métrologique ;
- Caractère innovant de la démarche avec usage de micro-capteurs ;
- Incertitudes et écarts de mesures associés à la métrologie ;
- Durée d'expérimentation et de mesures courtes (faible échantillon de mesures).

Exploitation complémentaire par modélisation

1. Méthodologie

Afin de « s'affranchir » des paramètres d'influence sur la qualité de l'air précités (en contrôlant chacun de ces paramètres) et ainsi permettre l'évaluation de l'impact de la mise en place de l'expérimentation sur les concentrations en polluants par simulation, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a utilisé un modèle de dispersion atmosphérique : le modèle de dispersion en milieu urbain SIRANE³, développé par l'Ecole Centrale de Lyon et utilisé depuis de nombreuses années par l'observatoire.

Deux scénarios ont été simulés sur les quatre jours de l'expérimentation :

- Scénario non piéton (scénario de référence) : avec émissions du trafic routier « classiques » ;
- Scénario piéton : avec émissions du trafic routier réduites de 75% à l'intérieur de la zone d'expérimentation. L'abattement du trafic hors de la zone est négligeable, de l'ordre de 1%, et n'a pas été pris en compte dans le scénario (données trafic Métropole de Lyon – restitution finale Expériences piétonnes en Presqu'île - 07/01/2020).

La météorologie utilisée pour la modélisation de ces deux scénarios étant identique (météorologie « constante »), la différence de résultats entre les deux correspond donc uniquement à l'impact sur la qualité de l'air de la réduction du trafic induite par l'expérimentation piétonne.

Les données d'entrées utilisées dans le cadre de la modélisation sont les suivantes :

- Données météorologiques : station de Météo France de Saint-Exupéry durant la période de l'étude. Les quelques données manquantes ont été interpolées ;
- Emissions du trafic routier : émissions calculées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes à partir du modèle trafic Modely pour l'année 2018 ;
- Valeur de fond urbain provenant des sources de pollution hors trafic : non disponibles pour l'année 2019 en date de l'étude, notamment les valeurs de fond urbain.

Les polluants modélisés sont le dioxyde d'azote NO₂, les particules PM10 et PM2,5.

En raison de l'absence des valeurs de fond urbain provenant des sources de pollution hors trafic pour l'année 2019 en date de l'étude, seuls les résultats des différences entre les deux scénarios « piétons » et « non piétons » sont présentés ici.

³ Soulhac L, Salizzoni P, Cierco FX, Perkins R. The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion; part I, presentation of the model. *Atmos Environ.* 2011 Dec; 45(39): 7379.95.

2. Résultats de la modélisation

2.1. Résultats modélisés pour le dioxyde d'azote NO₂

La différence de concentrations NO₂ modélisées aux points de mesures entre le scénario « non piéton » (référence) et le scénario « piéton » (diminution des émissions du trafic routier de 75%) (Figure 35) met en évidence :

- Une absence d'impact de l'expérimentation sur les concentrations en NO₂ au niveau du site d'implantation du micro-capteur AT_040, situé en dehors de la zone de piétonnisation ;
- Un impact de l'expérimentation sur les concentrations en NO₂ au niveau des sites d'implantation des micro-capteurs AT_037, AT_038 et AT_039, situés dans la zone d'expérimentation ;
- Un impact plus notable au niveau des sites d'implantation des micro-capteurs AT_038 et AT_039, situés au cœur de la zone qu'au niveau du micro-capteur AT_037, situé aux bords de la zone d'expérimentation.

Le gain moyen modélisé pour les concentrations de NO₂ au niveau des sites d'implantation des micro-capteurs AT_038 et AT_039 est, respectivement, de 4,4 µg/m³ et de 5,9 µg/m³. D'après le modèle, parmi les sites disposés dans la zone, c'est au niveau du site d'implantation du micro-capteur AT_039 que l'impact sur les concentrations en NO₂ de l'expérimentation piétonne est le plus important.

A titre informatif, le gain modélisé de 5,9 µg/m³ en NO₂ sur le site AT_039 correspondrait à une baisse d'environ 14% vis-à-vis de la moyenne enregistrée durant les quatre jours non piétons sur le même site (cf. Figure 24).

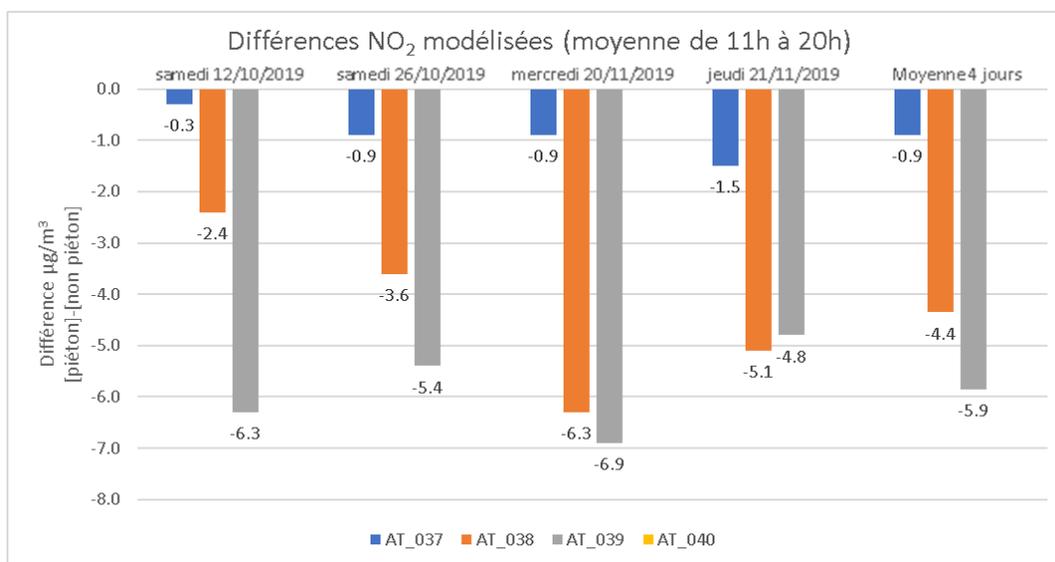


Figure 35 : différences de concentrations modélisées en NO₂ entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence) au niveau des sites de mesure par micro-capteurs

La cartographie des gains en concentrations de NO₂ modélisées (Figure 36) met en évidence des variabilités selon les axes : plus le trafic est important et plus l'impact de l'expérimentation de la piétonnisation est conséquent, le gain maximal modélisé étant de 20 µg/m³.

La cartographie met également en évidence une zone d'influence de la mesure assez localisée autour des axes et un impact modéré à l'extérieur de la zone d'expérimentation. Ce résultat est à mettre en

parallèle avec le fait que le scénario modélisé ne prend en compte que la baisse d'émissions issus de l'intérieur de la zone d'expérimentation, la baisse du trafic extérieur étant considérée comme négligeable.



Figure 36 : cartographie de différence des concentrations modélisées en NO₂ entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence)

2.2. Résultats modélisés pour les particules PM10 et PM2,5

Comme précisé ci-avant, le trafic routier constitue un émetteur notable des émissions de particules sans toutefois être la source principale (celle-ci étant le secteur résidentiel – tertiaire). Ainsi, la différence de concentrations modélisées pour les PM10 et PM2,5 entre le scénario « piéton » et « non piéton » est moindre que pour le NO₂. Au maximum, le gain de concentrations modélisées au niveau des sites micro-capteurs est de 1,8 µg/m³ pour les PM10 et de 1,2 µg/m³ pour les PM2,5 (Figure 37 et Figure 38).

A titre informatif, le gain modélisé de 1,8 µg/m³ en PM10 sur le site AT_039 correspondrait à une baisse d'environ 5% vis-à-vis de la moyenne enregistrée durant les quatre jours non piétons sur le même site (cf. Figure 33).

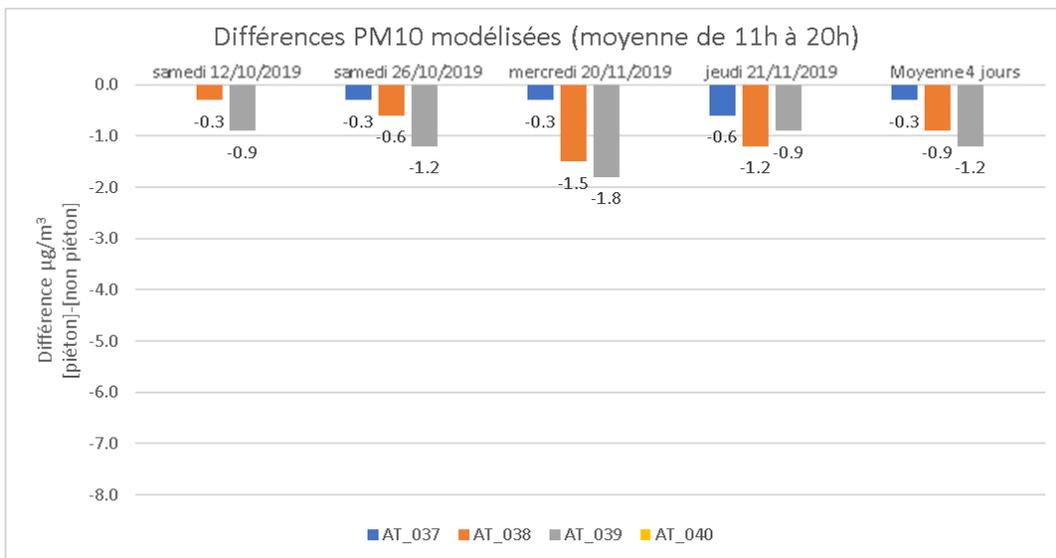


Figure 37 : différences de concentrations modélisées en PM10 entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence) au niveau des sites de mesure par micro-capteurs

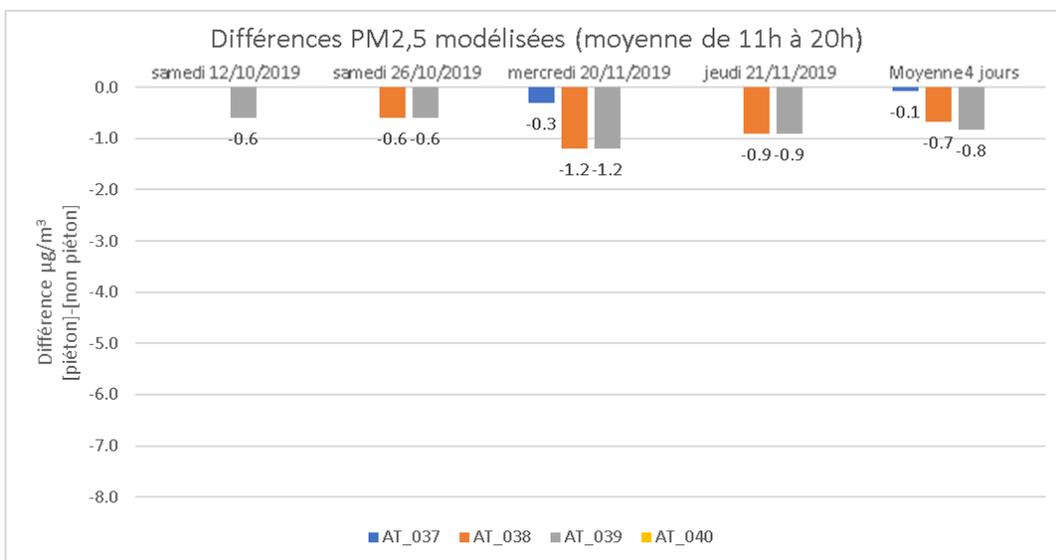


Figure 38 : différences de concentrations modélisées en PM2,5 entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence) au niveau des sites de mesure par micro-capteurs

Sur l'ensemble de la zone d'expérimentation, la baisse de concentrations modélisées maximales est de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 (Figure 39) et de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 (Figure 40), au niveau des axes présentant le trafic le plus important. En dehors des routes à fort trafic, l'impact de l'expérimentation piétonne sur les concentrations en particules est très faible.

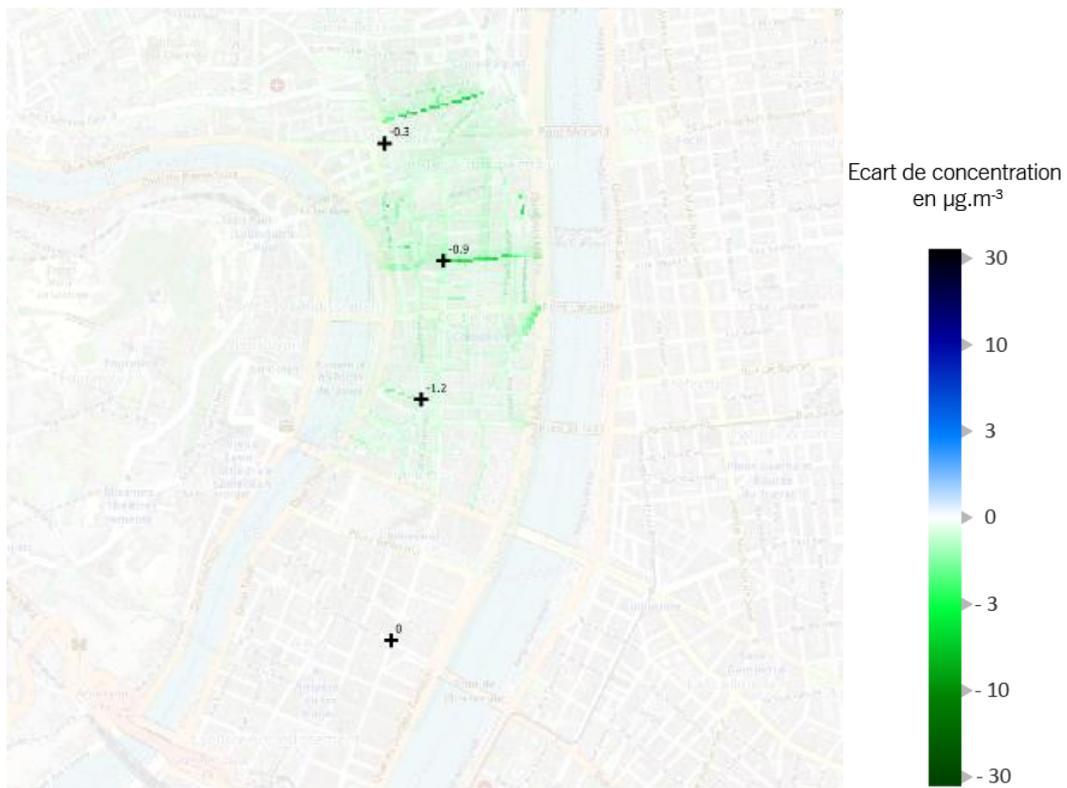


Figure 39 : cartographie de différence de concentrations modélisées en PM10 entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence)

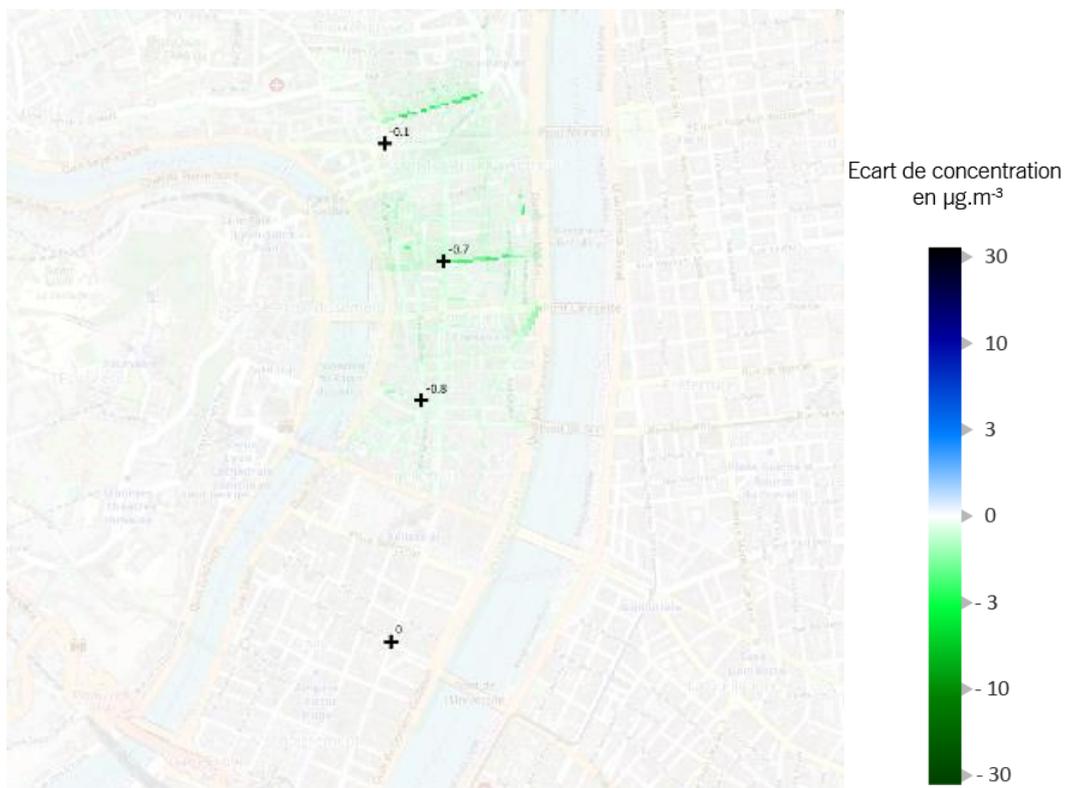


Figure 40 : cartographie de différence de concentrations modélisées en PM2,5 entre le scénario « piéton » et « non piéton » (scénario de référence)

Conclusion

L'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation de piétonnisation de la Presqu'île de Lyon a été réalisée à partir d'un suivi métrologique constitué de 4 micro-capteurs AtmoTrack mis en place, durant 3 mois, au niveau de feux de signalisation situés dans et en dehors de la zone concernée par l'expérimentation.

Cette démarche, innovante par l'usage de micro-capteurs, avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'expérimentation sur les concentrations en polluants atmosphériques à la fois de manière temporelle (en comparant des journées avec et sans piétonnisation) mais également spatiale (comparaison des résultats dans et en dehors de la zone, et comparaison aux stations de mesure de référence du réseau de mesure d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes).

Si les résultats présentés lors de la restitution de l'expérimentation le 07 janvier 2020 ont montré que cette dernière avait eu un impact notable sur le trafic routier dans la zone de piétonnisation (-75%), l'exploitation des résultats du suivi métrologique mis en place par la Métropole de Lyon avec les micro-capteurs AtmoTrack n'a pas permis de dégager un impact significatif de la mesure sur les concentrations en NO₂ et en particules.

En effet, les variations de concentrations enregistrées sont soit trop variables, soit trop faibles (au regard des incertitudes) et les écarts entre appareils sont trop importants pour dégager une tendance significative, et ce, malgré la correction individuelle apportée aux mesures des micro-capteurs à la suite de la calibration auprès d'une station de référence.

De nombreux facteurs peuvent expliquer ces résultats : les facteurs métrologiques tout d'abord tels que le faible échantillon de mesure et l'usage innovant de micro-capteurs ; mais également l'ensemble des facteurs d'influence de la qualité de l'air : conditions de dispersion, autres sources d'émissions et apports extérieurs.

Afin de s'affranchir de ces facteurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a procédé à une évaluation de l'impact de l'expérimentation piétonne de la presqu'île sur les concentrations en NO₂, PM10 et PM2,5 à partir du modèle de dispersion SIRANE et sur la base d'une réduction de trafic dans la zone de l'expérimentation de 75% (Source : Métropole de Lyon, présentation des résultats de l'expérimentation, 07/01/2020).

Si le suivi métrologique n'a pas permis de confirmer une influence de l'expérimentation sur les concentrations en polluants atmosphériques, les résultats de la modélisation ont mis en évidence des réductions de concentrations en NO₂ et PM (variables entre les axes et croissantes en fonction de leur volume de trafic).

Le gain maximal en NO₂ modélisé sur les sites de mesures par micro-capteurs a été obtenu pour le site AT_039 avec -5,9 µg/m³ (ce qui correspondrait à une baisse d'environ 14% de la concentration moyenne mesurée sur le même site durant les 4 jours non piétons exploités dans l'étude). La cartographie de différence de concentrations modélisées entre les scénarios « non piéton » (scénario de référence) et « piéton » sur l'ensemble de la zone d'étude a mis en évidence des gains allant jusqu'à 20 µg/m³ pour le NO₂, polluant « traceur de la pollution routière » (60% des émissions de NO₂ sont issues du trafic routier au niveau de la Métropole de Lyon⁴).

Le trafic routier n'étant pas la source majeure des émissions de particules et ces dernières présentant un caractère plus dispersif, le gain modélisé de l'expérimentation sur les concentrations en PM10 et

⁴ Source : Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, inventaire des émissions 2017 v.2019

PM2,5 est quant à lui moindre que pour le NO₂. La différence maximale modélisée au niveau des sites de mesure est en effet de -1,8 µg/m³ en PM10 sur le site AT_039 pour le mercredi 20 novembre 2019 (ce qui correspondrait à une baisse d'environ 5% de la concentration moyenne mesurée sur le même site durant les 4 jours non piétons exploités dans l'étude). La cartographie de différence de concentrations en PM10 modélisés entre les scénarios « non piéton » (scénario de référence) et « piéton » sur l'ensemble de la zone d'étude a mis quant à elle en évidence des gains allant jusqu'à 5 µg/m³.

Annexe 1 : Challenge Airlab 2018 et 2019 – résultats pour les micro-capteurs Atmotrack

1. Résultats 2018

En date du démarrage du suivi de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation piétonne, seuls les [résultats de l'édition 2018 du challenge](#) étaient connus.

Conçu initialement pour être installé sur le toit d'un véhicule et mesurer les particules (PM10 et PM2,5), le micro-capteur 42-factory d'Atmotrack a été testé pour cet usage en 2018.

Les résultats 2018 ont mis en évidence des mesures en mobilité bonnes pour les PM2,5 et satisfaisantes pour les PM10 (Figure 41).

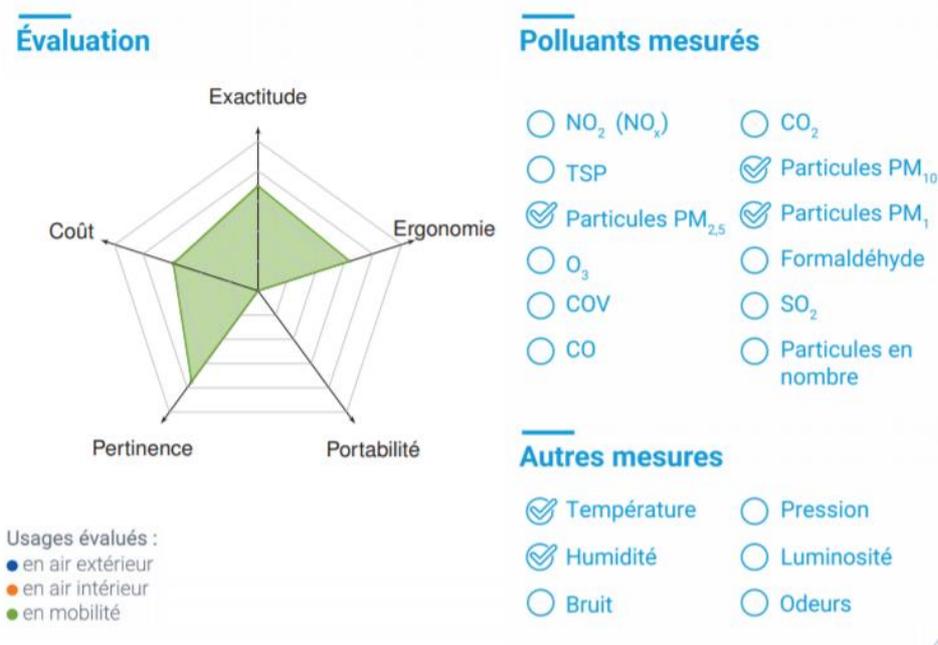


Figure 41 : résultats de l'évaluation du micro-capteur 42 Factory AtmoTrack (extrait des résultats du challenge Airlab édition 2018)

2. Résultats 2019

Le micro-capteur d'Atmotrack a également participé à l'édition 2019 du challenge, pour un usage en mobilité ainsi que pour les PM10 et 2,5 mais également pour un usage en poste fixe et pour le NO₂, objets du suivi de l'expérimentation. Selon les [résultats de l'édition 2019](#), publiés début 2020 (Figure 42) :

- l'usage pour lequel l'évaluation est la meilleure pour ces micro-capteurs est une mesure en air extérieur en mobilité plutôt qu'en fixe ;
- la qualité des mesures de PM varie de bonne à très bonne en mobilité et de mauvaise à bonne, lorsqu'elles sont statiques, selon la taille des particules ;
- des développements supplémentaires sont nécessaires pour le NO₂, dont les performances sont très médiocres.

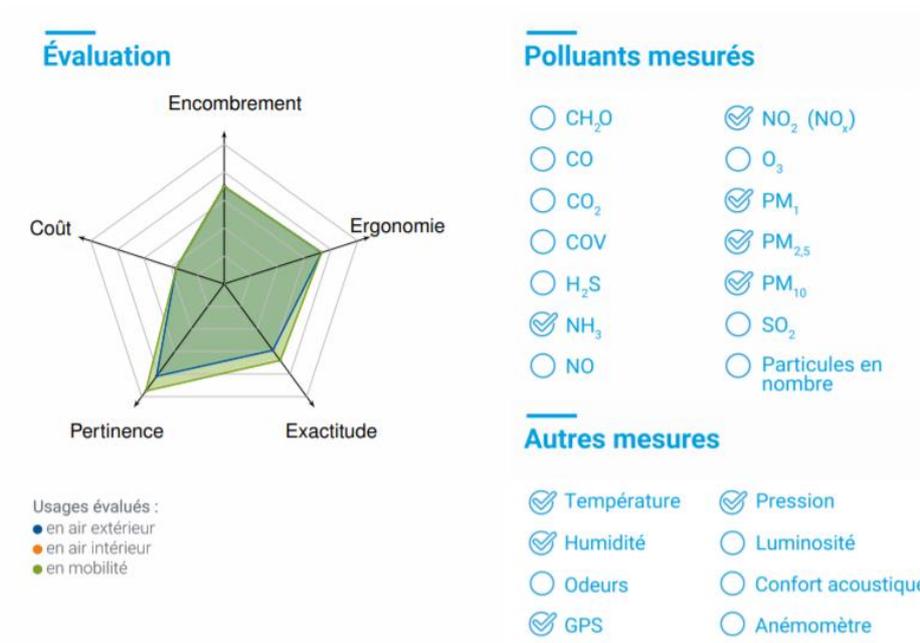


Figure 42 : résultats de l'évaluation du micro-capteur 42 Factory AtmoTrack (extrait des résultats du challenge Airlab édition 2019)

Annexe 2 : Résultats des mesures entre jours piétons et non piétons de même typologie (mercredis, jeudis et samedis) sur l'ensemble de la période de mesures

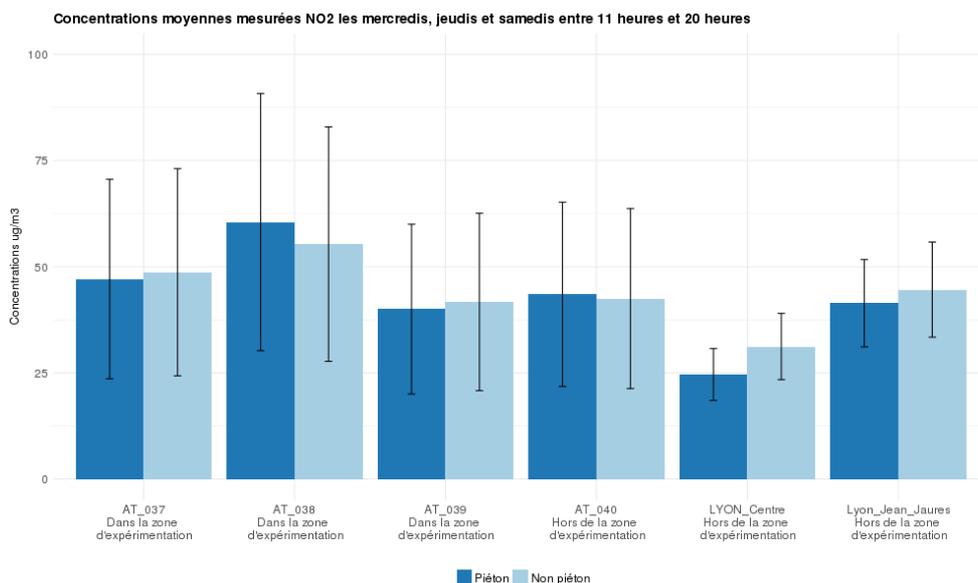


Figure 43 : Comparaison des concentrations moyennes en NO₂ mesurées entre 11 heures et 20 heures durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) de même typologie

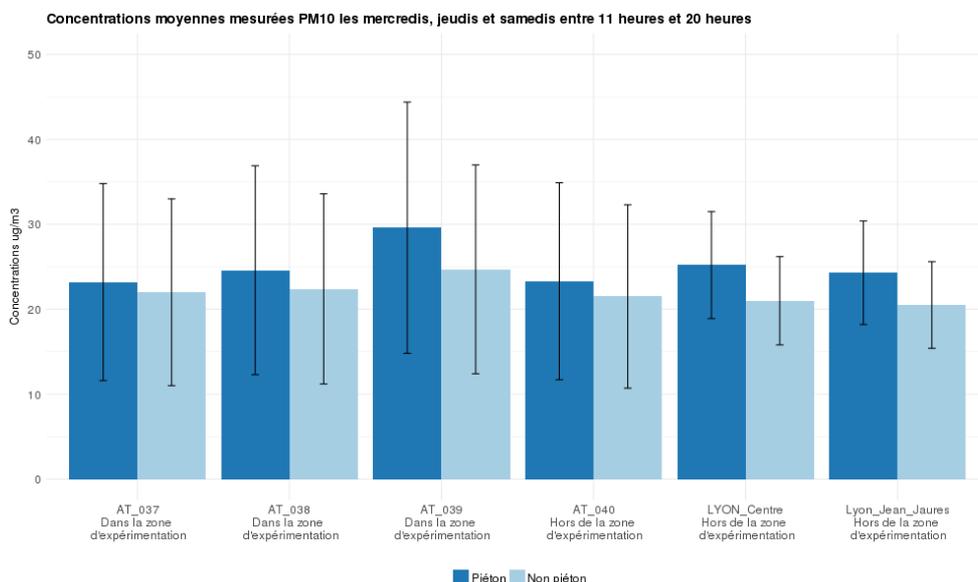


Figure 44 : Comparaison des concentrations moyennes en PM₁₀ mesurées entre 11 heures et 20 heures durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) de même typologie

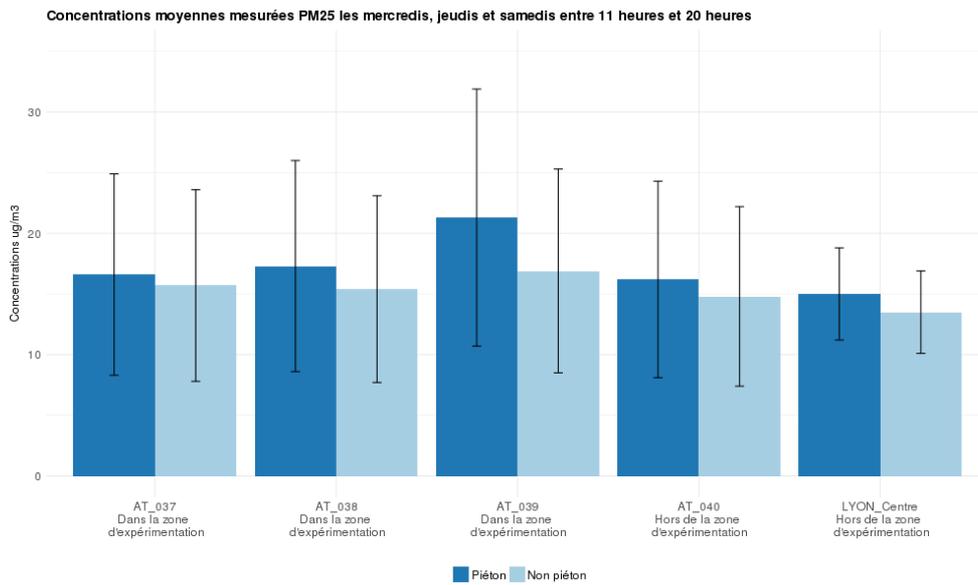


Figure 45 : Comparaison des concentrations moyennes en PM25 mesurées entre 11 heures et 20 heures durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) de même typologie

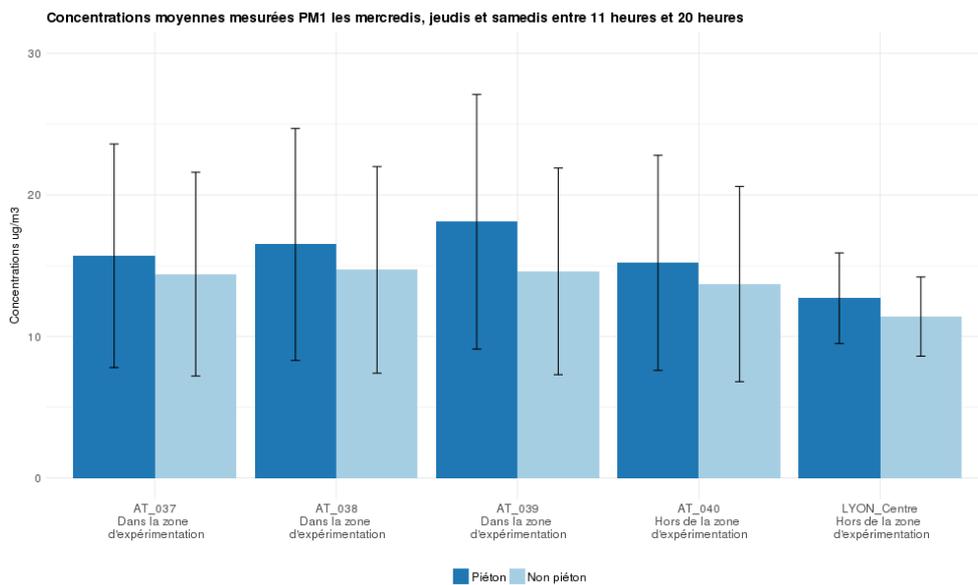


Figure 46 : Comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées entre 11 heures et 20 heures durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) de même typologie

Annexe 3 : Analyse des conditions météorologiques comparables entre jours piétons et non piétons

La comparaison des roses des vents (Figure 47) a conduit aux rapprochements suivants :

- samedis 12/10/2019 et 02/11/2019 ;
- samedis 26/10/2019 et 30/11/2019 ;
- mercredi 20/11/2019 et 04/12/2019.
- jeudi 21/10/2019 : aucun autre jeudi de la période de mesures n'a présenté une rose des vents équivalente. Le jeudi 07/11/2019 est la journée la plus semblable en termes de vents.

Il n'y a pas eu de précipitations durant ces huit jours.

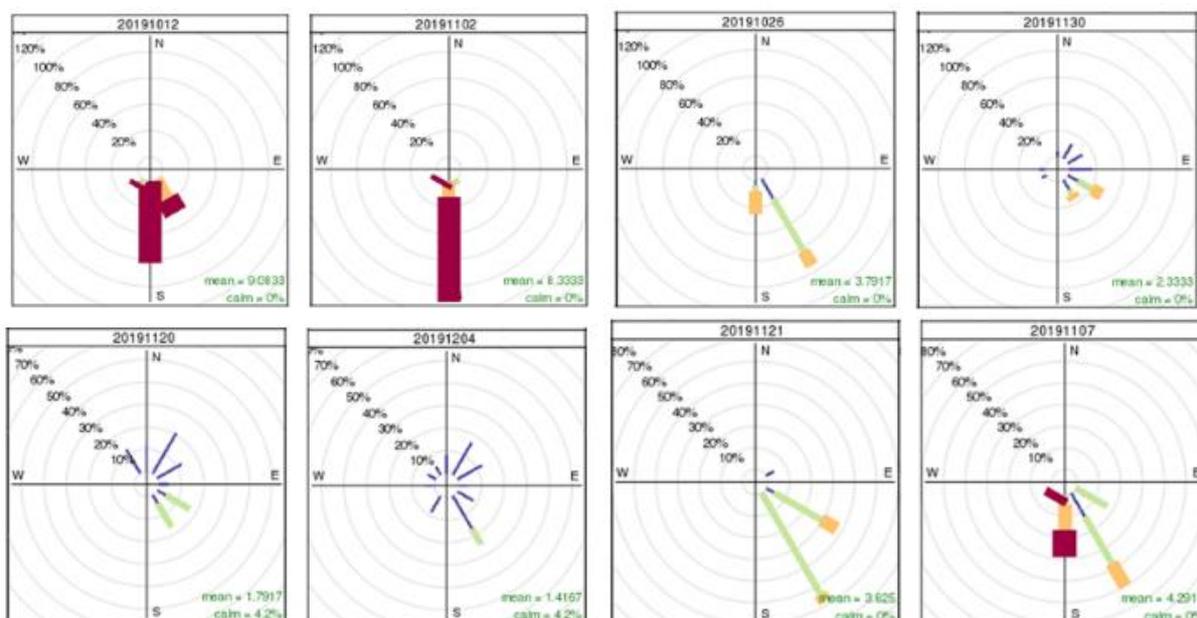


Figure 47 : comparaison des roses des vents des jours piétons (à gauche) aux roses des vents des jours non piétons dont la météorologie est la plus semblable

En conclusion, l'analyse des facteurs d'influence a conduit aux comparaisons entre jours piétons et non piétons suivantes :

- Samedi 12/10/2019 (jour piéton) vs. samedi 02/11/2019 ;
- Samedi 26/10/2019 (jour piéton) vs. samedi 30/11/2019 ;
- Mercredi 20/11/2019 (jour piéton) vs. mercredi 04/12/2019 ;
- Jeudi 21/11/2019 (jour piéton) vs. jeudi 07/11/2019.

Annexe 4 : Résultats de l'exploitation métrologique pour les particules PM_{2,5}

Analyse comparative des journées piétonnes et non piétonnes

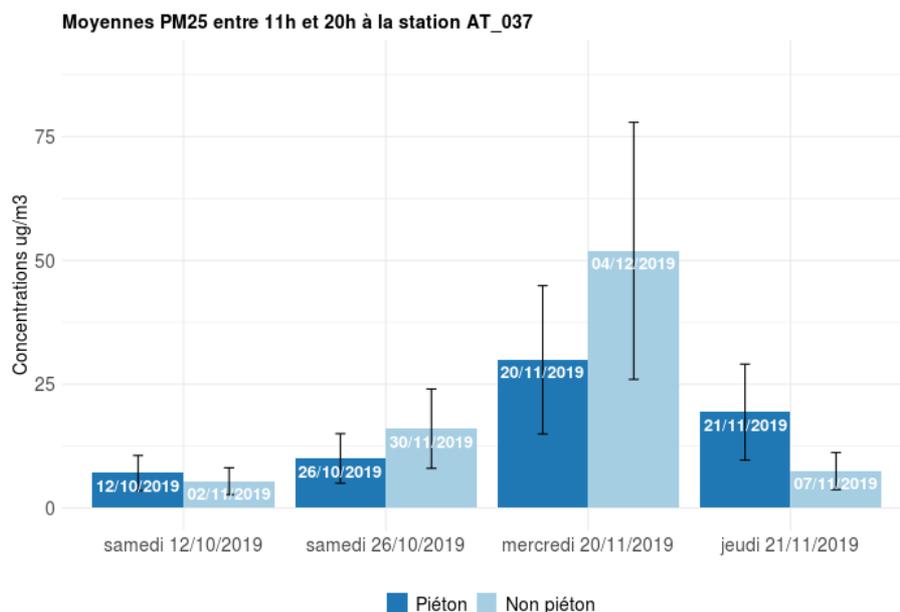


Figure 48 : comparaison des concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_037, situé dans la zone d'expérimentation

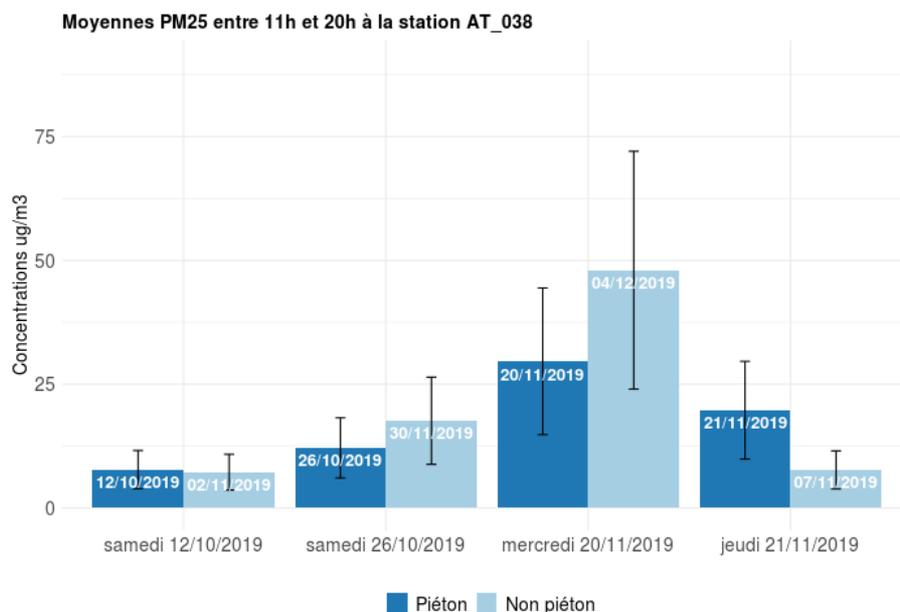


Figure 49 : comparaison des concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_038, situé dans la zone d'expérimentation

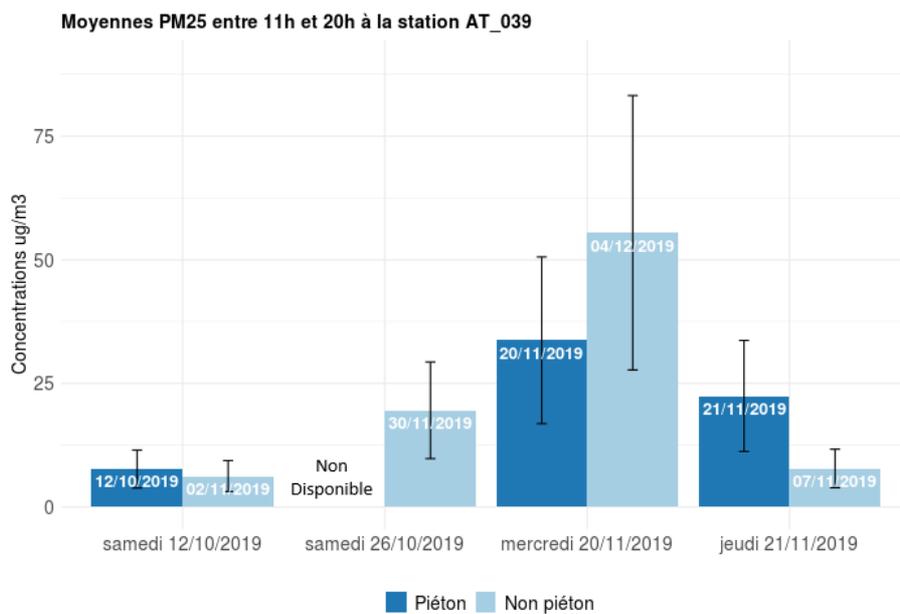


Figure 50 : comparaison des concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_039, situé dans la zone d'expérimentation

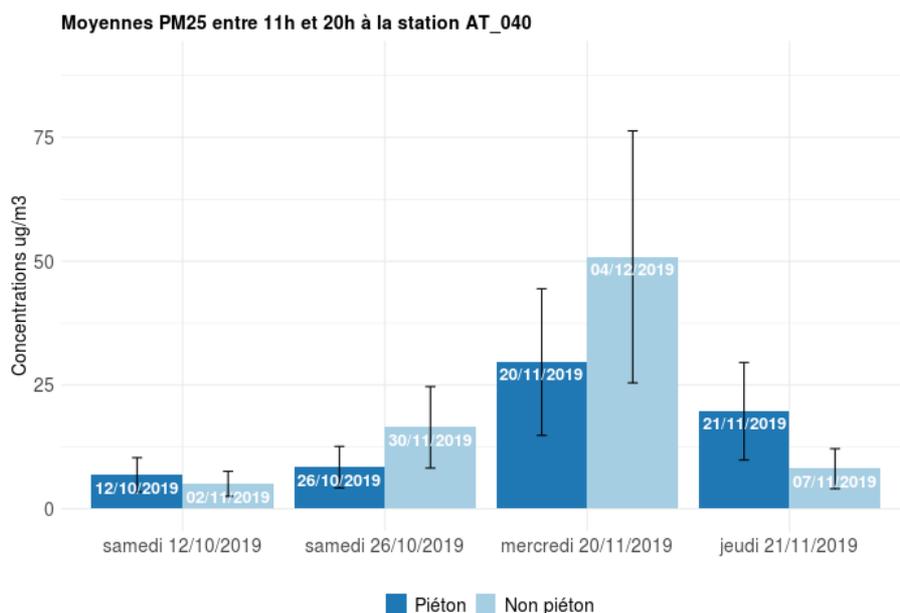


Figure 51 : comparaison des concentrations moyennes en PM_{2,5} mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_040, situé hors de la zone d'expérimentation

Moyennes PM25 entre 11h et 20h à la station LYON_Centre

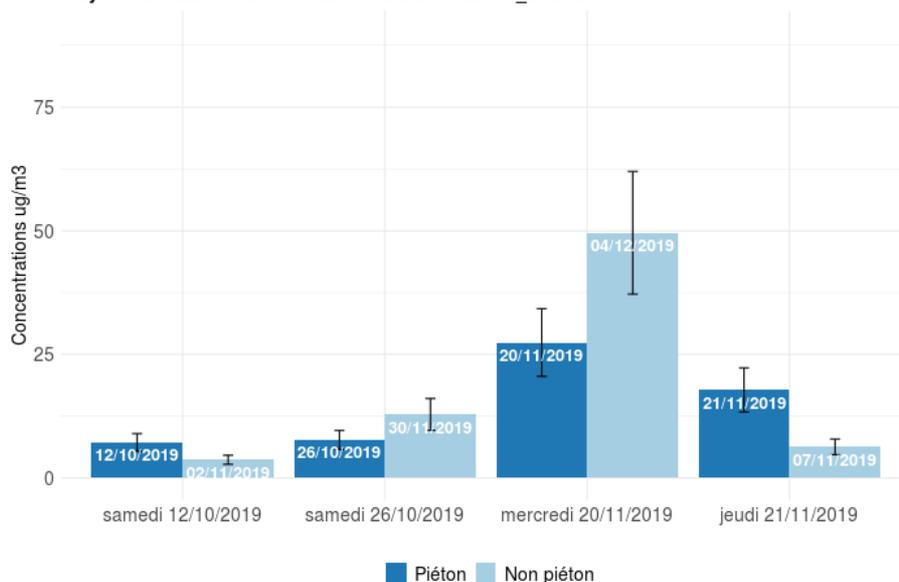


Figure 52 : comparaison des concentrations moyennes en PM2,5 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon centre (typologie de fond urbain)

Analyse de la répartition spatiale des concentrations

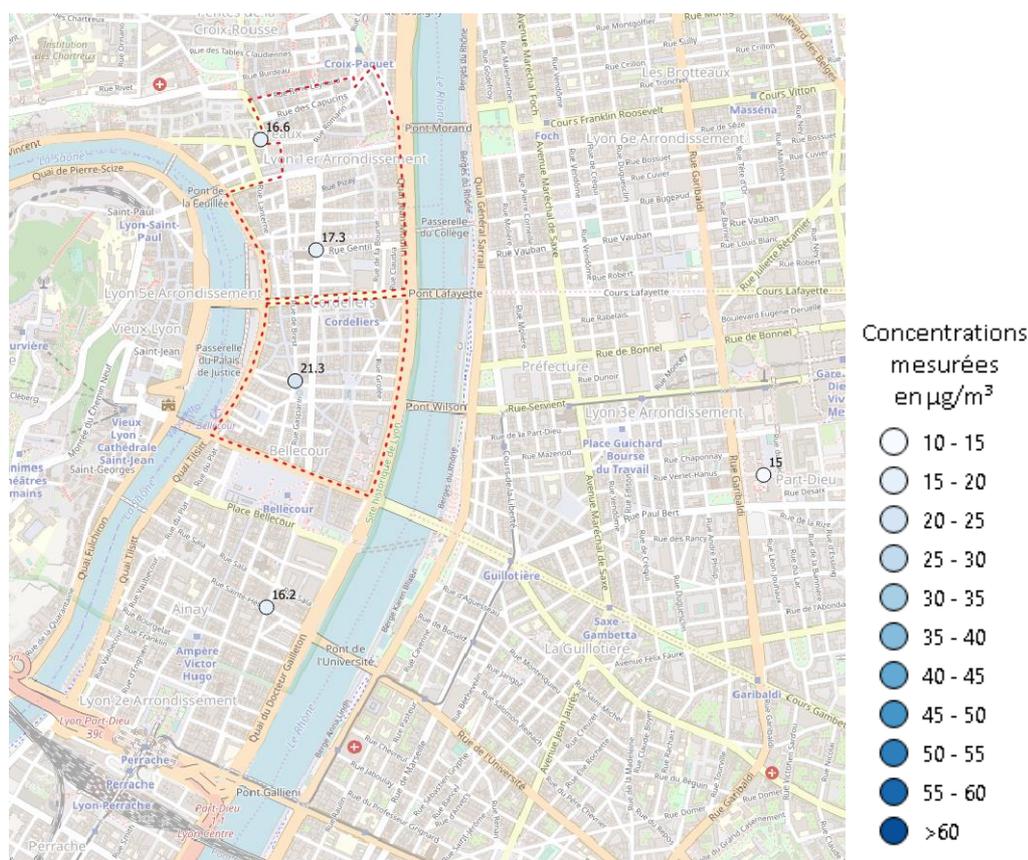


Figure 53 : cartographie des concentrations moyennes en PM2,5 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les quatre jours piétons

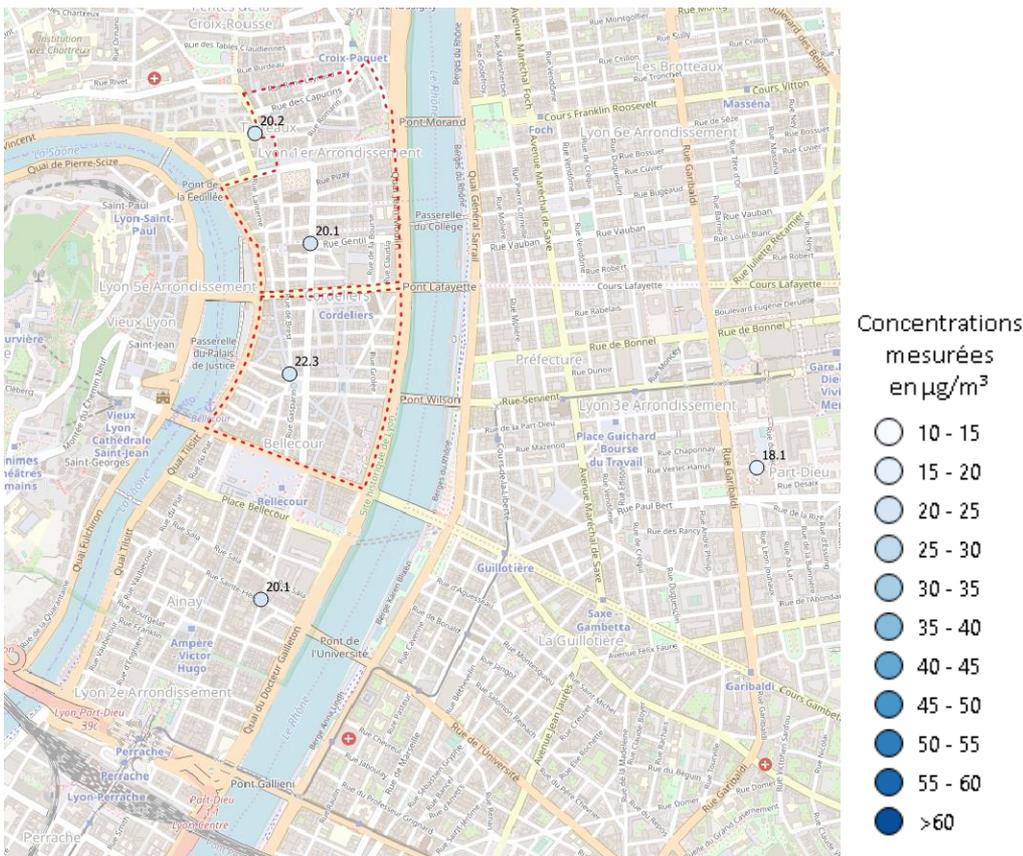


Figure 54 : cartographie des concentrations moyennes en $\text{PM}_{2.5}$ mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les jours non piétons présentant des conditions météorologiques similaires



Figure 55 : cartographie des différences de concentrations moyennes en $\text{PM}_{2.5}$ mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure : [jours piétons] - [jours non piétons avec météorologie similaire]

Annexe 6 : Résultats de l'exploitation métrologique pour les PM1

Analyse comparative des journées piétonnes et non piétonnes

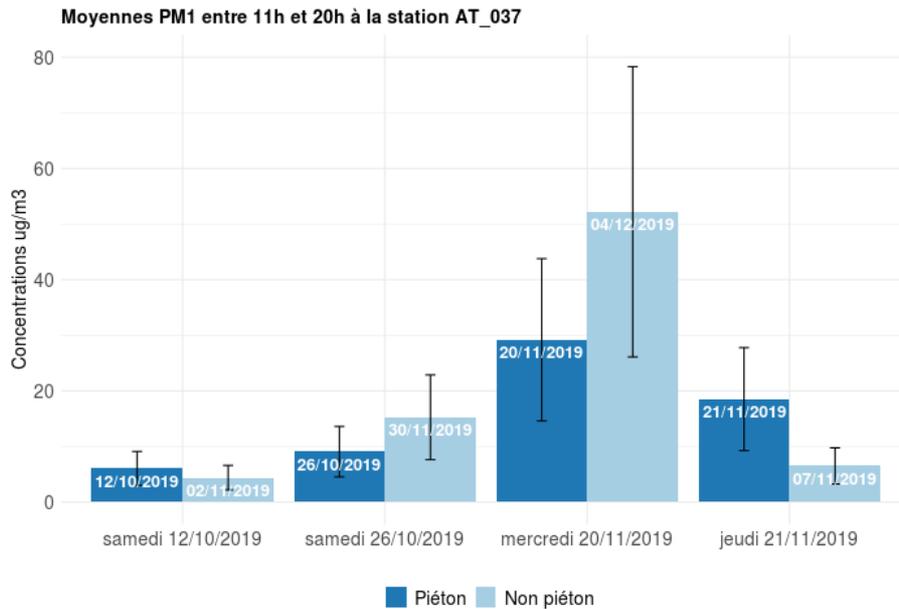


Figure 56 : comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_037, situé dans la zone d'expérimentation

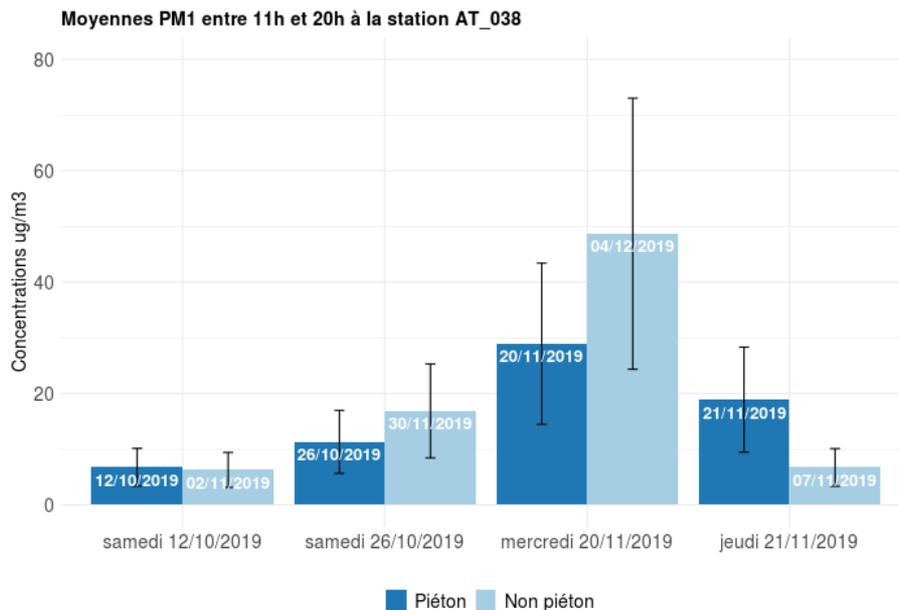


Figure 57 : comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_038, situé dans la zone d'expérimentation

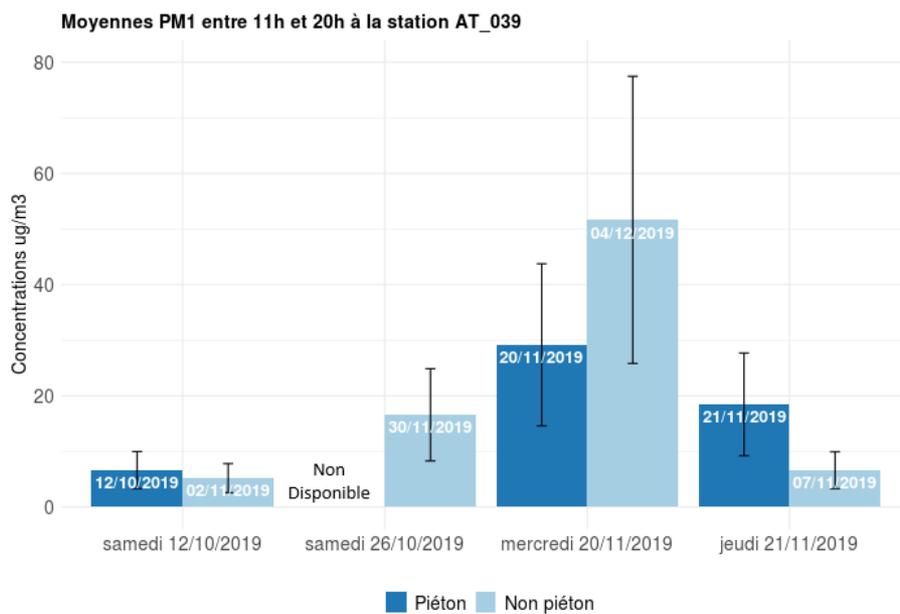


Figure 58 : comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_039, situé dans la zone d'expérimentation

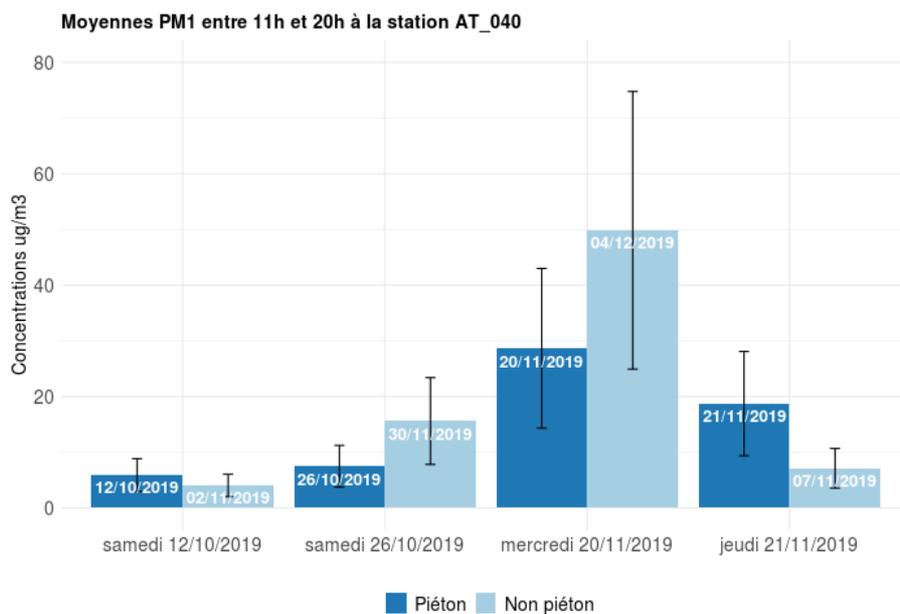


Figure 59 : comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par le micro-capteur AT_040, situé hors de la zone d'expérimentation

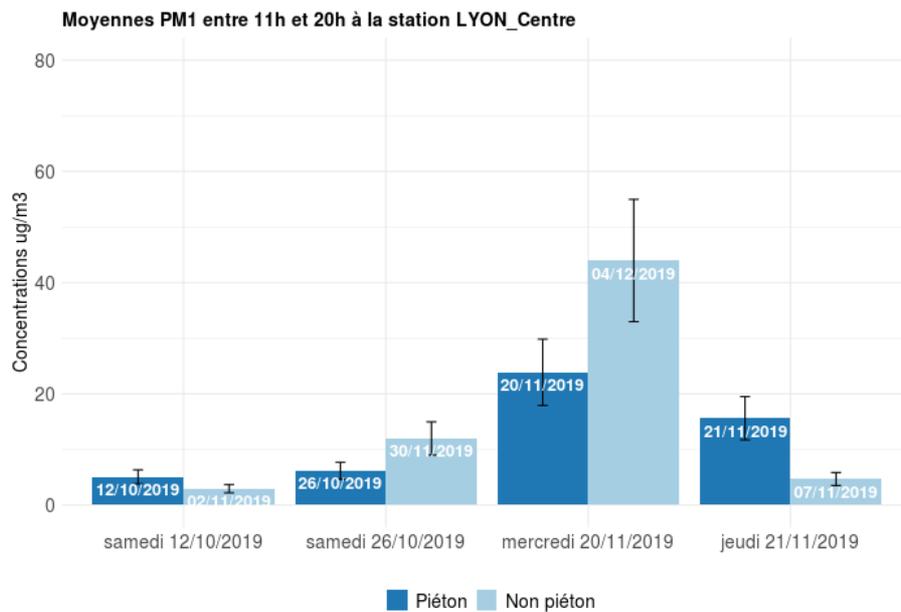


Figure 60 : comparaison des concentrations moyennes en PM1 mesurées durant les jours piétons (en bleu foncé) et non piétons (en bleu clair) par la station fixe Lyon centre (typologie de fond urbain)

Analyse de la répartition spatiale des concentrations

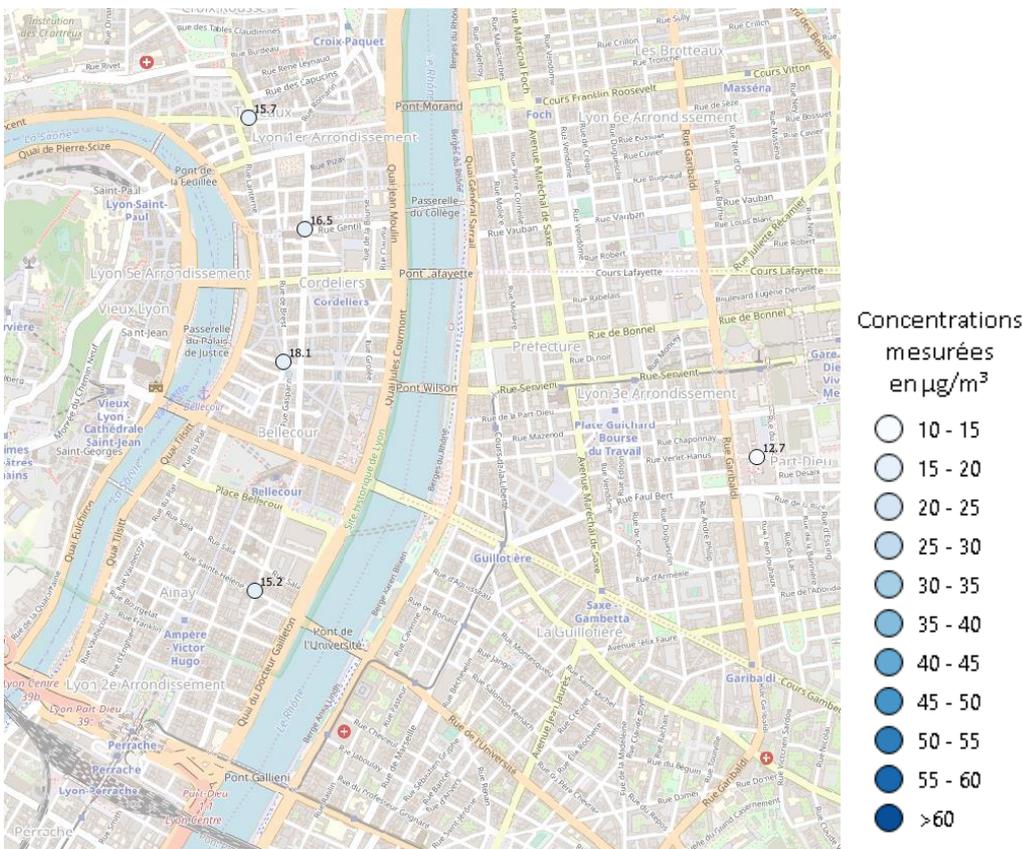


Figure 61 : cartographie des concentrations moyennes en PM1 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les quatre jours piétons

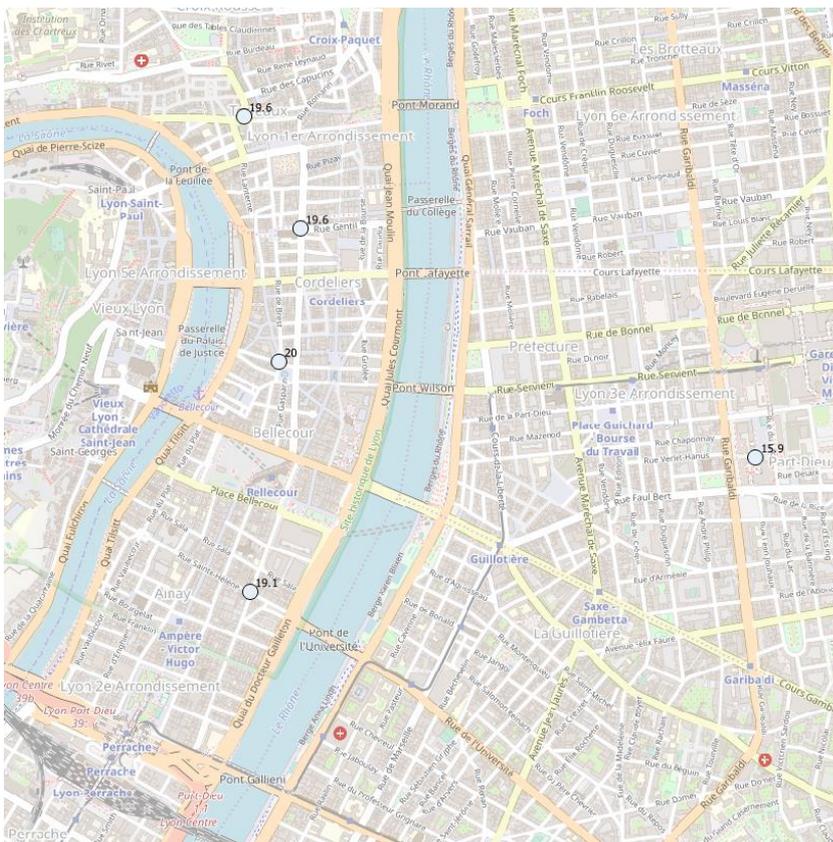


Figure 62 : cartographie des concentrations moyennes en PM1 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure durant les jours non piétons présentant des conditions météorologiques similaires

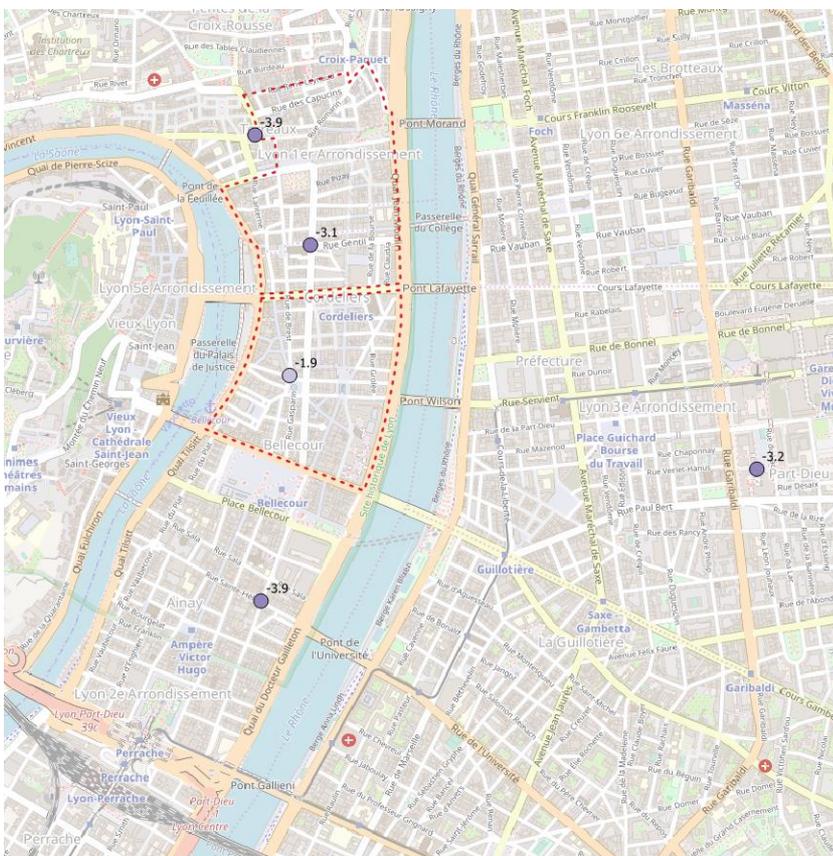


Figure 63 : cartographie des différences de concentrations moyennes en PM1 mesurées entre 11 heures et 20 heures sur l'ensemble des sites de mesure : [jours piétons] - [jours non piétons avec météorologie similaire]