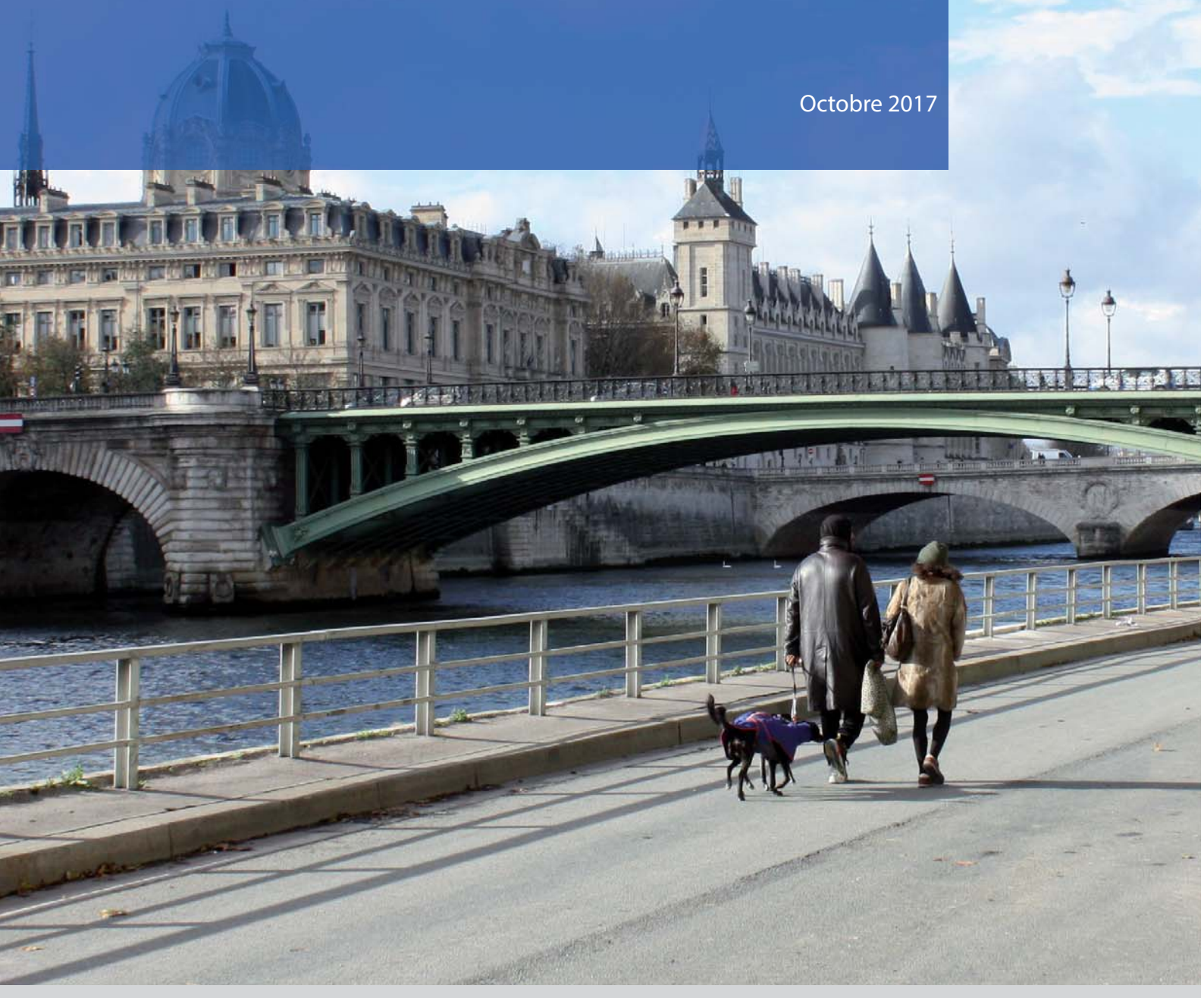


SUIVI DE L'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L'AIR APRÈS FERMETURE DES VOIES SUR BERGES RIVE DROITE

Rapport intermédiaire n°2 - Campagne estivale

Octobre 2017



L'Observatoire de l'air en Île-de-France



**SUIVI DE L'EVOLUTION
DE LA QUALITE DE L'AIR APRES FERMETURE
DES VOIES SUR BERGES RIVE DROITE**

**RAPPORT INTERMEDIAIRE N°2
PERIODE ESTIVALE**

Octobre 2017

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
SYNTHESE	2
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
2. METHODOLOGIE	7
2.1 UN VASTE DOMAINE TRAVERSE PAR DE NOMBREUX AXES	7
2.2 DES POLLUANTS D'INTERET A PROXIMITE DU TRAFIC ROUTIER	8
2.3 UNE METHODOLOGIE COUPLANT MESURES ET MODELISATION	10
3. CAMPAGNE DE MESURE ESTIVALE 2017	11
3.1 LES MOYENS MIS EN ŒUVRE	11
3.1.1. DES MOYENS DE MESURE RENFORCES	11
3.1.2. DES SITES DE MESURE AU PLUS PRES DES AXES ROUTIERS	14
3.1.3. DUREE DES MESURES	16
3.2 LES CONCENTRATIONS OBSERVEES PENDANT LA CAMPAGNE	16
3.2.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE	16
3.2.2. NIVEAUX DE POLLUTION MESURES PENDANT LA CAMPAGNE	18
3.2.3. LES CONCENTRATIONS EN TOUT POINT DU DOMAINE	25
4. ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA PIETONNISATION DES VOIES SUR BERGES....	27
4.1. IMPACT SUR LES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	27
4.2. IMPACT SUR LES CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM ₁₀	31
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	32

SYNTHESE

À la rentrée 2016, la Ville de Paris fermait à la circulation routière les 3,5 km de la voie Georges Pompidou. Suite à de nombreuses interrogations quant aux impacts de cette piétonnisation, différents comités ont été mis en place par la Préfecture de Police, la Région Île-de-France et la Métropole du Grand Paris. Une étude spécifique pour suivre l'impact sur l'air leur a été proposée par Airparif. Elle s'appuie sur deux campagnes de mesure, l'une hivernale et l'autre estivale, combinées à des outils de modélisation qui ont permis de reconstituer les variations de la pollution sur le territoire métropolitain, en lien avec l'évolution du trafic routier.

Les résultats de la campagne estivale, menée du 30 mai au 27 juin 2017 confirment les résultats de la campagne hivernale et mettent en évidence un impact sur les concentrations en dioxyde d'azote (NO₂), qui reste limité aux abords des axes routiers avec :

- **une amélioration de la qualité de l'air le long des quais fermés à la circulation.**
- **mais aussi une dégradation plus ou moins marquée autour des carrefours dans cette zone et à l'est, dès la fin de la portion piétonnisée. Des impacts sont aussi perceptibles, mais moins marqués, sur les itinéraires de report.**

Pour suivre les évolutions de la qualité de l'air en lien avec cette mesure, l'étude couvre un territoire suffisamment large pour prendre en compte à la fois les voies fermées à la circulation et celles potentiellement impactées par ces modifications de trafic, à Paris et en proche banlieue.

→ Au total ce sont près de 80 points de mesures qui ont été installés, dont un point tous les 300 mètres le long des voies sur berges.

Les éléments ci-dessous présentent les enseignements de la campagne estivale, qui s'est déroulée du 30 mai au 27 juin 2017.

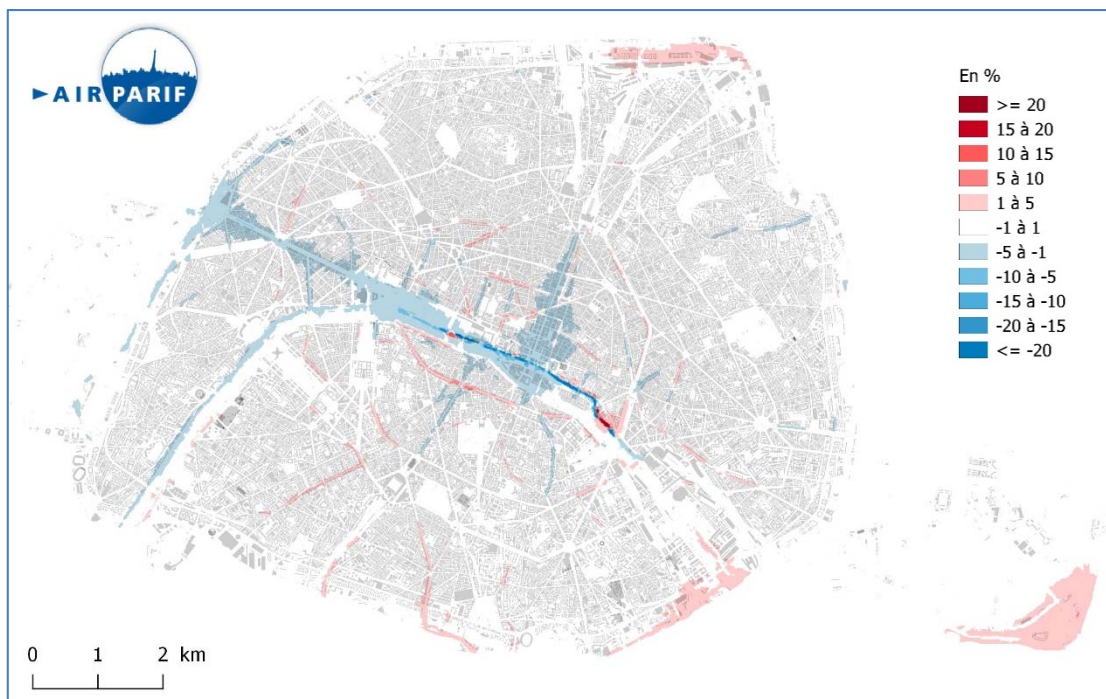
Impacts de la fermeture des voies sur berge entre 2016 et 2017

Airparif a recalculé, heure par heure, les niveaux de pollution qui auraient été observés sans la fermeture des voies sur berge en conservant les conditions de trafic de 2016 mais en appliquant les conditions météorologiques de 2017. Ces travaux de modélisation, calés et validés par les observations des stations et la campagne de mesure, permettent d'évaluer l'impact propre à cette mesure, en s'affranchissant du rôle de la météorologie qui fait varier au jour le jour les niveaux de pollution, comme lors de l'épisode de pollution à l'ozone. Les cartes ci-dessous mettent en évidence les zones où la qualité de l'air a évolué entre 2016 et 2017, sur la période de la campagne.

Les zones en bleu montrent une amélioration globale de la qualité de l'air, principalement le long des quais de Seine (pouvant atteindre jusqu'à -20%) : la suppression totale de deux voies de circulation sur les quais bas compense les augmentations des quais hauts dont le nombre de voies est resté identique.

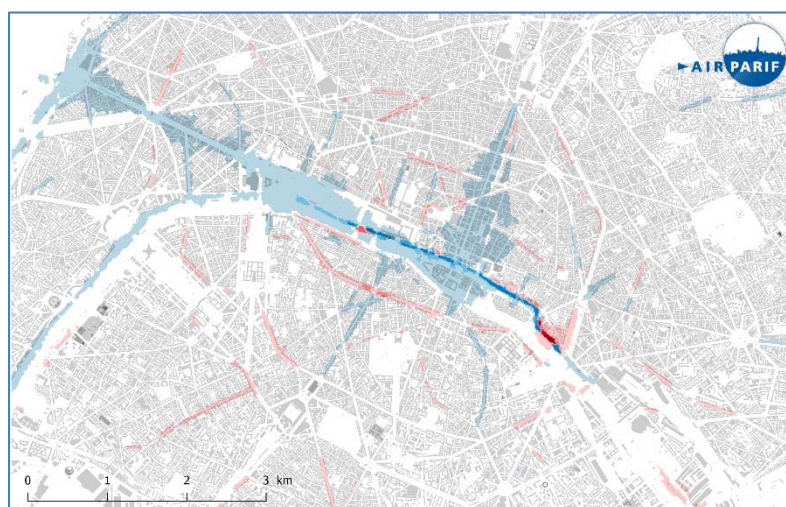
Les zones en rouge montrent une faible dégradation de la qualité de l'air

- en fin de zone piétonnisée, en direction de l'est parisien (de +10 à +15%), au niveau du quai Henri IV.
- dans une moindre mesure (de +1% à +5%), sur les itinéraires de report, comme le boulevard Saint Germain, le boulevard périphérique sud et sur les quais hauts, ou au niveau des carrefours dont la congestion s'est accrue.



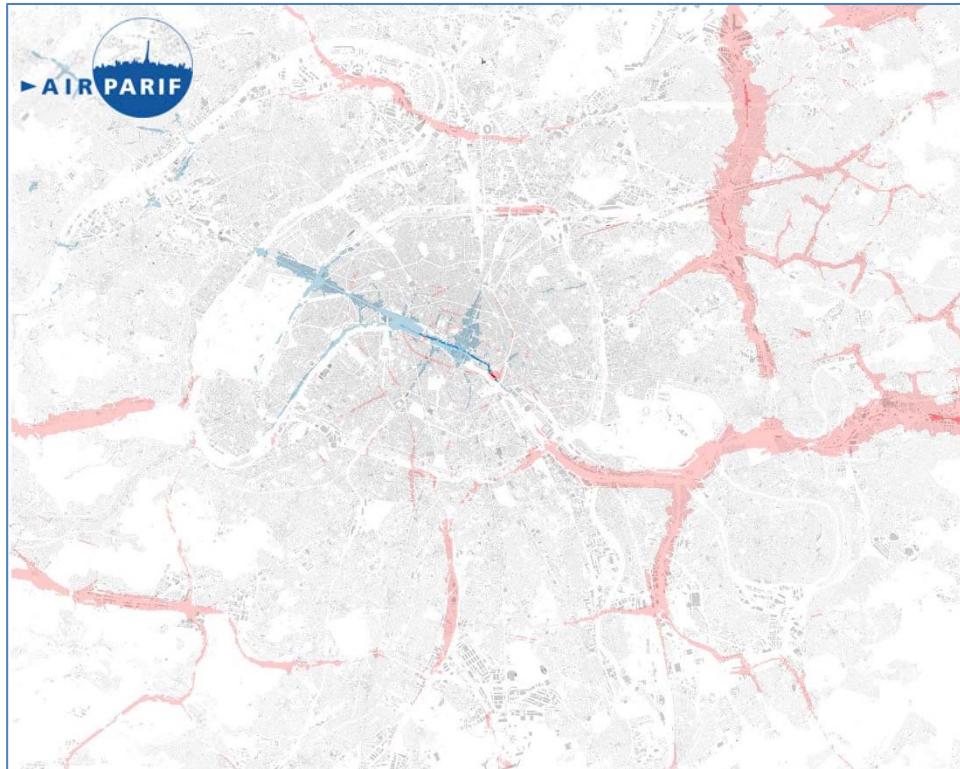
Variation des niveaux moyens de NO₂ sur Paris entre la campagne de 2017 et la même période en 2016.

Zoom sur les quais



A l'échelle du territoire métropolitain, les variations sont beaucoup moins marquées et se limitent surtout aux grands axes. De plus, elles ne sont vraisemblablement pas toutes liées aux voies sur berge comme l'illustrent la carte et le tableau ci-dessous. Rappelons que les voies sur berge représentent 0,16% *¹ du kilométrage annuel francilien, soit 122 millions de km parcourus (contre 77,7 milliards de km à l'échelle de la région**).

Sources des données trafic : *Drirea, exploitation Airparif, **ville de Paris

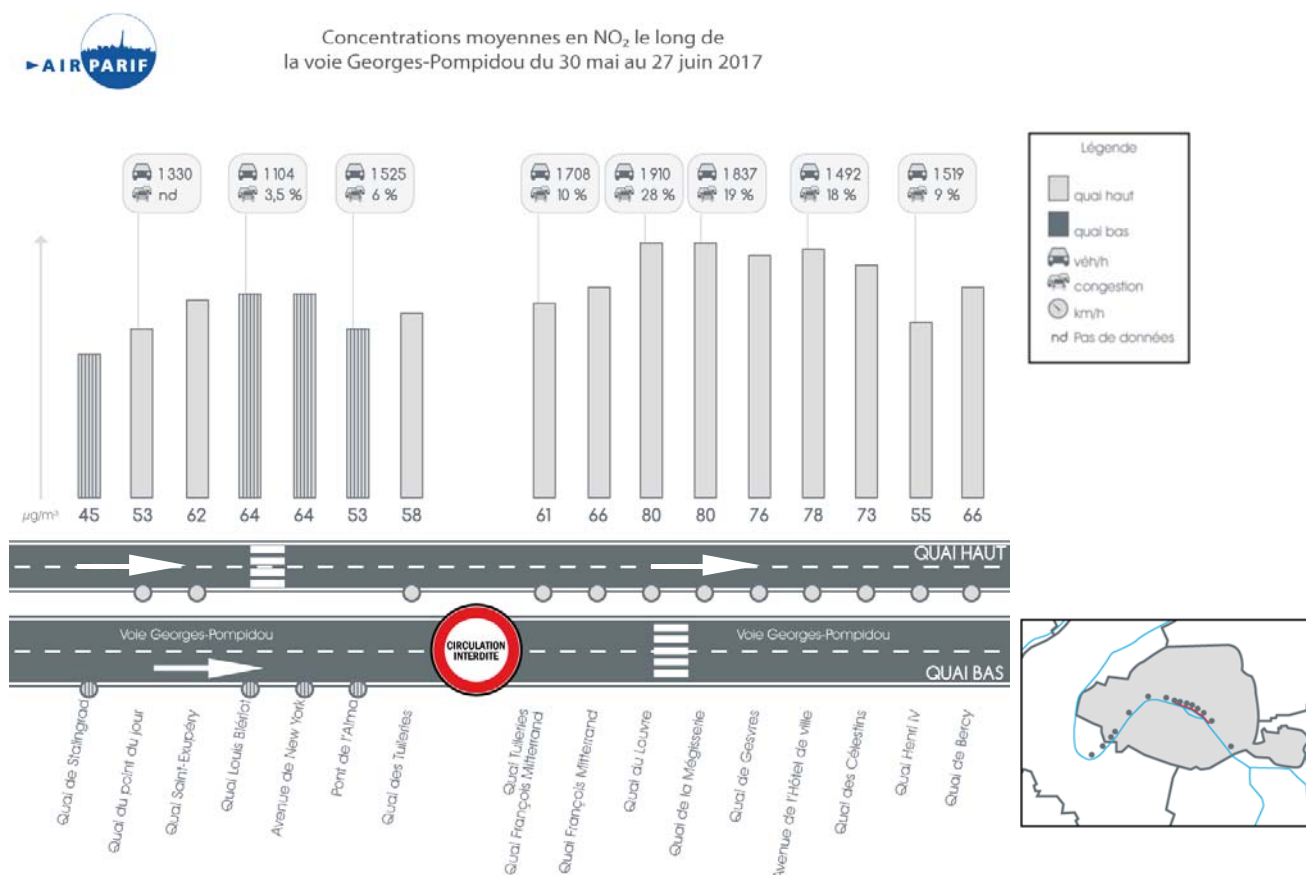


Probabilités de lien entre les principales variations de pollution observées et la piétonnisation des voies sur berges.

Lien avéré avec la piétonnisation des VSB	Lien possible	Lien peu probable
+ 10 à +15% Paris Rive Droite : Quai Henri IV		
+1 à +5% Paris : - Quai de l'Hôtel de Ville / Célestins - carrefours des Quais hauts - voies de report	Paris : - axes hors centre - BP Sud et Nord Petite Couronne : - 1 ^{ers} km de l'A4 - A86 - A6 - A13	- A3 - A1 - A4 au-delà de Villiers-sur-Marne - A15
-1 à -5% Paris centre : Quais de Seine	Paris centre : - Ile de la Cité - Sébastopol/Marais - Rue de Rennes BP Ouest	
jusqu'à -20% Voies sur berges et quais de Seine		

Détails de la campagne de mesure du 30 mai au 27 juin 2017

Le long du parcours des voies sur berge d'Ouest en Est, dans le sens du trafic, la variabilité des niveaux de dioxyde d'azote est importante : de 57 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, comme l'illustre le schéma ci-dessous.



Concentrations moyennes le long de la voie Georges Pompidou et des quais de Seine pendant la campagne estivale de mesure (NO_2)

Ces niveaux sont tout à fait comparables aux stations trafic dans l'agglomération (de 41 à 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les écarts d'un point de mesure à un autre s'expliquent par trois facteurs conjugués :

- le nombre de véhicules ;
- la fluidité du trafic ;
- la topologie de l'axe.

La photochimie de cette période estivale accentue les écarts de concentration de NO_2 d'un point à l'autre.

Cette étude a été cofinancée par la Mairie de Paris, la Métropole du Grand Paris et la Région Île-de-France et par Airparif pour une partie du matériel. Elle s'est faite en collaboration avec le Service Parisien de Santé Environnementale (SPSE), partenaire historique d'Airparif, qui était en charge d'une quinzaine de points de mesure.

Comme pour toutes les études de l'association, tous les résultats sont rendus publics. Ils sont notamment partagés avec l'ensemble des membres de l'association (collectivités, État, acteurs économiques et associations) et mis à disposition dans les comités de suivi mis en place par le Préfet de Police et la Ville de Paris, la Région Île-de-France et la Métropole du Grand Paris.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

En octobre 2006, la Ville de Paris a mis en œuvre, la piétonnisation des berges de Seine Rive Droite. La voie Georges Pompidou a été fermée à la circulation entre le tunnel des Tuileries et le tunnel Henri IV.

Dans ce contexte, Airparif a mis en place une étude spécifique pour analyser l'évolution de la qualité de l'air suite à la fermeture de cette infrastructure sur la rive droite de la Seine :

- sur un territoire suffisamment large pour prendre en compte à la fois les voies fermées à la circulation et celles potentiellement impactées par ces modifications de trafic, à Paris et en proche banlieue ;
- sur une période suffisamment longue pour prendre en compte les variations saisonnières et l'évolution des comportements des usagers.

Le présent rapport présente les résultats de la campagne estivale, menée du 30 mai au 27 juin 2017.

Si toute modification notable du trafic routier interagit avec la qualité de l'air, son évaluation nécessite de déployer des moyens de surveillance spécifiques, sur une période de plusieurs mois et sur un périmètre suffisamment large pour prendre en compte l'ensemble du territoire impacté. La seule analyse mensuelle des variations des niveaux des stations ou des points de mesure uniquement le long des quais fermés à la circulation, n'est pas suffisante pour mener une analyse et un suivi exhaustif et pertinent, prenant en compte notamment les phénomènes d'évolution des comportements, comme les reports de trafic, et les variations saisonnières liées à la météorologie.

Le lien de causalité direct entre les phénomènes observés et la fermeture des voies sur berges n'est pas aisé, et d'autant plus difficile à établir que certains phénomènes observés sont éloignés du voisinage immédiat des quais de Seine. De plus, il ne pourra être distingué des autres modifications de voirie ou travaux, et d'autres mesures ayant pu induire des modifications du trafic ou du parc roulant qui ont eu lieu en cours d'année 2016.

En l'absence de campagne menée préalablement à la fermeture des voies par Airparif, une étude comparative ne peut pas directement être réalisée sur la base des mesures. Pour s'affranchir de cette difficulté, la comparaison sera réalisée au moyen d'outils de modélisation, permettant de réaliser une comparaison de la situation avant et après piétonnisation à conditions météorologiques équivalentes.

Cette étude d'Airparif est cofinancée par la Mairie de Paris, la Région Île-de-France, la Métropole du Grand Paris et Airparif, avec une collaboration du Service Parisien de Santé Environnementale (SPSE).

Trois comités techniques de suivi des résultats ont été mis en place respectivement par la Préfecture de Police, la Région Île-de-France et la Métropole du Grand Paris.

2. METHODOLOGIE

2.1 UN VASTE DOMAINE TRAVERSE PAR DE NOMBREUX AXES

Le diagnostic de qualité de l'air porte sur un vaste secteur couvrant à la fois Paris intra-muros et les communes de petite couronne potentiellement impactées par la piétonnisation des voies sur berges Rive droite, notamment au niveau des entrées et sorties à l'est et à l'ouest de Paris. Ce domaine est caractérisé par une très forte densité d'axes routiers, représentés en vert sur la Figure 1.

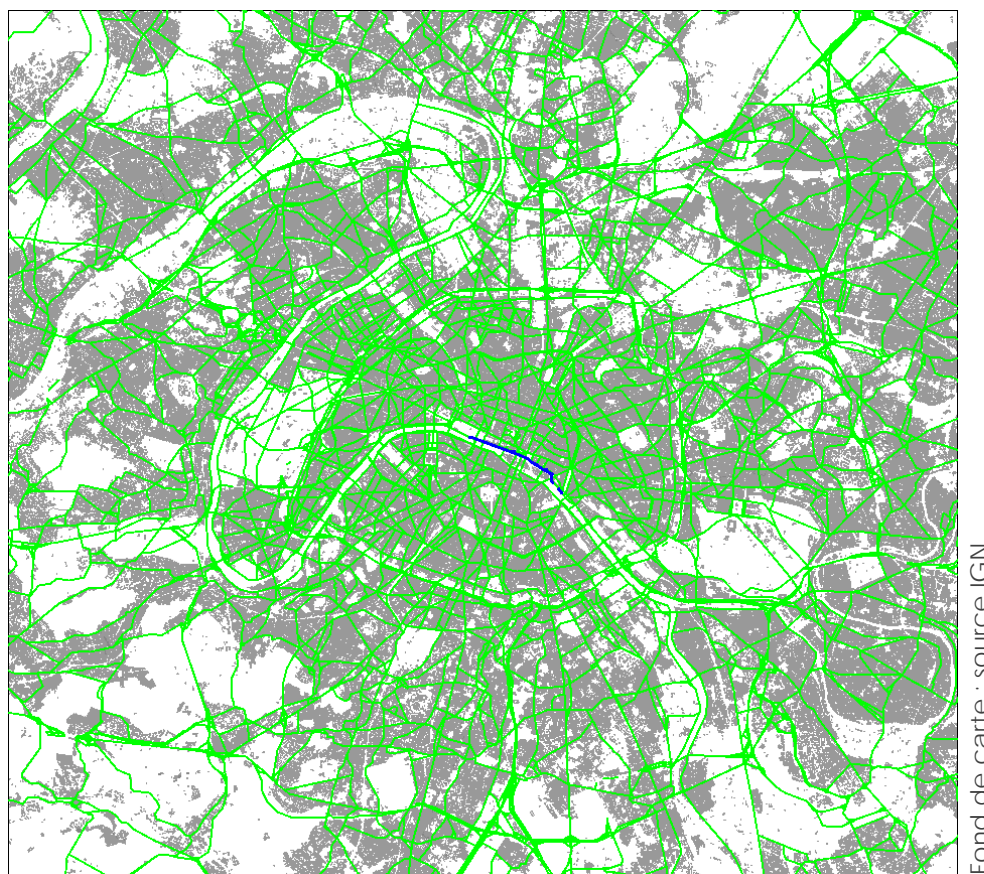


Figure 1 : Domaine d'étude et réseau routier modélisé.

La portion de la voie Georges Pompidou piétonnisée sur la rive droite apparaît en bleu sur la carte. Elle représente un pourcentage très faible (0,16%) du kilométrage annuel parcouru en Ile-de-France. De ce fait, l'impact de la piétonnisation des voies sur berges sera principalement perceptible aux abords du trafic routier impacté par la fermeture. La présente étude porte donc essentiellement sur le suivi de l'évolution des niveaux de pollution à proximité immédiate des axes routiers, les sites de fond servant de référence.

A savoir :

- 77,7 milliards de km sont parcourus chaque année en Ile-de-France
- 122 millions de km ont été parcourus sur les voies sur berges en 2015, soit 0,16 % du kilométrage annuel francilien

Le « niveau de fond » est le niveau de pollution mesuré hors de l'influence directe des sources de pollution. Il représente une ambiance générale de la pollution urbaine d'un secteur à laquelle toute la population est, a minima, exposée. Ce niveau est mesuré sur des sites implantés suffisamment loin des sources locales identifiées, comme les axes routiers ou les grandes sources industrielles, pour ne pas être directement influencés par ces dernières. Le niveau de fond représente une référence basse des niveaux de pollution rencontrés, pour un secteur donné.

A ce niveau de fond, se rajoutent localement, dans les zones situées sous l'influence directe des sources d'émission, les concentrations engendrées spécifiquement par ces différents émetteurs. Ainsi, à proximité immédiate des axes routiers, les niveaux de pollution sont sensiblement plus élevés que le niveau de fond, et décroissent au fur et à mesure de l'éloignement de l'axe pour retrouver la valeur du fond. L'étendue et la forme de la zone d'influence dépendent du type, de l'importance de la source d'émission considérée et de l'environnement.

2.2 DES POLLUANTS D'INTERET A PROXIMITE DU TRAFIC ROUTIER

Les polluants mesurés sont des traceurs du trafic routier, même s'ils sont également émis par d'autres sources :

- Oxydes d'azote (NO et NO₂), dont la source principale est le trafic routier. Les oxydes d'azote proviennent également des installations fixes de combustions, que ce soit le chauffage résidentiel ou des sources de combustion industrielles ;
- Particules PM₁₀ et PM_{2,5}, dans l'air générées par le trafic routier, le chauffage résidentiel, les chantiers et certaines activités industrielles ;
- Benzène, composé organique volatil cancérigène émis par le trafic routier (en particulier les motorisations essence), lieux de stockage et de distribution de carburant et quelques activités industrielles.

Les oxydes d'azote (NO_x) sont majoritairement définis sous deux formes chimiques, à savoir le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Le monoxyde d'azote est dit « primaire » car il est émis directement par les différentes sources d'émissions de NO_x. Le NO₂ est en partie émis directement, mais il est également formé par l'oxydation du monoxyde d'azote par d'autres oxydants de l'air. Ce polluant est réglementé aux niveaux national et européen pour ses effets reconnus sur la santé humaine. Il présente actuellement des niveaux problématiques en Île-de-France notamment dans l'agglomération parisienne vis-à-vis des valeurs limites.

Les émissions d'oxydes d'azote apparaissent dans toutes les combustions, à hautes températures, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...). Les principaux secteurs d'émission² sont le trafic routier, qui contribue pour 56 % aux émissions régionales de NO_x et le secteur résidentiel et tertiaire (y compris chauffage urbain) pour 18 %. Le secteur industriel contribue pour 5 % aux émissions de NO_x régionales. Le monoxyde d'azote (NO) rejeté par les pots d'échappement est oxydé par l'ozone et se transforme en dioxyde d'azote (NO₂). Les oxydes d'azote représentent aujourd'hui le principal indicateur de la pollution liée aux transports.

² Airparif - Inventaire régional des émissions en Ile-de-France – Année de référence 2012 – Mai 2016

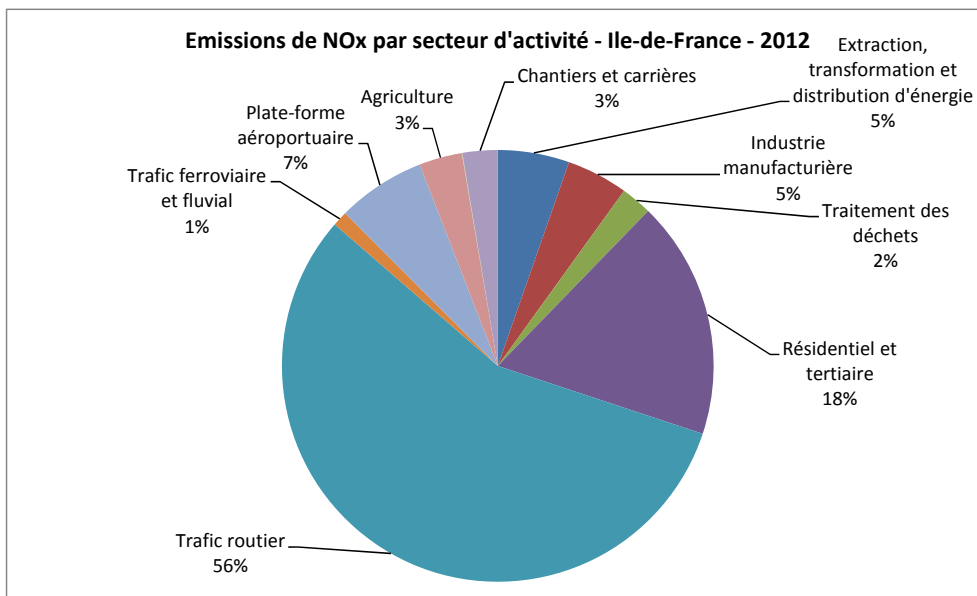


Figure 2 : Contribution par secteurs aux émissions de NOx (en équivalent NO₂) en Ile-de-France pour l'année 2012

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5} représentent les particules dont le diamètre est inférieur respectivement à 10 µm et 2.5 µm, ce qui correspond aux particules inhalables. Elles ne constituent pas une espèce chimique unique. Il s'agit d'un mélange complexe de composés chimiques en suspension dans l'air, dont les origines sont diverses. Les particules peuvent être émises directement par les sources d'émission. Les principaux secteurs d'émission¹ des particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀) primaires sont le trafic routier (28 %), le secteur résidentiel et tertiaire (26 %) et les chantiers et carrières (18 %). Mais elles peuvent également être formées par transformation chimiques de précurseurs gazeux tels que les oxydes d'azote, l'ammoniac et les COV (particules secondaires). Enfin, elles peuvent être issues de transports à longue distance ou de phénomènes de remise en suspension sous l'action du vent ou du trafic routier.

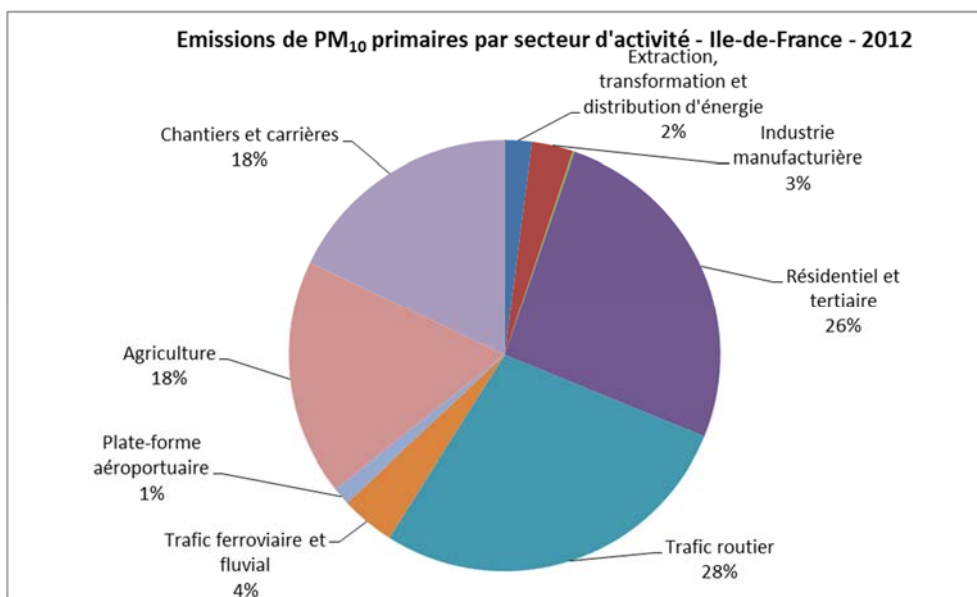


Figure 3 : Contribution par secteurs aux émissions de particules PM₁₀ en Ile-de-France pour l'année 2012

Le benzène appartient à la famille des Composés Organiques Volatils, qui représente des centaines de composés individuels. Il est contenu dans l'essence, bien que les teneurs aient été fortement limitées depuis 2000. De par ses effets cancérigènes, ce polluant est réglementé au niveau national et européen. Les composés organiques volatils sont émis majoritairement par l'industrie manufacturière (24 %), le reste des émissions provenant du secteur résidentiel et tertiaire (30 %)

(notamment de l'utilisation domestique de solvant), du trafic routier (14 %) et des émissions naturelles (18 %).

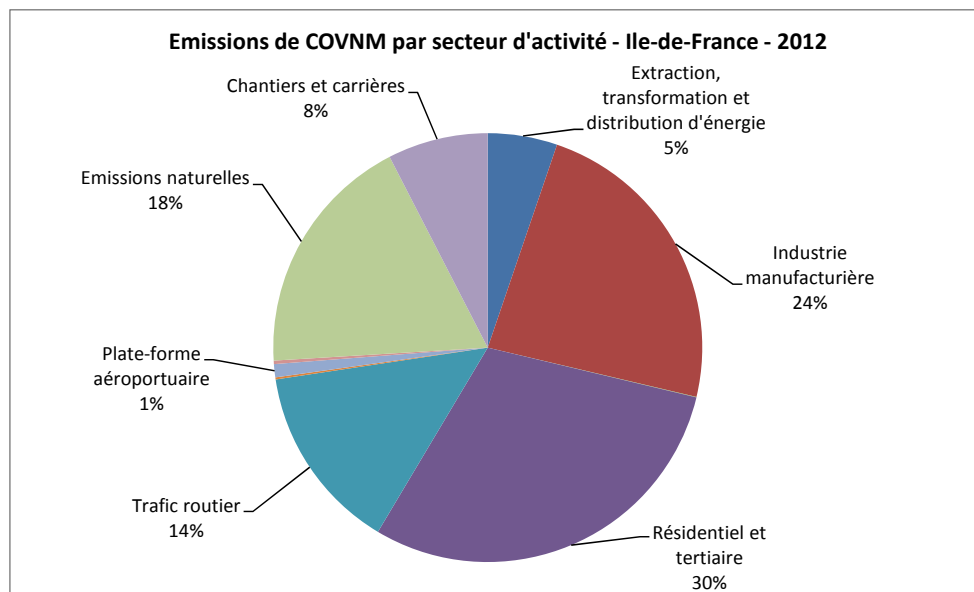


Figure 4 : Contribution par secteur aux émissions de COVNM en Ile-de-France pour l'année 2012

2.3 UNE METHODOLOGIE COUPLANT MESURES ET MODELISATION

Compte-tenu de la taille du domaine d'étude, le diagnostic est établi au moyen de trois outils complémentaires : le réseau de mesure des stations automatiques, des campagnes de mesures, et des outils de cartographie.

Compte-tenu de la densité et de la diversité du réseau routier dans la zone d'étude, le suivi de la qualité de l'air après la fermeture des voies sur berges nécessite une documentation fine des niveaux. Le dispositif de surveillance permanent d'Airparif est prévu pour assurer la surveillance réglementaire et pour fournir des niveaux des polluants atmosphériques réglementés en tout point de l'Ile-de-France. Il n'est en revanche pas dimensionné pour assurer un suivi aussi fin sur une zone très spécifique. L'implantation des stations de mesure permanentes et les polluants mesurés sont choisis de façon à documenter de manière représentative la qualité de l'air de l'ensemble de l'Ile-de-France. Ce choix résulte d'un compromis entre la couverture géographique du réseau, les contraintes réglementaires, logistiques et budgétaires, tout en prenant en compte les problématiques régionales propres à chaque polluant. La station permanente d'Airparif située Quai des Célestins et mesurant les oxydes d'azote, peut fournir des éléments de comparaison avant et après fermeture des voies. Etant implantée à la fin de la zone concernée par la piétonnisation, elle n'est cependant pas représentative de l'ensemble de la zone d'étude.

Les mesures ponctuelles permettent de décrire finement les concentrations, avec une incertitude réduite, et de valider la qualité des outils de cartographie.

La modélisation permet de documenter les niveaux sur l'ensemble du domaine d'étude. Une modélisation fine des concentrations de dioxyde d'azote sur la durée de la campagne a été réalisée sur l'ensemble des axes du domaine. La comparaison entre les sorties de modélisation et les résultats de la campagne de mesure permettent de diminuer les incertitudes sur les résultats de simulation. **Dès lors que les outils de cartographie reproduisent fidèlement les variations spatiales et temporelles de la qualité de l'air, il est possible de comparer les situations avant et après fermeture des voies sur berges à météorologie constante (trafic 2016 + météorologie 2017 versus trafic 2017 + météorologie 2017).**

3. CAMPAGNE DE MESURE ESTIVALE 2017

3.1 LES MOYENS MIS EN ŒUVRE

3.1.1. DES MOYENS DE MESURE RENFORCES

La campagne de mesure, complémentaire à la phase de modélisation, consiste à instrumenter des sites de mesure d'échantillonneurs passifs et de sites automatiques. Les échantillonneurs passifs permettent de renseigner finement la répartition spatiale en multipliant les points de mesure. Les sites automatiques permettent de suivre les concentrations horaires et d'en déduire l'évolution temporelle (au cours de la journée) de l'impact du trafic routier. En complément, des mini-stations expérimentales ont été implantées pour tester ce nouveau matériel en situation réelle.

Ces équipements ont été complétés par du matériel mis en œuvre par le Service Parisien de Santé Environnementale (SPSE) en favorisant une synergie tant au niveau des espèces mesurées que du périmètre géographique investigué. Cette collaboration avec le SPSE concerne à la fois la mise en place et l'analyse chimique des tubes à diffusion et la mise en œuvre des moyens mobiles temporaires.

A) DES ECHANTILLONNEURS PASSIFS POUR UNE FINE RESOLUTION SPATIALE

Compte-tenu du nombre important de points de mesure nécessaires à la réalisation des objectifs de l'étude, notamment la cartographie des niveaux de pollution sur l'ensemble du domaine, les mesures ont été essentiellement réalisées au moyen de tubes à diffusion (échantillonneurs passifs).

Leur facilité de mise en œuvre, leur faible encombrement et leur coût modéré permettent d'instrumenter simultanément un grand nombre de points de mesure dans l'objectif de décrire finement la variabilité spatiale des niveaux de **dioxyde d'azote (NO₂) et de benzène (C₆H₆)** au sein de la zone d'étude. Pour des raisons métrologiques, la mesure des particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) n'est pas possible par ce type de dispositifs.

Le principe de fonctionnement consiste à piéger, par diffusion passive, le polluant recherché sur un support (le tube) contenant un réactif chimique spécifique de ce polluant. Les tubes sont fixés dans des abris de protection (cf. Figure 2). Ces abris, eux-mêmes fixés sur des supports dans l'environnement (poteau, candélabre...) à environ 3 mètres du sol, permettent de protéger l'échantillonneur de l'action directe du vent, du soleil et de la pluie, optimisant ainsi les conditions de mesure. Les tubes sont ainsi exposés à l'air ambiant pendant une semaine, puis sont ensuite acheminés en laboratoire de chimie pour être analysés afin de déterminer la concentration moyenne de polluant dans l'air ambiant au cours de la période d'exposition.

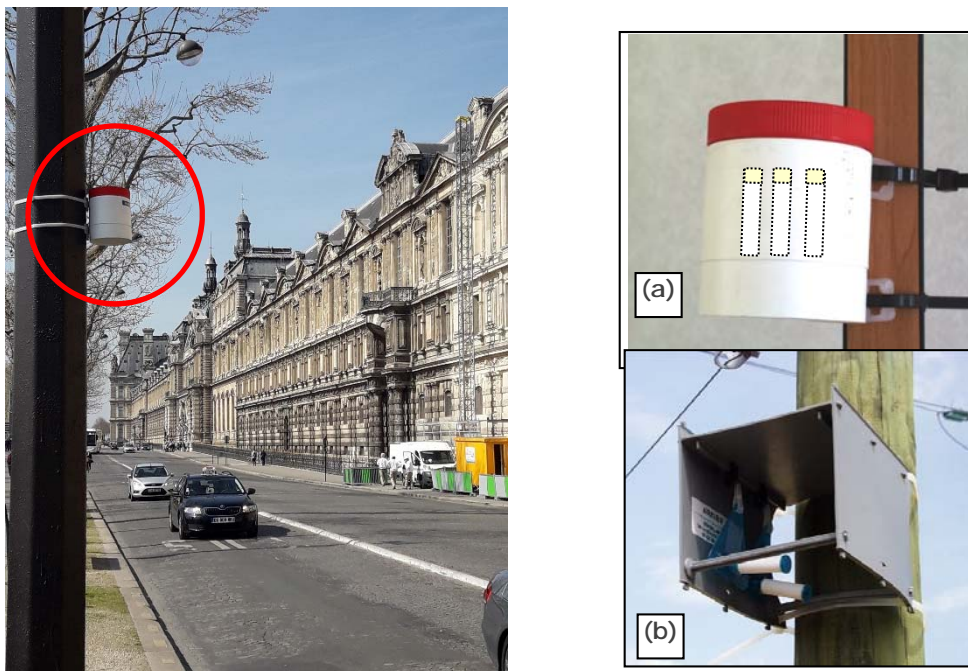


Figure 5 : Tubes à diffusion installés sur un candélabre et détail des abris pour tubes NO₂ (a) et benzène (b)

Au total, 91 sites de mesure ont été instrumentés d'échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote³ et 38 pour le benzène⁴. Les analyses des tubes ont été réparties entre le laboratoire de chimie d'Airparif et celui du SPSE. Afin de s'assurer de la bonne comparaison des résultats issus des deux laboratoires, une intercomparaison a été organisée avant la campagne de mesure. En cours de campagne, des tubes ont également été analysés en doublon.

B) DES SITES AUTOMATIQUES POUR UNE FINESSE TEMPORELLE

Les mesures automatiques permettent de caractériser finement les variations temporelles des concentrations, les mesurant et fournissant en continu des données horaires.

L'évaluation s'appuie d'une part sur le réseau de mesure permanent d'Airparif, dont la station trafic implantée Quai des Célestins. Le réseau de mesure permet une validation du comportement temporel du modèle. L'analyse des données sur les stations du réseau de mesure au regard des tendances à moyen terme permet également de déterminer si un comportement particulier est observé sur la zone d'étude après la piétonnisation des voies sur berges. Dans le domaine d'étude, sont également présentes de nombreuses stations de fond, qui permettent de différencier l'impact des axes routiers.

En complément, trois laboratoires temporaires (deux du SPSE et un d'Airparif) ont été déployés au cœur de la zone d'étude, afin de suivre en continu les concentrations horaires en oxydes d'azote (le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote individuellement) et en particules (PM₁₀). Un des sites automatiques a également assuré le suivi des particules fines (PM_{2,5}).

³ Les tubes passifs de dioxyde d'azote sont fournis par la société suisse PASSAM AG. Ils sont analysés par le laboratoire de chimie d'Airparif et le SPSE selon la méthode de spectrophotométrie d'absorption dans le visible.

⁴ Les tubes passifs de benzène sont fournis par la société SIGMA ALDRICH. Ils sont analysés par désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse et détecteur FID (par Airparif) ou spectrométrie de masse (par le SPSE). Les deux laboratoires sont accrédités ISO/CEI 17025 pour la mesure du benzène.

Un laboratoire de mesure temporaire se présente sous forme d'analyseurs automatiques installés dans un véhicule ou une armoire climatisée (cf. Figure 6). Le fonctionnement d'un véhicule laboratoire est identique à celui de l'ensemble des stations permanentes du réseau permanent d'Airparif et implique des contraintes techniques lourdes : accès et connexion aux lignes électriques et téléphoniques ainsi que la maintenance régulière des analyseurs.



(a) Analyseurs automatiques



(b) Laboratoire temporaire implanté Quai des Tuileries – François Mitterrand

Figure 6 : Laboratoire temporaire dans lequel sont installés les analyseurs automatiques.

Les méthodes de mesure utilisées sont les suivantes :

- ❑ NO_x : chimiluminescence, conformément à la norme NF EN 14211,
- ❑ PM₁₀ et PM_{2,5} : micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) option FDMS appelés aussi TEOM-FDMS, en prenant en compte la norme NF EN 12341

Contrairement aux mesures effectuées par tubes à diffusion passive, qui délivrent une valeur de concentration moyennée sur 7 jours, les analyseurs automatiques permettent la mesure des polluants heure par heure. Cette finesse temporelle permet d'étudier, d'une part, l'évolution temporelle de la pollution tout au long de la journée, et d'autre part, le comportement des niveaux des polluants suivis en fonction de la provenance des vents. L'impact potentiel de sources locales d'émissions telles que des axes routiers peut ainsi être identifié en couplant les résultats horaires des polluants et les paramètres météorologiques.

C) DES STATIONS EXPERIMENTALES

Il n'existe pas de système par tube passif permettant de mesurer les particules et de faire un plan d'échantillonnage dense pour ce polluant. Des mini-stations se développent actuellement. Elles ont un coût moindre que les laboratoires temporaires mais une qualité de mesure moindre. Airparif en a testé plusieurs en laboratoire de métrologie au cours des dernières années et les résultats de ces tests semblent prometteurs.

Aussi, des mini-stations mesurant les particules ont été déployées sur la zone d'étude. Bien qu'il ne soit pas possible de garantir une totale fiabilité des résultats, il est intéressant de tester la capacité de ces matériels à compléter les données des appareils automatiques en fournissant, via le déploiement en nombre suffisant, une information sur la variabilité spatiale et temporelle des niveaux.

Au total, une quarantaine de mini-stations de différents types mesurant les PM₁₀/PM_{2,5} et le NO₂ ont été implantées sur la zone d'étude.

Les résultats des mini-stations sont généralement assez reproductibles entre eux. En revanche, les résultats ne sont généralement pas directement comparables aux méthodes de mesure officielles (préconisées par les directives européennes et le code de l'environnement), en particulier pour les PM₁₀, et nécessitent un traitement statistique avant diffusion. Ce travail a été réalisé sur la période de la campagne estivale et présenté dans ce rapport.

3.1.2. DES SITES DE MESURE AU PLUS PRES DES AXES ROUTIERS

Le plan d'échantillonnage, validé par les différents comités de suivi, est représenté sur la Figure 7 pour le NO₂ et en annexe 1 pour le benzène.

Ils ont été élaborés de façon à caractériser les niveaux de pollution :

- le long de la voie Georges Pompidou, à la fois sur les quais haut et les quais bas, de façon à évaluer les variations spatiales sur l'axe directement impacté par la fermeture. Sur la zone centrale de la fermeture, les tubes à diffusion ont été implantés tous les 300 mètres. Deux laboratoires temporaires ont également été mis en place le long de cette voie, l'un au niveau du quai des Tuileries/François Mitterrand, et le second Quai de Gesvres
- sur les principales voies potentiellement impactées par des modifications de trafic (report ou diminution de circulation). Il s'agit en particulier des principales voies possibles de report, dont le boulevard Saint-Germain, où un troisième laboratoire temporaire a été instrumenté, ainsi que les axes situés en petite couronne en entrée et sortie à l'Est et à l'Ouest de Paris ;
- sur des axes de référence implantés sur une zone plus large dans le périmètre parisien ou dans les villes avoisinantes.

Conformément aux préconisations européennes, les sites trafic ont été implantés au plus près du trafic routier, à moins de 10 mètres des premières voies de circulation. A partir des Tuileries, les mini-stations et les laboratoires temporaires ont été implantés côté Seine et non côté façade, pour des raisons de raccordement électrique. Les tubes passifs ont été implantés aux mêmes emplacements. Sur cette zone, une voie de bus est présente entre les points de surveillance et le trafic routier direct. Les tubes à diffusion sont donc implantés à environ 3 mètres des voies de circulation. Quelques tubes à diffusion ont été implantés côté façade afin d'estimer les différences de niveau entre la façade et le côté Seine et évaluer la représentativité de ces résultats.

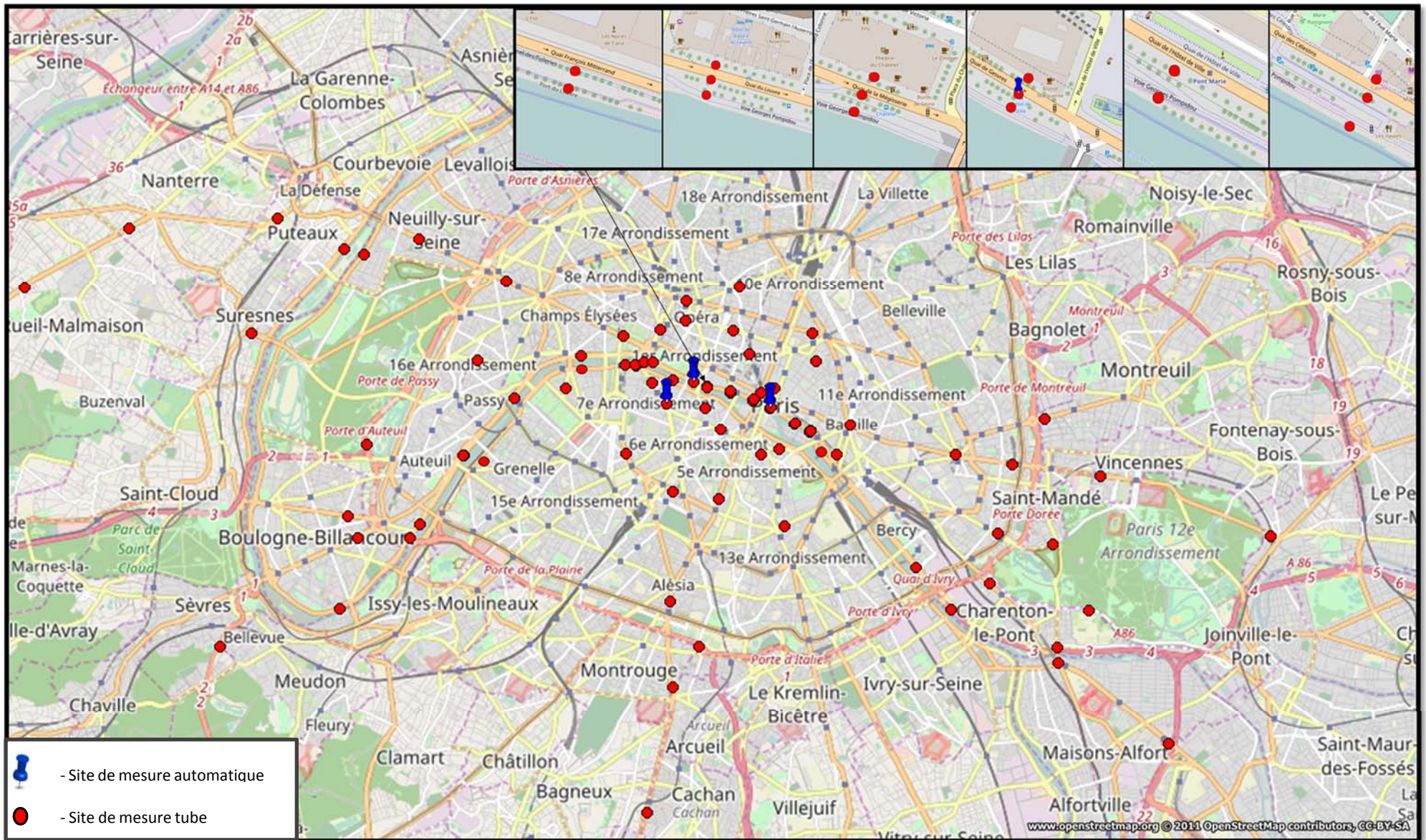


Figure 7 : plan d'échantillonnage de la campagne de mesure estivale

3.1.3. DUREE DES MESURES

Afin de tenir compte de l'évolution éventuelle des usages de la route dans le temps, les campagnes de mesure intensives sont réalisées sur deux périodes de mesure de 4 semaines, l'une en hiver, du 15 novembre au 13 décembre 2016⁵, et la suivante du 30 mai au 27 juin 2017, objet du présent rapport.

Chaque volet de la campagne permet de documenter des situations météorologiques variées, notamment en matière de pluviométrie et de directions de vent. Ces campagnes permettent de quantifier les niveaux des différents polluants mentionnés précédemment au regard des niveaux mesurés dans l'agglomération parisienne sur le réseau permanent d'Airparif et de la réglementation.

Entre les périodes de mesure intensives, Airparif dispose des éléments fournis par les stations de mesure du réseau permanent. Le laboratoire temporaire situé aux Tuileries-Quai François Mitterrand, est maintenu entre les deux campagnes de mesure. Par ailleurs, les cartographies haute résolution permettent de suivre l'évolution, heure par heure, des niveaux de pollution en tout point de l'agglomération.

3.2 LES CONCENTRATIONS OBSERVEES PENDANT LA CAMPAGNE

3.2.1. CONTEXTE METEOROLOGIQUE

Une appréciation des conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes de mesure permet de mieux appréhender leur influence sur les niveaux de pollution atmosphérique observés. En effet, les conditions météorologiques jouent un rôle très important de dispersion ou d'accumulation des polluants atmosphériques émis. Plus les conditions sont dispersives, plus les niveaux observés sont faibles.

Ces conditions de stabilité ou de dispersion peuvent être définies par un ou plusieurs paramètres météorologiques, comme la hauteur de la couche de mélange, les inversions de température ou la vitesse du vent. Tandis que les deux premiers peuvent contribuer à l'accumulation de la pollution et permettent d'évaluer la stabilité « verticale » de l'atmosphère, la vitesse de vent peut être considérée comme représentative de la dispersion « horizontale ». Ainsi les conditions les plus défavorables à la dispersion de la pollution atmosphérique se rencontrent lorsque les vitesses de vent sont nulles ou très faibles (0 à 2 m/s).

En période hivernale, à ces éléments de dispersion peuvent s'ajouter des facteurs aggravants, tel que de basses températures, qui induisent un recours plus important au chauffage domestique, ainsi que des émissions plus importantes du trafic routier. En période estivale, un fort ensoleillement et une température élevée favorisent la transformation photochimique des émissions de NOx et de Composés Organiques Volatils en ozone.

⁵ Rapport intermédiaire n°1 – Campagne hivernale, disponible sur le site : http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapport_intermediaire_VoiesSurBerge.pdf

A) DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES CONTRASTEES

La campagne de mesure estivale a été marquée par des conditions météorologiques assez contrastées⁶.

Le début de la campagne est marqué par des conditions météorologiques perturbées et plutôt favorables à la dispersion des polluants : le vent est souvent soutenu, avec de fortes rafales et des perturbations traversent la région.

Dès la deuxième semaine (à partir du 10 juin), des conditions anticycloniques, avec un fort ensoleillement, s'installent et persistent jusqu'au 25 juin. Durant cette période, les températures sont très élevées pour la saison et placent ce mois de juin comme l'un des plus chauds depuis 1900 (3 degrés au-dessus de la normale). En effet, à partir du 19 juin, les maximales sont supérieures à 30°C sur l'ensemble de la région parisienne pour atteindre le 21 juin des valeurs comprises entre 35°C et 38° C. Les températures resteront supérieures aux normales saisonnières jusqu'au 23 juin.

La dernière semaine de mesure a bénéficié d'un retour de températures plus clémentes avec l'arrivée en milieu de semaine d'une perturbation orageuse très active.

Les secteurs de vent ont été très contrastés au cours de la campagne.

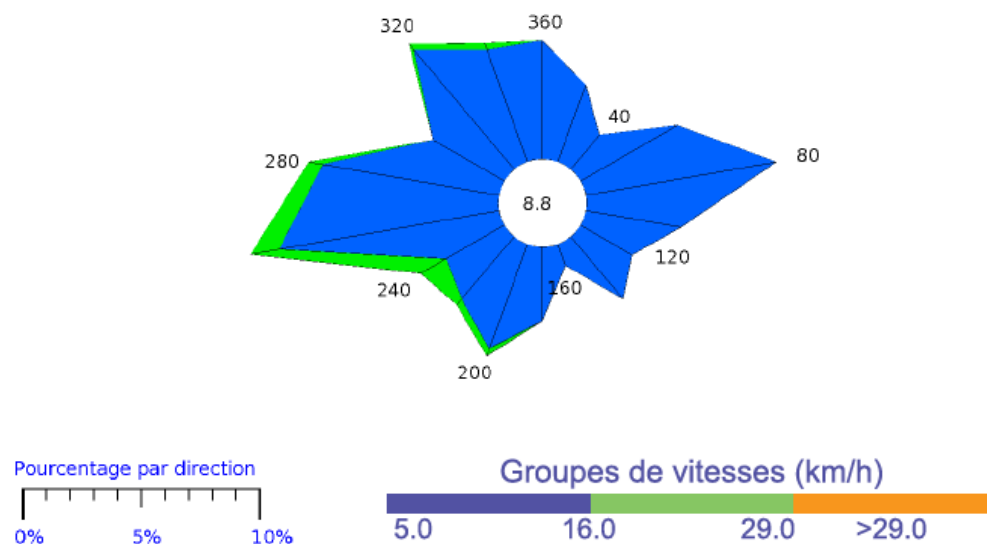


Figure 8 : pourcentage de répartition des secteurs de vent en juin 2017 à la station Paris-Montsouris (Source : Météo-France)

⁶ Source : Météo-France (Bulletins météorologiques régionaux de juin 2017)

B) UN EPISODE DE POLLUTION A L'OZONE DURANT LA CAMPAGNE ESTIVALE

Ces conditions météorologiques contrastées ont eu un fort impact sur les niveaux de pollution mesurés.

Les conditions anticycloniques avec fort ensoleillement sont très propices à la formation d'ozone. Ce polluant secondaire est en effet formé par réaction photochimique entre les gaz précurseurs présents dans l'atmosphère (oxydes d'azote et Composés Organiques Volatils), sous l'action du rayonnement solaire. De ce fait, un épisode de pollution à l'ozone a été enregistré en Ile-de-France, avec 4 dépassements successifs du seuil d'information et de recommandations du 19 au 22 juin 2017.

A proximité du trafic routier, les concentrations en monoxyde d'azote (NO) sont très importantes. Ce polluant réagit avec l'ozone pour former du dioxyde d'azote. Lors des périodes photochimiques, ce phénomène peut conduire à des concentrations très élevées de NO₂ sur les stations trafic du réseau de mesure. Au cours de la troisième semaine, les concentrations en NO₂ ont ainsi atteint 268 µg/m³ sur la station du Boulevard Périphérique – Porte d'Auteuil. Dans ces conditions particulières, il est très difficile d'évaluer l'impact des modifications du trafic routier.

3.2.2. NIVEAUX DE POLLUTION MESURES PENDANT LA CAMPAGNE

A) DES NIVEAUX ELEVES SUR LES AXES MAJEURS ET EN SITUATION CONGESTIONNEE

La Figure 9 présente les **concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂)** au cours de la campagne estivale mesurées sur les 91 points de mesure déployés du 30 mai au 27 juin 2017. Le détail des résultats pour chacune des séries est disponible en annexe 2.

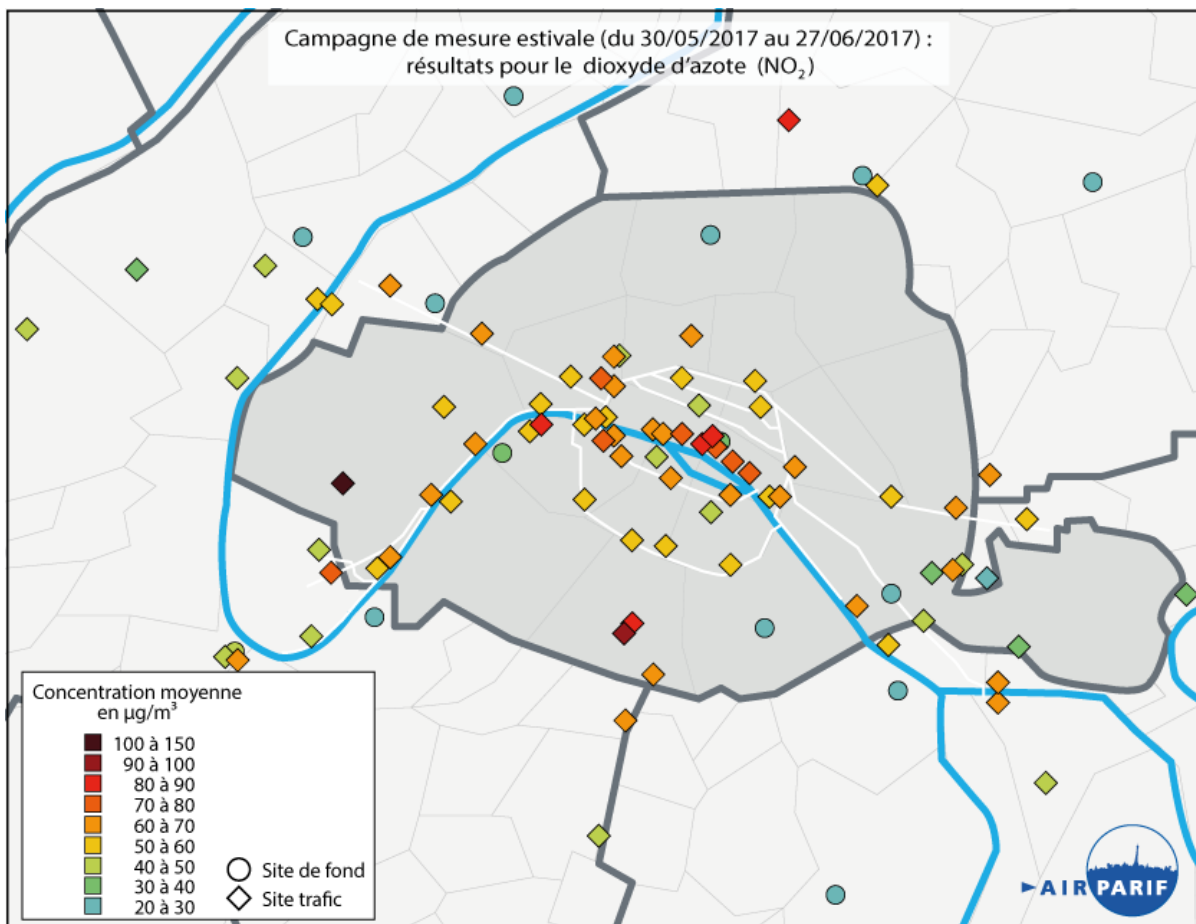


Figure 9 : concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂) du 30/05 au 27/06/2017

Durant cette campagne, en situation de fond, et sur les axes bordant le bois de Vincennes, les résultats sont globalement plus faibles qu'au cours de la campagne hivernale avec des concentrations comprises entre 30 et 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A proximité du trafic routier, les résultats sont proches des résultats hivernaux. L'écart entre les concentrations de fond et de proximité au trafic routier est plus important que lors de la campagne hivernale, du fait de la forte concentration en ozone, qui favorise la formation de NO_2 au droit des axes routiers (voir paragraphe 3.2.1).

Les concentrations de dioxyde d'azote (NO_2) les plus fortes, comprises entre 90 et 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont relevées sur les grandes voies de circulation (autoroute A1, Boulevard Périphérique...). La valeur maximale estivale est mesurée en bordure du périphérique au niveau de la Porte d'Auteuil. Le point de la commune de Sèvres, qui présentait des résultats très élevés en décembre, présente sur cette campagne des résultats plus modérés, de l'ordre de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le long des quais de Seine, les valeurs les plus fortes, de l'ordre de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont toujours mesurées au niveau des Quais du Louvre et de la Mégisserie. Elles sont comparables aux niveaux mesurés sur les stations permanentes de la place Victor Basch (Carrefour d'Alésia, Paris 14^{ème}) et Place de l'Opéra. Sur le reste des quais, les concentrations varient entre 60 et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, comme sur les autres axes principaux parisiens ainsi que sur les axes majeurs situés en entrée et sortie de Paris. Sur les axes secondaires, les niveaux sont légèrement inférieurs, entre 50 et 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figure 10 représente les concentrations en dioxyde d'azote mesurées tout le long des voies de circulation qui longent la rive droite de la Seine d'Ouest en Est, depuis le quai de Stalingrad jusqu'au Quai de Bercy. Elle indique également le nombre de véhicules moyen par heure et le taux d'occupation (source : OpenData Ville de Paris). Le taux d'occupation correspond au temps de présence de véhicules sur la boucle en pourcentage d'un intervalle de temps fixe (une heure pour les données fournies). Ainsi, 25% de taux d'occupation sur une heure signifie que des véhicules ont été présents sur la boucle pendant 15 minutes. Ce taux fournit une information sur la congestion routière.



Figure 10 : concentrations moyennes en NO₂ le long des voies de circulation qui longent la Rive Droite de la Seine du 30 mai au 27 juin 2017 (Source données de trafic : Ville de Paris)

La Figure 10 montre une variabilité très importante des niveaux de pollution le long de la voie, qui sont compris entre 45 et 80 µg/m³. Les écarts de concentration sont plus importants que ceux observés lors de la phase hivernale, mais le profil des variations est assez similaire. Ces résultats sont comparables à ceux des stations de mesure du réseau permanent, compris entre 41 et 102 µg/m³. Ces variations sont liées essentiellement à l'évolution du nombre de véhicules sur la voie, à leur vitesse, à la fluidité du trafic et à la topographie de l'axe (largeur et nombre des voies de circulation, présence de bâtiments à gauche de l'axe ou dégagement, présence de la voie de bus...).

En effet, sur un axe donné, toutes choses égales par ailleurs, une augmentation du nombre de véhicules entraîne une augmentation de la pollution. De plus, en ville, à voirie et nombre de véhicules constants, une baisse de la vitesse entre 10 et 50 km/h entraîne une augmentation des émissions de dioxyde d'azote (illustration Figure 11 pour les véhicules Diesel).

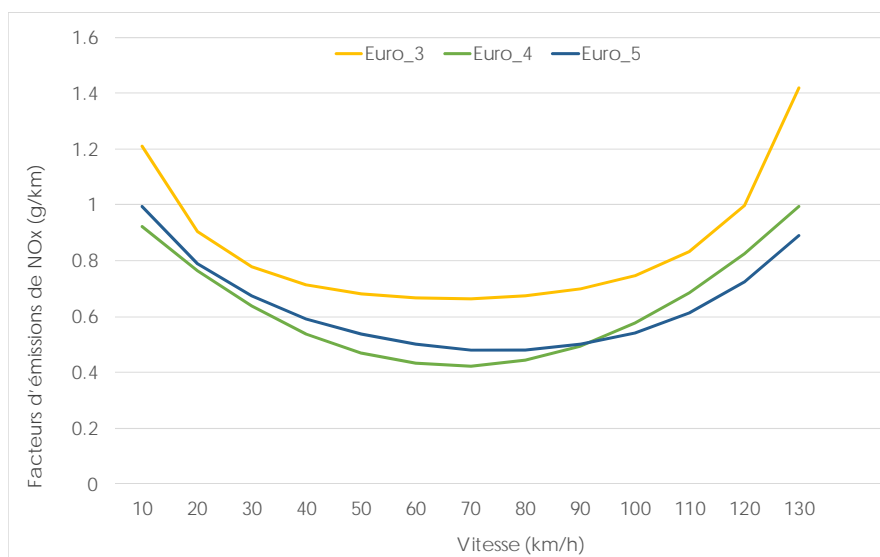


Figure 11 : variation des émissions de NOx en fonction de la vitesse pour les véhicules diesel (Source : Copert IV)

Ces mesures estivales confirment que les niveaux les plus élevés sont mesurés au niveau des Quais du Louvre et de la Mégisserie. Ils correspondent à un nombre de véhicules important (respectivement 1910 et 1837 veh/h en moyenne sur la campagne), associé à une congestion plus importante qu'en début de parcours (taux d'occupation moyen de l'ordre de 20%). Les résultats sont néanmoins plus proches des sites du Quai de Gesvres et de l'avenue de l'Hôtel de Ville qu'en décembre. Cela peut s'expliquer par le fait que le nombre de véhicules a baissé de 10% Quai du Louvres entre les deux campagnes alors qu'il est relativement stable sur ces deux sites. Les niveaux les plus faibles sont toujours relevés à l'Ouest sur la portion avant la fermeture de la voie Georges Pompidou, où le nombre de véhicules est globalement inférieur et le trafic plus fluide (taux d'occupation moyen de l'ordre de 5%).

Si la congestion et le nombre de véhicules sont des critères qui influent directement sur les niveaux mesurés, la topographie de la voie est également un facteur important. Malgré un taux de congestion et un nombre de véhicules élevés, les niveaux mesurés au début du Quai des Tuileries sont toujours plus faibles, en raison d'une configuration locale plus dégagée qui facilite une meilleure dispersion des polluants.

Les concentrations en benzène sont proches de celles de la campagne hivernale (Figure 12). Ils sont plus homogènes que ceux du dioxyde d'azote. Les sites de fond sont compris entre 1 et 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La grande majorité des concentrations relevées pendant la campagne sont comprises entre 1,5 et 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui correspond à des concentrations estivales habituelles à proximité du trafic routier dans l'agglomération parisienne. Conformément aux observations réalisées annuellement sur le réseau de mesure, les résultats les plus élevés, compris entre 2 et 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont relevés dans Paris, en raison de conditions de circulation souvent congestionnées couplées à une configuration défavorable à la dispersion des polluants (axes confinés dans le tissu urbain, effet rues « canyons »). Tous les résultats sont inférieurs au point de mesure de référence du réseau Airparif, implanté rue de Rivoli (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), qui constitue historiquement l'axe routier le plus exposé au benzène du dispositif permanent d'Airparif. Toutefois trois sites en sont très proches : Place de la Bastille, Quai de Gesvres et Quai Louis Blériot.

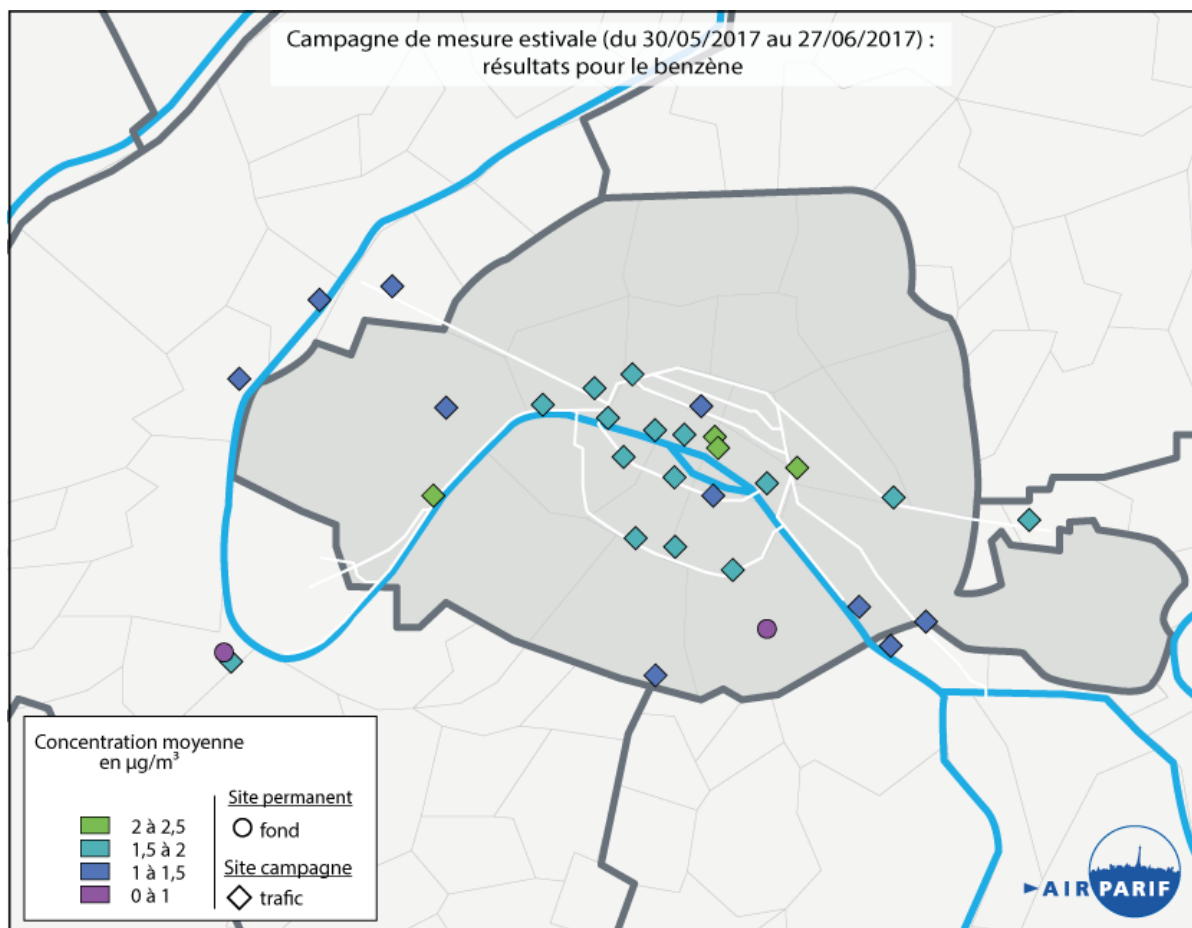


Figure 12 : concentrations moyennes en benzène du 30/05 au 27/06/2017

Les niveaux en particules PM_{10} observés au cours de la campagne sont également plus homogènes que pour le dioxyde d'azote. La même hiérarchie est observée entre les sites : parmi les 3 laboratoires mobiles mis en œuvre pendant la campagne, le site du Quai de Gesvres relève les niveaux de particules PM_{10} les plus élevés, comparables aux niveaux mesurés sur les grandes voies de circulation (Figure 13). La moyenne du Quai François Mitterrand est comparable à celle du Boulevard Haussmann. Sur le boulevard Saint-Germain, la moyenne est intermédiaire, et comparable à celle de la Place Victor Basch.

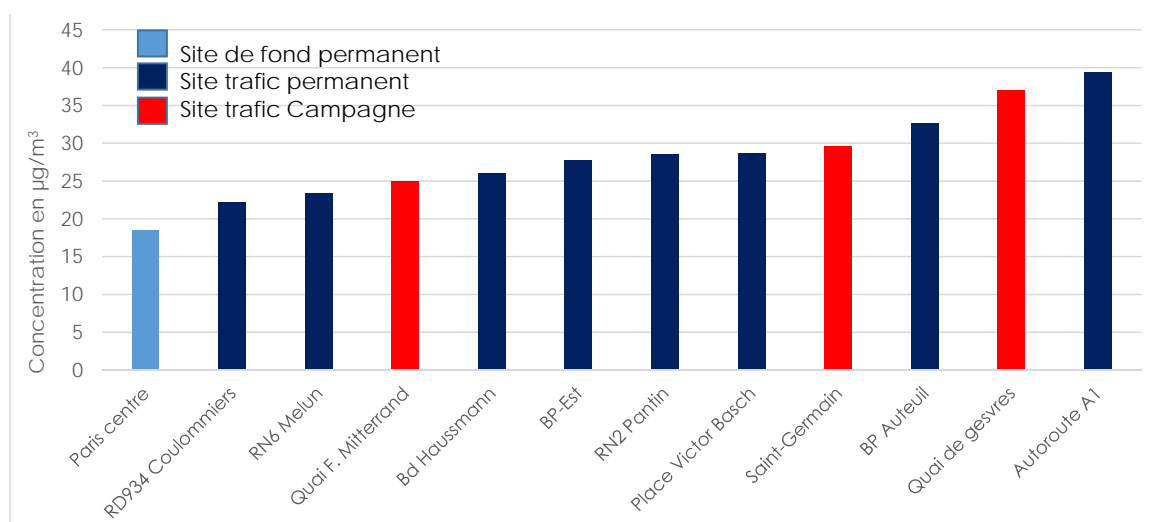


Figure 13 : Evolution des concentrations en particules PM_{10} mesurées du 30 mai au 27 juin 2017

B) UN IMPACT DIRECT DE LA PIETONNISATION SUR LES QUAIS (HAUT ET BAS)

Des points de mesure ont été implantés tous les 300 mètres le long des voies de circulation en bord de Seine, au niveau de la voie Georges Pompidou ou des quais hauts. Des points de mesures ont également été répartis sur le côté façade des bâtiments, le côté Seine du quai haut, et sur le quai bas, fermé à la circulation. La première campagne avait mis en évidence des concentrations plus faibles côté Seine que du côté de la façade (-10% en moyenne). Cette différence s'explique essentiellement par la distance au trafic routier, le trottoir côté Seine étant séparé du trafic par une voie de bus, ainsi que par des conditions plus favorables à la dispersion des polluants côté Seine. De façon prévisible, les niveaux en quai bas, fermés à la circulation, étaient -25% plus faibles que sur les quais hauts, et proches du niveau de fond.

La campagne estivale confirme ces observations, avec des différences plus importantes (Figure 14). Sur les quais hauts, les niveaux observés côté Seine sont en moyenne de -20% à -30% plus faibles que côté façade. Lors de cette campagne et du fait des phénomènes accentués par la photochimie, les niveaux mesurés côté façade sont très élevés, et sont similaires à ceux mesurés en bordure du périphérique. Au niveau des quais des Célestins, il y a très peu de différence entre les deux trottoirs. Cela s'explique par le fait que contrairement aux autres sites de mesures, le flux le plus important du trafic est situé côté Seine, et par la présence d'une piste cyclable entre le point de mesure et la première voie de circulation côté façade.

Les écarts observés entre le quai haut et le quai bas sont de -30 à -50%. Contrairement aux observations de la campagne hivernale, les niveaux relevés sur les quais bas restent sensiblement supérieurs au niveau de fond en été. Ces observations s'expliquent par une production accrue de dioxyde d'azote à proximité immédiate du trafic routier en raison des fortes concentrations d'ozone et n'est pas lié à une modification du trafic le long des voies sur berges.

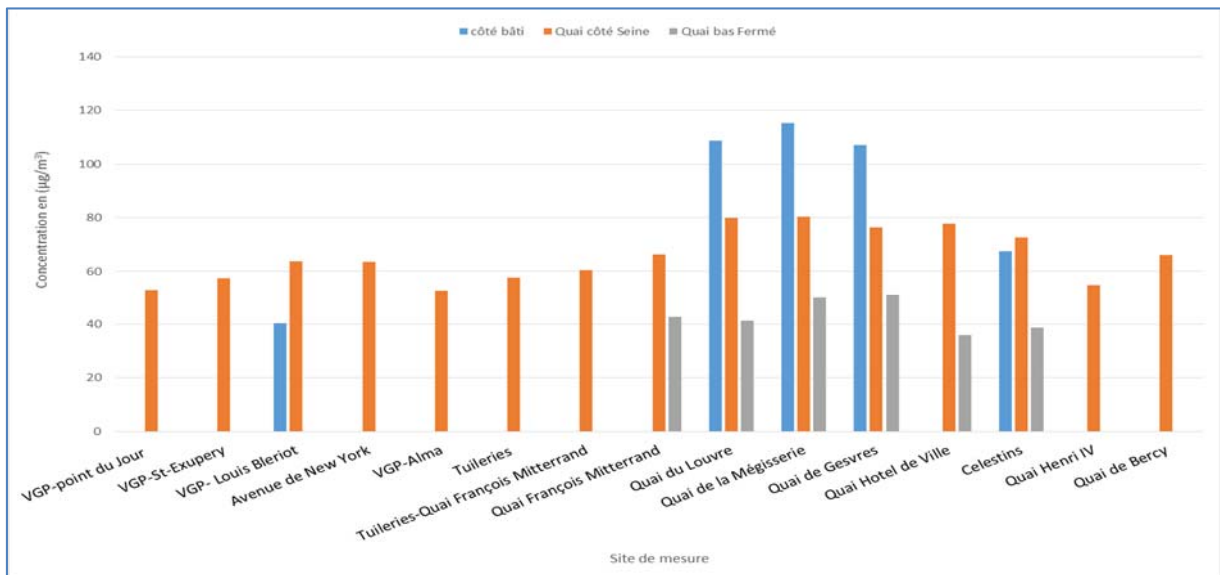


Figure 14 : Evolution des concentrations de NO₂ le long des quais « rive droite » du 30 mai au 27 juin 2017

A titre de comparaison, des mesures similaires ont été réalisées sur le début de la voie Georges Pompidou, au niveau du Quai Blériot. A cet endroit, la voie Georges Pompidou circule en quai bas. Des tubes à diffusion ont été implantés au niveau du quai haut, du côté bâti. **Dans cette configuration, les niveaux relevés en bordure du trafic routier circulant sur le quai bas sont +60% plus élevés que ceux mesurés sur le quai haut côté Seine.** Là encore, cette plus grande différence entre les points de mesure est liée à la présence de fortes concentrations d'ozone dans l'air ambiant.

Des résultats similaires sont relevés pour le benzène, avec des niveaux moyens, sur le quai bas, de l'ordre de -25% par rapport au quai haut.

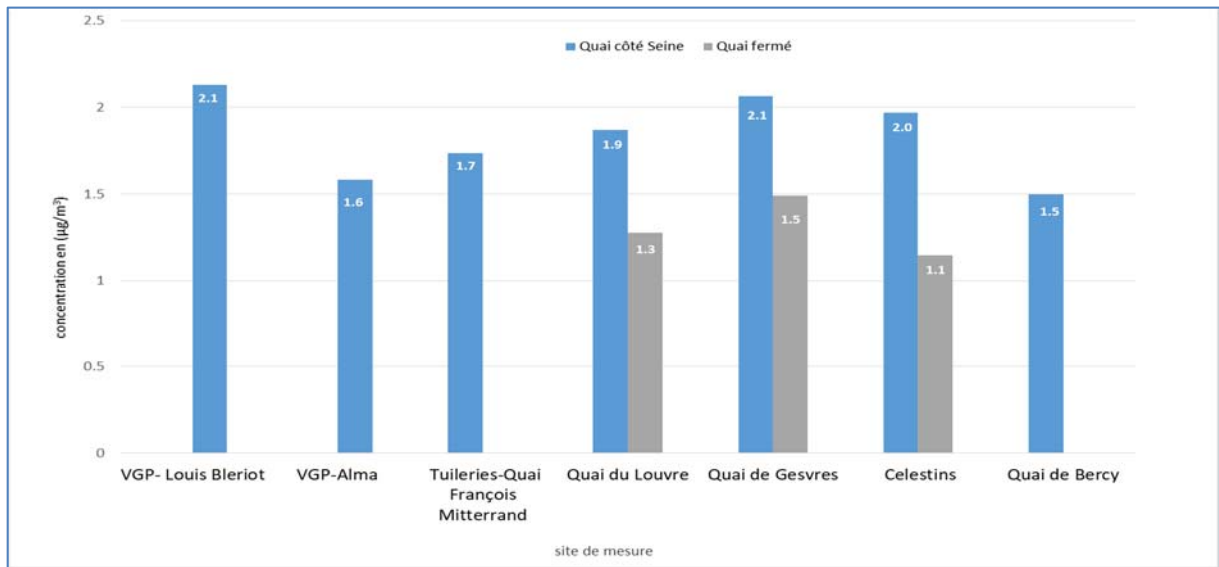


Figure 15 : Evolution des concentrations de Benzène le long des quais « rive droite »

C) L'ÉVOLUTION SUR LA JOURNÉE DE LA POLLUTION DIRECTEMENT LIÉE AU TRAFIC ROUTIER

Le laboratoire mobile mis en œuvre sur le boulevard Saint-Germain confirme que l'évolution des concentrations en NO₂ au cours de la journée est très bien corrélée à celle du nombre de véhicules, avec un indice de congestion relativement stable au cours de la journée (10 à 15%) (Figure 16). Le même phénomène est observé sur la mini-station implantée Boulevard du Montparnasse.

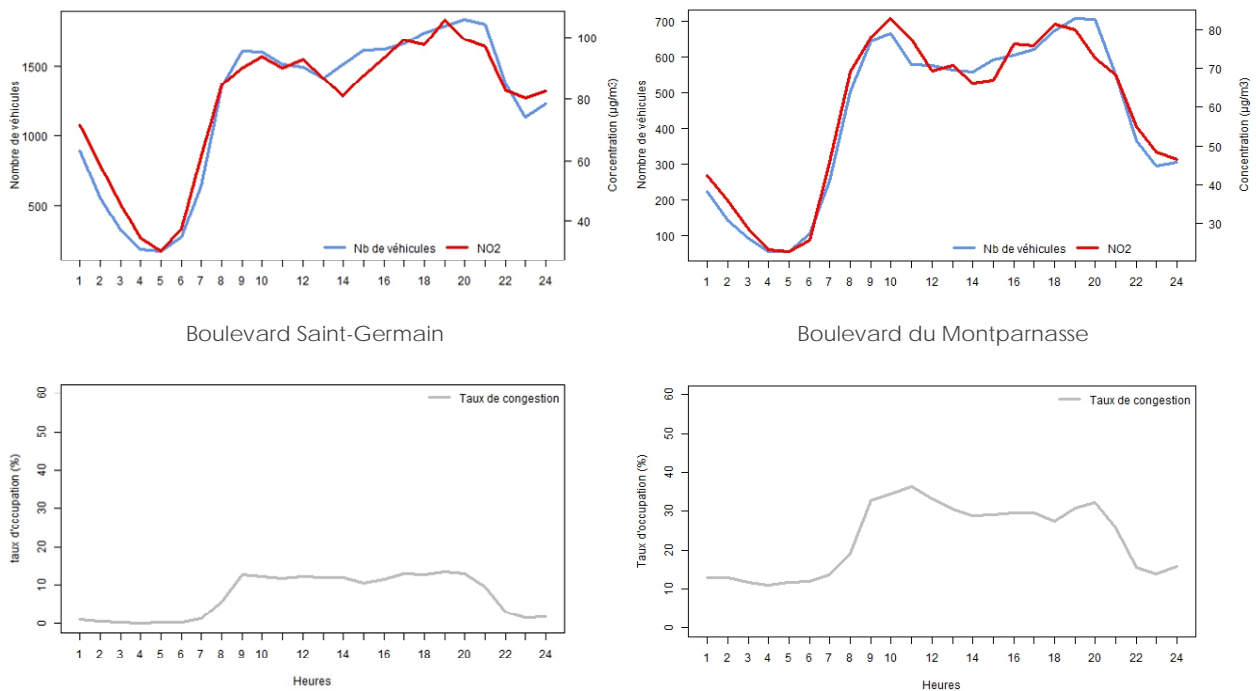


Figure 16 : Profil moyen journalier du 30 mai au 27 juin 2017: concentration en NO₂, nombre de véhicules et taux de congestion associé sur le boulevard Saint-Germain et le boulevard du Montparnasse (source : OpenData Ville de Paris).

Sur les axes présentant un pic de congestion élevé, comme le quai de Gesvres ou le Quai François Mitterrand (Figure 17), si l'augmentation des concentrations en début de matinée est bien corrélée au nombre de véhicules, l'augmentation des niveaux en fin d'après-midi est davantage liée à celle de l'indice de congestion, qui atteint 40% en début de soirée. Les niveaux nocturnes restent plus élevés qu'en hiver, du fait des réactions chimiques liées à l'ozone, qui induisent des niveaux de dioxyde d'azote élevés en fond en soirée. (Figure 17).

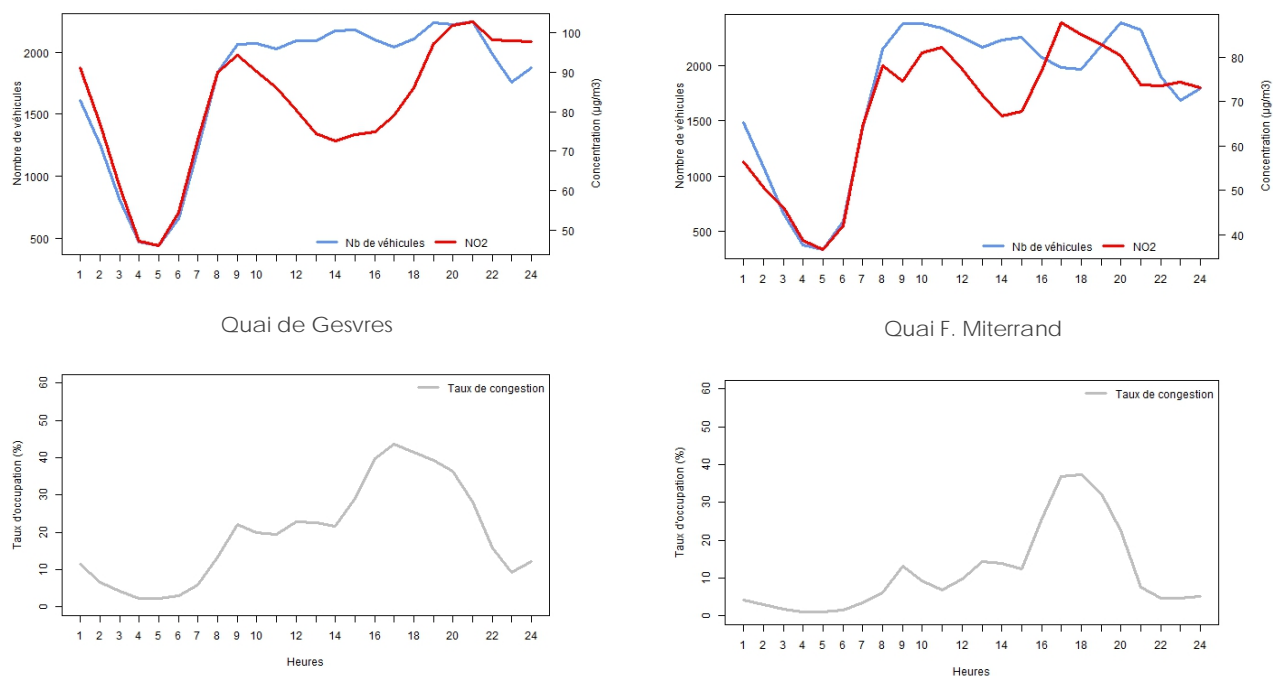


Figure 17 : Profil moyen journalier du 30 mai au 27 juin 2017: concentration en NO₂, nombre de véhicules et taux de congestion associé sur le quai de Gesvres et le Quai François Mitterrand (source : OpenData Ville de Paris).

3.2.3. LES CONCENTRATIONS EN TOUT POINT DU DOMAINE

A) CARTOGRAPHIE EN TOUT POINT DE L'ILE-DE-FRANCE

Airparif produit depuis plusieurs années des cartes de concentration à l'échelle horaire en temps quasi-réel à l'échelle de l'Île-de-France⁷. Une carte des concentrations est établie pour chaque heure pour le dioxyde d'azote, les particules PM₁₀, les particules PM_{2,5} et l'ozone avec une résolution spatiale de 12,5 m pour Paris et 25 m pour la petite couronne.

Ces cartographies sont produites⁸ pour chaque heure en utilisant les observations disponibles : données de trafic modélisées à partir des comptages en temps réel, niveaux de pollution ambiante ajustés avec les mesures de pollution,... Les données météorologiques sur l'ensemble du domaine proviennent des prévisions à court terme, réalisées la nuit précédente pour le jour à venir.

⁷ <http://www.airparif.asso.fr/indices/horair>

⁸ Ces cartographies sont réalisées à l'aide de la plateforme de modélisation régionale Esmeralda pour les niveaux de fond et du modèle de dispersion ADMS-Urban, développé par le Cambridge Environmental Research Consultant (CERC) et distribué en France par la Société Numtech.

Cette plateforme opérationnelle a été utilisée pour calculer les concentrations moyennes sur la campagne en tout point du domaine d'étude. La Figure 18 illustre la concentration moyenne en dioxyde d'azote du 30 mai au 27 juin 2017.

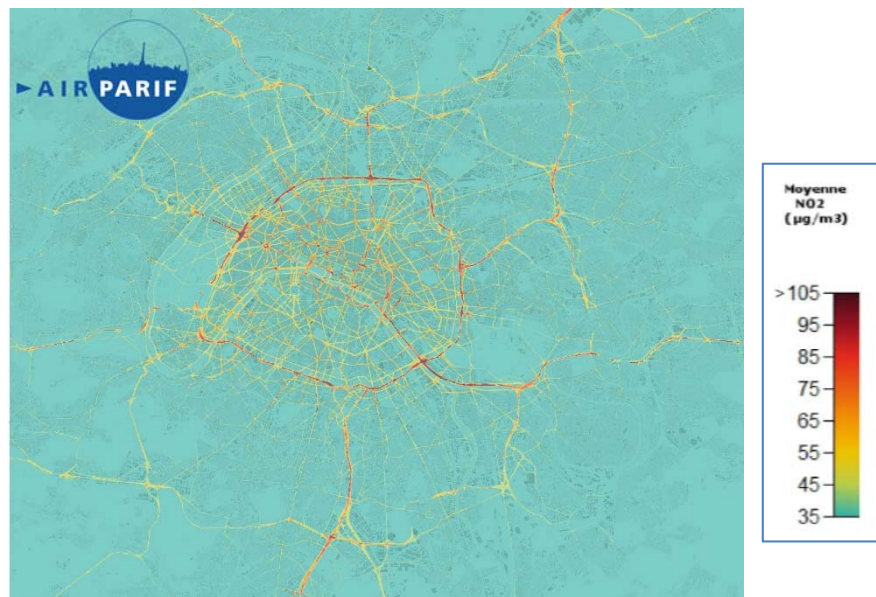


Figure 18 : Concentration moyenne en NO₂ du 30 mai au 27 juin 2017 à l'échelle de la Métropole du Grand Paris.

Cette carte met en évidence des niveaux de fond globalement plus faibles que lors de la campagne hivernale, de l'ordre de 30 µg/m³. Ces niveaux sont conformes au cycle saisonnier classiquement observé pour le dioxyde d'azote, qui présente des concentrations maximales en hiver. Cela s'explique principalement par l'absence de conditions météorologiques anticycloniques froides propices aux inversions de températures et à l'absence des sources de combustion liées au chauffage résidentiel et tertiaire en période estivale. Les niveaux les plus élevés sont observés en bordure immédiate des axes routiers, où ils sont proches des niveaux hivernaux, en raison de la pollution photochimique, comme décrit au paragraphe 3.2.2. L'écart entre les sites de fond et les sites trafic est donc plus important en été qu'en hiver. Comme en hiver, les concentrations les plus importantes sont relevées sur les grandes voies de circulation (autoroutes, Boulevard périphérique...).

La Figure 19 illustre la concentration moyenne en particules PM₁₀ du 30 mai au 27 juin 2017. Cette carte est représentée avec une échelle différente de la campagne hivernale. En effet, en décembre, les concentrations en particules PM₁₀ étaient très fortement impactées par l'épisode de pollution, ce qui avait imposé une modification de l'échelle de couleur habituelle. Comme pour le NO₂, les concentrations moyennes sur la campagne sont nettement plus faibles que lors de la campagne hivernale, ce qui est classique à cette période de l'année.



Figure 19 : Concentration moyenne en PM₁₀ du 30 mai au 27 juin 2017 à l'échelle de la Métropole du Grand Paris.

4. ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA PIETONNISATION DES VOIES SUR BERGES

Compte-tenu de l'influence importante des conditions météorologiques sur les niveaux de pollution, l'impact de la fermeture des voies sur berges en termes de qualité de l'air est très complexe à évaluer directement par des mesures.

Afin de mettre en évidence l'impact de la fermeture des voies sur berges sur la qualité de l'air, un exercice théorique de modélisation a ainsi été réalisé : la cartographie de la concentration en dioxyde d'azote et en particules PM₁₀ du 30 mai au 27 juin 2017 a été simulée en prenant comme donnée d'entrée le trafic de 2016, avec les mêmes conditions météorologiques qu'en 2017. Cette simulation permet ainsi de s'affranchir de l'impact des conditions météorologiques sur la qualité de l'air et de comparer la situation liée au trafic de juin 2017 (voies sur berges fermées) et de juin 2016 (voies sur berges ouvertes⁹), toutes choses égales par ailleurs. **A noter que le lien de causalité entre les écarts constatés et la piétonnisation des voies sur berges n'est pas automatique, et d'autant plus difficile à établir que certains phénomènes observés sont éloignés du voisinage immédiat des quais de Seine. En particulier, ces écarts peuvent être liés à des travaux de voiries ou d'autres mesures ayant pu induire une modification du trafic entre les étés 2016 et 2017.**

4.1. IMPACT SUR LES CONCENTRATIONS EN DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

La Figure 20 illustre la différence entre la concentration moyenne en NO₂ calculée sur la période du 30 mai au 27 juin 2017 et une simulation des niveaux sur la même période en considérant le trafic de l'année 2016, à l'échelle de la Métropole du Grand Paris.

⁹ Du 31 mai au 9 juin 2016, les voies sur berges ont été momentanément fermées en raison des crues de la Seine. Sur cette période, c'est le trafic de l'année 2015 qui a été pris en référence.

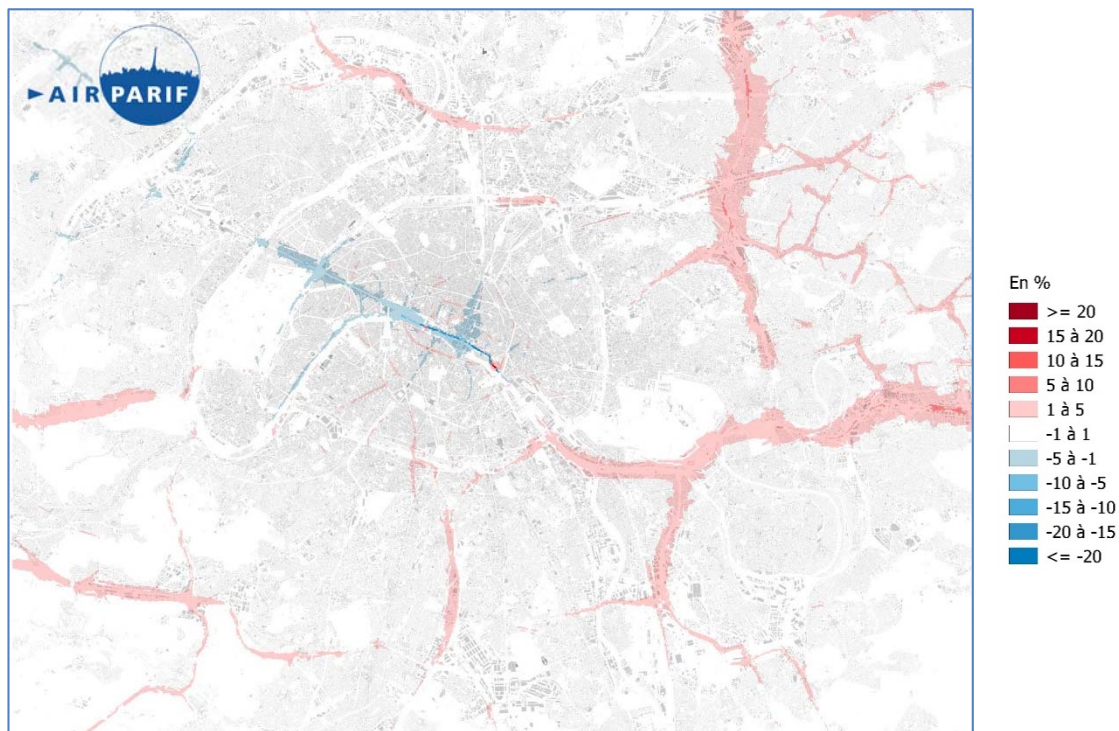


Figure 20 : Ecart (en %) entre la concentration moyenne en NO₂ du 30 mai au 27 juin 2017 et une simulation des niveaux sur la même période en considérant le trafic de l'année 2016 à l'échelle de la Métropole du Grand Paris.

A l'échelle de la métropole, sur la durée de la campagne, des augmentations de concentrations (en rouge sur la carte), limitées aux abords des axes routiers majeurs, sont enregistrées en petite couronne. **De faibles augmentations, de l'ordre de 1 à 5%, sont visibles sur les autoroutes A13, A86, A4, et sur l'autoroute A6 en sortie de Paris.** S'il est possible que la piétonnisation des voies sur berges ait entraîné des reports de trafic sur ces axes de contournement de Paris, il est peu probable que les écarts (+1 à +5%) également relevés sur une portion des autoroutes A15 et A13, soient directement liés à la fermeture de la Voie Georges Pompidou. Par rapport à l'estimation réalisée sur la période hivernale, les écarts concernent davantage d'axes routiers majeurs. Cela peut s'expliquer par la forte pollution photochimique présente lors de la campagne estivale, qui augmente la formation de dioxyde d'azote sur les axes à fortes émissions (cf. 3.2.1).

A l'échelle de Paris (Figure 21), **une nette amélioration de la qualité de l'air apparaît sur le quai bas qui a été fermé à la circulation (jusqu'à -25%), mais également au niveau du quai haut.** Cela s'explique par le fait qu'en moyenne sur la durée de la campagne, les émissions d'oxydes d'azote cumulées sur les deux axes sont globalement inférieures en 2017 par rapport à 2016. En effet, le report de véhicules sur le quai haut ne représente pas la totalité des véhicules qui circulaient sur le quai bas. Par conséquent, une diminution du nombre de véhicules est globalement observée sur cette zone. **Sur les quais hauts, une légère dégradation (+1 à +5%) apparaît ponctuellement au niveau des carrefours, où la congestion accrue entraîne une augmentation des émissions, ainsi qu'à partir du Quai Henri IV (+10 à +15%).**

Des augmentations de +1 à +5% sont également observées sur plusieurs axes du cœur de Paris, identifiés comme des axes de report probables. Par ailleurs, de légères diminutions de concentrations (-1% à -5%) sont observées dans Paris, notamment le long de l'Avenue de la Grande Armée et des Champs-Élysées, ainsi que le long du boulevard Sébastopol et dans le quartier du Marais.

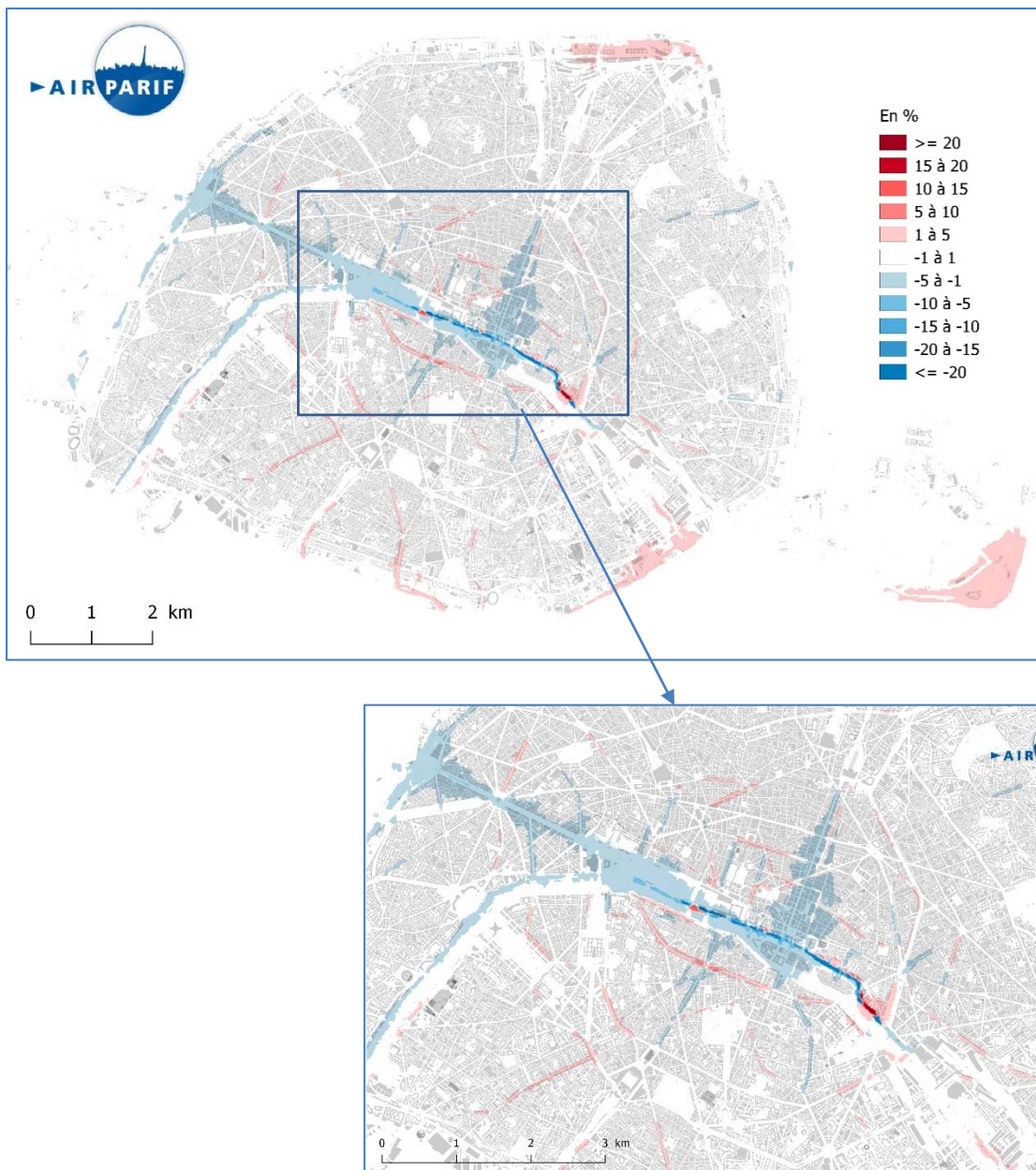


Figure 21 : Ecart (en %) entre la concentration moyenne en NO₂ du 30 mai au 27 juin 2017 dans Paris et une simulation des niveaux sur la même période en considérant le trafic.

La Figure 22 détaille les principales variations estimées entre juin 2016 et juin 2017 par axes, ainsi que le lien de causalité potentiel avec la piétonnisation des voies sur berges.

Axe routier	Différence 2017-2016	Lien avec la piétonnisation des voies sur berges
Voie Georges Pompidou (Quai bas) zone piétonne	<=-20%	1
Voie Georges Pompidou/Quais de Seine Ouest zone de circulation	-1 à -5%	1
Quais des Tuileries à Quai de l'Hôtel de Ville	-1 à -5%	1
Quai de la Mégisserie à Quai de l'Hôtel de Ville Carrefours	+1 à +5%	1
Quais de l'Hôtel de Ville / Quai des Célestins	+1 à +5%	1
Quai Henri IV	+10 à +15%	1
Ile de la Cité	-1 à -5%	2
Boulevard Saint-Germain	+1 à +5%	1
Boulevard Bourdon	+1 à +5%	2
Rue Lafayette	+1 à +5%	2
Rue du 4 septembre / Rue Réaumur	+1 à +5%	2
Boulevard Sébastopol / Quartier du Marais	-1 à -5%	2
Rue Richelieu	-1 à -5%	2
Quai Anatole France	+1 à +5%	2
Rue Monge	-1 à -5%	2
Rue de Rennes	-1 à -5%	2
Boulevard des Invalides	+1 à +5%	2
Rue de Vaugirard	+1 à +5%	2
Avenue du Maine / Av du Général Leclerc	+1 à +5%	2
Avenue de Wagram	+1 à +5%	3
Avenue de la Grande Armée / Avenue des Champs-Élysées	-1 à -5%	3
Avenue Georges V	-1 à -5%	3
Rue de Belleville	-1 à -5%	3
Secteur de la Porte d'Orléans	+1 à +5%	3
Boulevard périphérique Sud	+1 à +5%	2
Boulevard périphérique Nord	+1 à +5%	2
Boulevard périphérique Ouest	-1 à -5%	2
Autoroute A6	+1 à +5%	2
Autoroute A4 en sortie de Paris	+1 à +5%	2
Autoroute A4 au-delà de la branche A86	+1 à +5%	3
Autoroute A86	+1 à +5%	2
Autoroute A13	+1 à +5%	2
Autoroute A1	+1 à +5%	3
Autoroute A3	+1 à +5%	3
Autoroute A15	+1 à +5%	3
	1	Lien avéré
	2	Lien possible
	3	Lien peu probable

Figure 22 : Principales évolutions estimées entre 2017 et 2016 et lien de causalité potentiel avec la piétonnisation des Voies sur berges rive droite.

4.2. IMPACT SUR LES CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM₁₀

Les résultats en PM₁₀ confirment les écarts observés sur le dioxyde d'azote, dans une moindre ampleur (Figure 23). L'impact sur les concentrations en particules PM₁₀ est très limité. Une faible augmentation des niveaux (+1% à +5%) apparaît sur l'autoroute A3 et sur l'autoroute A4 à partir de Joinville, dont le lien avec la pitéonnisation des Voies sur Berges est difficile à établir.

Dans Paris, une diminution des concentrations est observée le long des quais entre les Tuileries et le Quai des Célestins. Une augmentation de +1% à +5% est relevée au niveau du Quai Henri IV.

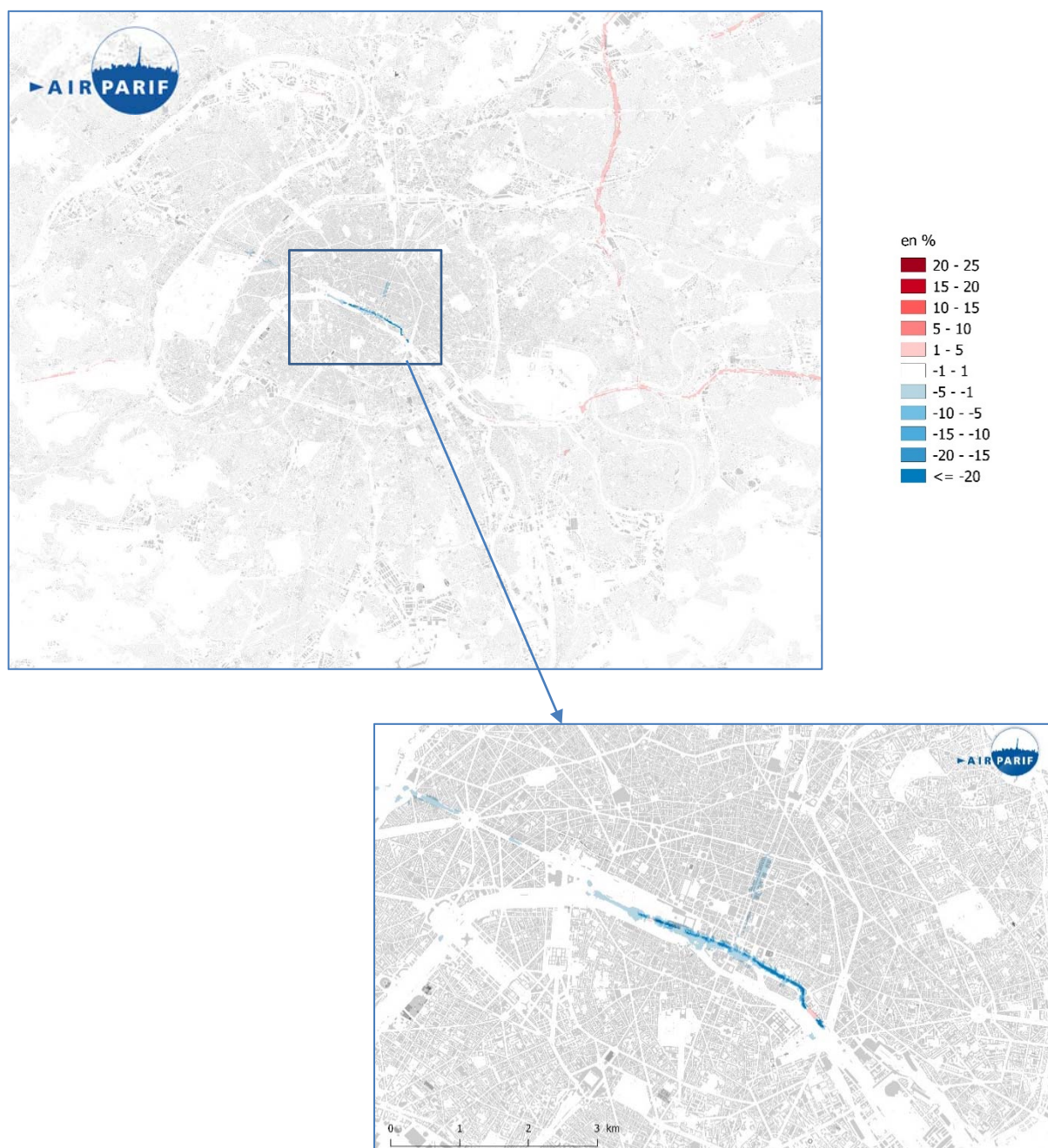


Figure 23 : Ecart (en %) entre la concentration moyenne en PM₁₀ du 30 mai au 27 juin 2017 et une simulation des niveaux sur la même période en considérant le trafic de l'année 2016 à l'échelle de la Métropole du Grand Paris et zoom sur le centre de Paris.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En octobre 2006, la Ville de Paris a mis en œuvre, la piétonnisation des berges de Seine Rive Droite. La voie Georges Pompidou a été fermée à la circulation entre les tunnels des Tuileries et le tunnel Henri IV.

Dans ce contexte, Airparif a mis en place une étude spécifique pour analyser l'évolution de la qualité de l'air suite à la fermeture de cette infrastructure sur la rive droite de la Seine :

- sur un territoire suffisamment large pour prendre en compte à la fois les voies fermées à la circulation et celles potentiellement impactées par ces modifications de trafic, à Paris et en proche banlieue.
- sur une période suffisamment longue pour prendre en compte les variations saisonnières et l'évolution des comportements des usagers.

Deux campagnes de mesure ont été réalisées, l'une en conditions hivernales, du 15 novembre au 13 décembre 2016, et la seconde en conditions estivales, du 30 mai au 27 juin 2017. Elles avaient pour objectif de décrire finement la variabilité spatiale et temporelle des concentrations en NO₂.

Les résultats ont également permis de valider finement les outils de cartographie, afin de modéliser les concentrations en tout point de la zone d'étude et de comparer la situation à l'année précédente à conditions météorologiques équivalentes.

La deuxième campagne de mesure confirme les résultats de la campagne hivernale.

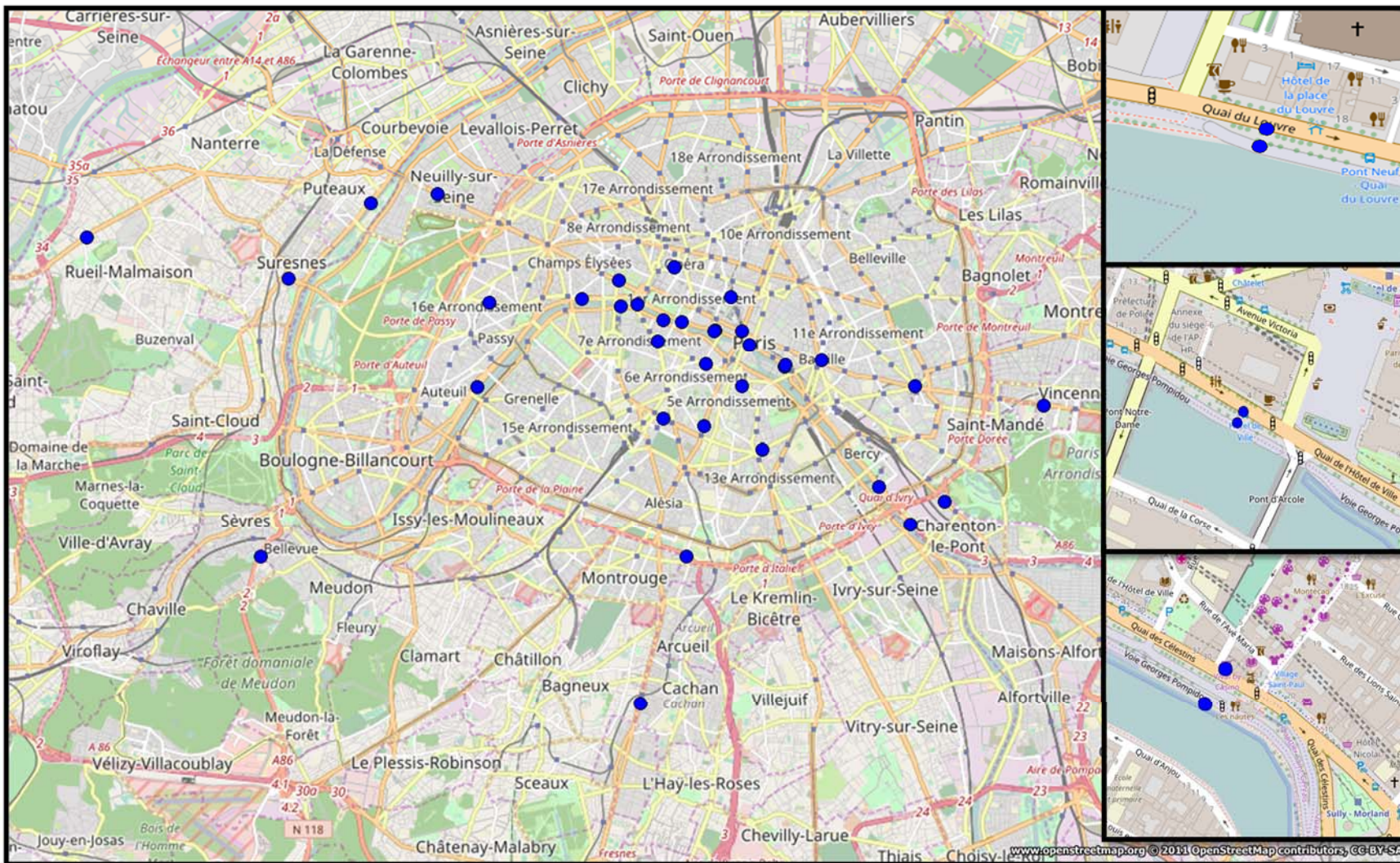
La comparaison confirme **une nette amélioration de la qualité de l'air apparaît sur le quai bas qui a été fermé à la circulation (jusqu'à -25%), mais également au niveau du quai haut**. Cela s'explique par le fait qu'en moyenne sur la durée de la campagne, les émissions d'oxydes d'azote cumulées sur les deux axes sont globalement inférieures en 2017 par rapport à 2016. En effet, le report de véhicules sur le quai haut ne représente pas la totalité des véhicules qui circulaient sur le quai bas. Par conséquent, une diminution du nombre de véhicules est globalement observée sur cette zone. Néanmoins, **sur les quais hauts, une légère dégradation (+1 à +5%) apparaît ponctuellement au niveau des carrefours, où la congestion accrue entraîne une augmentation des émissions, ainsi qu'à partir du Quai Henri IV (+10 à +15%). Des augmentations de +1 à +5% sont également observées sur plusieurs axes du cœur de Paris, identifiés comme des axes de report probables**. Par ailleurs, de légères diminutions de concentrations (-1% à -5%) sont observées dans Paris, notamment le long de l'Avenue de la Grande Armée et des Champs-Élysées, ainsi que le long du boulevard Sébastopol et dans le quartier du Marais.

Des augmentations de concentrations, limitées aux abords des axes routiers majeurs, sont également enregistrées en petite couronne. De faibles augmentations, de l'ordre de +1 à +5 %, sont visibles sur les autoroutes A13, A86, A4, et sur l'autoroute A6 en sortie de Paris. Au-delà de cette zone, des augmentations de concentration sont observées ponctuellement, sans que le lien direct avec la piétonnisation des voies sur berges puissent être établi.

Les campagnes de mesures ont été réalisées sur deux fois quatre semaines de mesure. Elles ont permis d'obtenir une documentation fine sur la variabilité des niveaux de pollution sur le secteur d'étude. Elles ont également permis de caler les outils de modélisation dans des conditions météorologiques très différentes. Néanmoins, ces deux mois de campagne ne permettent pas de qualifier une année entière. Les outils de modélisation permettent d'estimer les niveaux moyens sur une période de 1 an en tout point du domaine d'étude et de croiser les résultats avec les données de population afin d'évaluer l'impact de la piétonnisation des voies sur berges en termes d'exposition de la population. Ces résultats sont présentés dans le rapport final.

ANNEXE 1

Plan d'échantillonnage du benzène



ANNEXE 2 Résultats de mesures par tubes à diffusion – campagne estivale

numero de site	adresse	moyenne NO ₂ semaine 1	moyenne NO ₂ semaine 2	moyenne NO ₂ semaine 3	moyenne NO ₂ semaine 4	moyenne campagne NO ₂ 2017	moyenne Benzène semaine 1	moyenne Benzène semaine 2	moyenne Benzène semaine 3	moyenne Benzène semaine 4	moyenne campagne Benzène 2017
1	Boulevard Saint-Marcel (78)	43	46	63	61	53	1.5	1.4	1.7	1.7	1.6
2	Station AIRPARIF BP Porte d'Auteuil (référence trafic urbain)	92	93	121	114	105					
3	Site AIRPARIF Place de la bastille (référence trafic urbain, mesure indicative)	57	58	59	72	61	2.0	2.0	2.3	2.3	2.2
4	Station AIRPARIF Champs-Élysée (référence trafic urbain)	42	48	51	65	51	1.3	1.3	1.6	2.0	1.6
5	Station AIRPARIF Rue Bonaparte (référence trafic urbain)	41	44	56	58	50					
6	Site AIRPARIF Rue de Rivoli (référence trafic urbain, mesure indicative)	72	67	88	99	81	1.6	2.0	2.6	2.4	2.2
7	Station AIRPARIF Boulevard Haussmann (référence trafic urbain)	53	59	76	83	68					
8	23 bd des capucines	54	61	79	84	69	1.5	1.5	1.9	1.9	1.7
9	Station AIRPARIF Paris Centre (référence site de fond urbain)	30	27	28	37	30					
10	promenade des berges de la seine Andre Gorz	40	38	61	54	48		0.7	0.8	0.9	0.8
11	Berges rive gauche – au niveau du Quai d'Orsay vers le pont Alexandre III	42	56	61	60	55	0.9	1.4	1.1	1.5	1.2
12	Quai d'Orsay – côté bâtiment	51	40	78	71	60					
13	Intersection rue de l'Université et bd Saint-Germain 272	66	75	74	88	76					
14	30 bd Saint-Germain, 7ème arrondissement	59	50	87	82	70					
15	place de la bourse rue du 4 septembre	45	49	59	70	56					
16	promenade des berges de la seine Andre Gorz	35	40	51	55	45					
17	rue Royale	63	61	92	87	76					
18	Pont de la Concorde	54	52	89	85	70	1.5	1.2	1.9	1.7	1.6
19	face au 4 avenue du President Kennedy	58	45	75	76	64					
20	56 bd des invalides	51	58	59	69	59					
21	sortie tunnel Pont de l'Alma	42	50	58	61	53	1.4	1.4	1.7	1.8	1.6
22	117 bd Saint-Germain	55	50	81	78	66	1.9	1.5	2.3	2.0	1.9
23	24 rue des Ecoles	35	42	50	55	45	1.4	1.1	1.6	1.3	1.3
24	62 bd Saint-Michel	49	54	54	68	56	1.5	1.6	1.4	1.8	1.6
25	96 bd du Montparnasse	46	54	55	62	54	1.4	1.7	1.6	1.7	1.6
26	Quai rive droite face Musée d'Orsay debut Tuileries	50	45	69	67	58					
27	Quai Francois Mitterand debut	53	51	69	69	61	1.1	1.8	1.9	2.1	1.7
28	Quai Francois Mitterand	56	57	72	81	66					
29	Quai Francois Mitterand	39	33	48	50	43					
30	28 Quai du Louvre	72	64	91	92	80	1.6	2.0	2.1	1.8	1.9
31	28 Quai du Louvre niveau bas	32	33	51	50	41	1.1	1.2	1.6	1.2	1.3
32	2bis Quai de la Mégisserie	71	63	100	87	80					
33	2bis Quai de la Mégisserie en bas	50	32	55	62	50					

numero de site	adresse	moyenne NO ₂ semaine 1	moyenne NO ₂ semaine 2	moyenne NO ₂ semaine 3	moyenne NO ₂ semaine 4	moyenne campagne NO ₂ 2017					moyenne campagne Benzène 2017
34	244 bd st germain (armoire campagne SPSE)	60	56	73	74	66	1.3	1.5	2.1	2.1	
35	Quai de l'Hotel de Ville niveau haut	68	64	91	88	78					
36	Quai de l'Hotel de Ville niveau bas	42	29	43	41	39					
37	4 Quai de Gesvres niveau bas	50	40	59	56	51	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5
38	4 Quai de Gesvres (armoire campagne SPSE)	69	57	95	85	76	2.0	1.3	2.8	2.2	2.1
39	Quai des Célestins niveau bas	35	34	45	40	39	0.8	0.9	1.6	1.3	1.1
40	Station AIRPARIF Quai des Célestins (référence trafic urbain)	62	52	82	74	67	1.5	1.6	2.8	2.0	2.0
41	9 bd Bourdon	63	56	68	81	67					
42	204 Quai de Bercy	65	51	74	74	66	1.2	1.4	1.5	1.9	1.5
43	38 rue etienne marcel /36 rue montmartre	41	40	52	59	48	1.7	1.8	2.0	2.2	1.9
44	angle rue lafayette / chateaudun	55	55	71	73	64					
45	51 avenue de la grande armee	55	76	64	82	69					
46	59 avenue Georges Mangel	45	50	58	63	54	1.1	1.6	1.7	1.6	1.5
47	44 Quai Louis Blériot niveau bas	56	57	70	72	64	1.7	2.1	2.1	2.7	2.1
48	Quai Louis Blériot	35	36	46	45	40	1.1	1.2	1.5	1.4	1.3
49	8 Quai Saint-Exupery	52	58	67	69	62					
50	7 Quai du point du jour	48	49	56	59	53					
51	face au 8 Quai de la Mégisserie										
52	face au 20 Quai de la Mégisserie										
53	face au 20 Quai de la Mégisserie										
55	place de la nation-rond-point entre le bd Voltaire et le Faubourg Saint-Antoine	49	48	60	59	54	1.3	1.8	2.0	2.2	1.8
57	cite Universitaire peripherique cote exterieurC	64	45	71	91	68	1.1	1.2	1.7	1.9	1.5
60	116 av du Général Leclerc	82	94	77	112	91					
61	20 Quai du Louvre côté facade	89	79	134	133	109					
62	269 avenue Daumesnil	37	41	47	53	44					
63	46 rue de Bretagne	50	51	51	74	57					
64	19 bd Saint-Martin	49	62	58	68	59					
65	20 avenue Rapp	45	50	53	59	52					
66	2bis Quai de la Mégisserie côté bâti	90	90	144	138	115					
67	Face station permanente Airparif -Quai des Célestins	65	59	81	86	73					
68	Face au 4 Quai de Gesvres (armoire campagne SPSE)	97	82	124	125	107					
69	face au 106 Cours de Vincennes	54	60	65	71	62					
70	11 Quai Anatole France	56	45	75	81	64					
71	79 Quai d'Orsay	69	75	92	95	83					
72	Quai Henry IV	53	38	71	58	55					
73	Quai andre citreon	48	46	70	57	55					

numero de site	adresse	moyenne NO ₂ semaine 1	moyenne NO ₂ semaine 2	moyenne NO ₂ semaine 3	moyenne NO ₂ semaine 4	moyenne campagne NO ₂ 2017	moyenne Benzène semaine 1	moyenne Benzène semaine 2	moyenne Benzène semaine 3	moyenne Benzène semaine 4	moyenne campagne Benzène 2016
Montreuil	259 rue de Paris	59	60	68	72	65					
boulogne 1	Quai de Stalingrad côté seine	41	38	54	46	45					
boulogne 2	Angle avenue Edouard Vaillant et rue Cacheux	67	69	90	84	77					
boulogne 3	Route de la reine	45	48	49	53	48					
St maurice 1	125 avenue de Gravelle	26	31	30	35	30					
St maurice 2	27 avenue du maréchal de Lattre de Tassigny	57	60	78	80	69					
Neuilly 1	142 avenue Charles de Gaulle	51	59	69	71	62	1.2	1.7	2.0	1.7	1.7
Neuilly2	Quai de seine bd koeing	48	43	78	66	59					
puteaux 1	Entrée A14 tunnel vers la Défense-boulevard de Neuilly	42	46	59	59	52	1.5	1.1	1.5	1.4	1.4
puteaux 2	Quai de seine vers Paris Avenue du Général de Gaulle	38	37	54	45	44					
nanterre	RN13 vers PARIS Avenue du Général Joffre	35	37	40	44	39					
Rueil	RN13 vers PARIS 185 Avenue Napoléon Bonaparte	39	32	48	47	41	1.0	0.9	1.3	1.8	1.2
Suresnes	Vers PARIS 41 boulevard Henri Sellier	40	46	53	58	49	1.1	1.3	1.3	2.0	1.4
Sevres	Résidence du parc Eiffel- rue Albert Dammousse	67	56	64	85	68	1.5	1.1	2.3	1.9	1.7
Sevres	Résidence du parc Eiffel- rue Albert Dammousse parking	28	23	45	52	37	0.7	0.6	1.1	0.6	0.7
Sevres	12 rue Albert Dammousse	37	30	57	53	44					
cachan	163 avenue Aristide Briand	41	41	56	52	48	1.0	1.3	1.6	1.4	1.4
montrouge	127 avenue Aristide Briand	58	42	83	69	63					
charenton le pont	177 avenue de Paris	43	46	35	47	43	1.1	1.1	1.1	1.4	1.2
charenton le pont -A4	A4 - Accès piste cyclable	54	43	64	59	55	1.0	0.9	1.6	1.4	1.2
vincennes	35 Avenue de Paris	45	55	52		51	1.3	1.7	1.3	1.9	1.5
Maisons-Alfort 1	Avenue du Général Leclerc (pont)	59	64	70	79	68					
Maisons-Alfort 6	Avenue du Général Leclerc	40	33	53	45	43					
Nogent-sur-Marne	8 avenue Georges Clemenceau	33	29	43		35					
Saint Mandé	37-39 Avenue Daumesnil	27	26	30	32	29					
Paris 13ème	Station AIRPARIF Paris 13ème (référence trafic urbain)										