

AST'AIR

**usAgerS des Transports et qualité de l'AIR
Agglomération Orléanaise**



Convention Région Centre-Val de Loire : n°85755

Réf : QAI2015 - Juillet 2015

Lig'Air – Surveillance de la qualité de l'air en région Centre-Val de Loire

260 avenue de la Pomme de Pin – 45590 SAINT-CYR-EN-VAL

Tél. : 02.38.78.09.49 – Fax : 02.38.78.09.45 – E-mail : ligair@ligair.fr – Site Internet : www.ligair.fr

Avertissement

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments en un instant caractérisé par des conditions climatiques propres.

Ce rapport d'études est la propriété de Lig'Air. Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Lig'Air.

Lig'Air ne saurait être tenue pour responsable des évènements pouvant résulter de l'interprétation et/ou l'utilisation des informations faites par un tiers.

Glossaire

AASQA :	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air
AggIO :	Communauté d'agglomération Orléans-Val de Loire
AUAO :	Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Orléanaise
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes
CERTAM :	Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Aérothermique et Moteurs
GPS :	« <i>Global Positioning System</i> », que l'on peut traduire par système de localisation mondiale
HAP :	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
INSEE :	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSERM :	Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
LAURE :	Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie
LCSQA :	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
OSUC :	Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre-Val de Loire
pDR :	Personal DataRam™, instrument de mesure de la concentration en particules
PM_{2,5}/PM₁₀ :	« Particulate Matter », particules en suspension, avec un diamètre aérodynamique inférieur à, respectivement, 2,5 et 10 µm
PRSE2 :	Second Plan Régional Santé Environnement
TAO :	Transport en commun de l'Agglomération Orléanaise
TMJA :	Trafic Moyen Journalier Annuel

Table des matières

Avertissement	3
Glossaire	4
Table des matières	5
Introduction	7
I. Matériels et protocoles de mesures	9
A. Les polluants considérés et les techniques de mesures	9
a) Les particules en suspension PM ₁₀	9
b) Le dioxyde d'azote	10
c) Le monoxyde de carbone	13
d) La géolocalisation	13
e) Protocole instrumental	14
B. Le domaine d'étude	15
C. La préparation de l'étude	15
a) Le choix des trajets	15
b) Les trajets réalisés	17
II. Principaux résultats : évaluation de la qualité de l'air dans les différents modes de transports utilisés	19
A. Voiture	19
a) Le dioxyde d'azote NO ₂	19
b) Les particules en suspension PM ₁₀	25
c) Le monoxyde de carbone CO	27
B. Marche	29
C. Vélo	33
D. TRAMWAY et BUS	37
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	40
Bibliographie	42
Liste des figures	44
Liste des tableaux	45
ANNEXES	46
Annexe 1 : Origine des polluants	46
Annexe 2 : Réglementation dans l'air ambiant	46
Annexe 3 : La fréquentation des bus et tramway (TAO)	48
Annexe 4 : Les caractéristiques des trajets	49
Annexe 5 : Exemples détaillés de trajets réalisés	53
A. Trajets effectués en période estivale	53
a) Le Vendredi 4 avril 2014	53
b) Le Mercredi 21 mai 2014	54

c) Le Vendredi 4 juillet 2014 _____	55
d) Le Vendredi 18 juillet 2014 _____	56
B. Trajets effectués en période hivernale _____	57
a) Comparaison au cours du trajet Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle _____	57
b) Trajet Boulevard Marie Stuart – Pont de l'Europe _____	58
c) Trajet voiture Chécy – La Source _____	60
Annexe 6 : Présentation de Lig'Air _____	62

Introduction

Nous passons 92% de notre temps dans des espaces clos (habitations, bureaux, écoles,...) dont 6 % de ce temps est consacré à nos trajets [1]. Les études de plus en plus nombreuses sur l'air intérieur ont permis de constater que la pollution que l'on y respire peut être bien plus importante, pour certains polluants, qu'en air extérieur. L'étude de l'air dans les transports est d'autant plus complexe qu'elle combine les problèmes classiques d'air intérieur avec une grande influence de la pollution extérieure dite de proximité automobile.

Certaines AASQA, comme Air Languedoc-Roussillon, AIRPARIF, Atmo Nord – Pas-de-Calais, ATMO Poitou-Charentes, ou encore ORAMIP, ont réalisé des études de la qualité de l'air dans certains types de transports. D'autres études issues d'organismes tels que l'Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale (INSERM), et du Centre d'Etude et de Recherche Technologique en Aérothermique et Moteurs (CERTAM) ont également été conduites. Parmi ces études, certaines ont porté sur la qualité de l'air dans l'habitacle de voiture [2, 3, 4], d'autres en vélo [5, 6] ou dans différents modes de transports [7, 8].

Au cours de ces études, des concentrations en formaldéhyde plus faibles que dans l'air dans les bâtiments [2, 8], et des concentrations en BTEX inférieures à celles mesurées en site de fond dans la région d'étude ont été observées dans les transports [2]. Ces études ont aussi montré une augmentation de la concentration en NO₂ dans l'habitacle de l'automobile, lorsqu'un véhicule le précède [3]. Cette augmentation est plus forte si ce véhicule est un poids lourd ou un bus [4]. La concentration de ce polluant est aussi plus élevée sous l'effet des tunnels [3, 4]. Certaines de ces études ont montré que, de par leur présence au sein de la circulation, c'est dans les habitacles de voiture où les usagers sont les plus exposés à la pollution de l'air [8, 9].

Le deuxième Plan Régional de Santé Environnement (PRSE2¹), élaboré par la région Centre-Val de Loire et l'Etat, traite l'impact de l'environnement sur la santé de la population, notamment l'influence des pollutions environnementales. L'action 1 de la fiche 10 du PRSE2 a pour objet de suivre et déterminer la qualité de l'air dans les différents modes de transport :

« Les différents modes de transports utilisés pour les déplacements quotidiens conduisent à des expositions variables aux différents polluants atmosphériques. Afin de mieux appréhender cette diversité d'exposition et de quantifier les écarts, il est proposé de conduire une étude visant à mesurer les concentrations en polluant selon les modes de transports utilisés. »

Les objectifs de cette étude sont d'approcher les niveaux de l'exposition de la population lors des déplacements tout en mettant en relief les zones de fortes concentrations ainsi que l'influence de l'environnement immédiat sur l'augmentation de l'exposition.

Pour approcher les niveaux de pollution atmosphérique auxquels la population est exposée dans les différents moyens de transports, Lig'Air a conduit de 2014 à 2015, sur l'agglomération Orléanaise, l'étude AST'AIR (usAgerS des Transports et qualité de l'AIR).

¹ Santé Environnement 2ème plan Régional 2010-2014 - http://www.liqair.fr/media/docutheque/PRSE_2.pdf

Sur la Communauté de l'Agglomération d'Orléans-Val de Loire, la majorité des déplacements sont effectués en voiture (63%), les déplacements à pied viennent en seconde position (21%), les transports en commun et les deux roues terminent le classement avec respectivement 8% et 5% [18]. Dans le cadre de cette étude, Lig'Air a opté pour l'utilisation de préleveurs en mesures continues dont la durée d'analyse est de l'ordre de la minute. En plus de l'utilisation d'analyseurs automatiques, les déplacements étudiés ont été géoréférencés à l'aide d'un GPS afin de localiser les zones de fortes expositions et comprendre les caractéristiques de l'environnement immédiat.

AST'AIR est une étude financée par le Conseil Régional Centre-Val de Loire et Lig'Air.



I. Matériels et protocoles de mesures

A. Les polluants considérés et les techniques de mesures

Au cours de l'étude AST'AIR, trois polluants réglementés de la qualité de l'air, caractérisés comme étant des traceurs de la pollution automobile, ont été suivis à l'aide de détecteurs spécifiques (Annexes 1 et 2).

a) Les particules en suspension PM₁₀

Les particules en suspension PM₁₀ dont le diamètre est inférieur à 10 µm, ont été mesurées en continu au cours de l'étude. Ces particules peuvent être soit d'origine anthropique soit d'origine naturelle. Sont considérées comme particules naturelles, les embruns marins, les pollens provenant de la végétation ou encore les poussières issues des feux de forêt et de l'érosion. Les particules d'origine anthropique résultent de la combustion incomplète de la biomasse ou encore de combustible fossile comme dans les moteurs automobiles. Les particules les plus grosses sont arrêtées par les voies aériennes supérieures. Cependant, les particules les plus fines peuvent se loger dans les alvéoles, ramifications les plus profondes des voies respiratoires. Elles sont souvent composées de produits toxiques, comme des métaux lourds ou des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), pouvant être éventuellement cancérigènes. En air extérieur, les PM₁₀ dépassent régulièrement le seuil d'information et de recommandation (50 µg/m³ en moyenne journalière) [9] en région Centre-Val de Loire (Tableau 1).

	2010	2011	2012	2013	2014
Orléans	9	16	15	14	6
Tours	10	21	24	21	5

Tableau 1 : Nombre de jours de dépassement du seuil d'information et de recommandation en PM₁₀²

Dans le cadre de l'étude AST'AIR, la mesure des PM₁₀ a été réalisée à l'aide d'un instrument appelé pDR1500 (figure 1).

Cet instrument a fait l'objet d'une étude métrologique par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) [11]. En plus de ces tests réalisés par le LCSQA, cet appareil a été choisi pour sa légèreté, son autonomie en termes d'alimentation électrique et de stockage des données.



Figure 1 : pDR1500, instrument de mesure des particules en suspension

² Arrêté du 26 mars 2014 relatif au déclenchement des procédures préfectorales en cas d'épisode de pollution de l'air ambiant – Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie

b) Le dioxyde d'azote

Le dioxyde d'azote (NO₂) est un polluant secondaire dont les concentrations les plus importantes sont localisées à proximité des axes routiers à fort trafic mais également au centre des grandes agglomérations, zones dans lesquelles le nombre de véhicules est élevé. Ce polluant se forme par l'oxydation du monoxyde d'azote NO, produit lors de la combustion fixe ou mobile (circulation automobile, utilisation du chauffage, industrie, ...)

Les niveaux de NO₂ ont fréquemment dépassé la valeur limite annuelle (40 µg/m³ en moyenne annuelle) sur les agglomérations d'Orléans et de Tours en site de proximité automobile (tTableau 2) [9].

NO ₂	2010	2011	2012	2013	2014
Orléans	42	40	41	37	33
Tours	45	56	43	41	39

Tableau 2 : Concentrations annuelles maximales en dioxyde d'azote sur Orléans et Tours

Dans la plupart des études antérieures concernant l'évaluation de la qualité de l'air dans les transports, l'exposition des utilisateurs des transports a été approchée en mesurant la pollution à l'aide de tubes passifs. Cependant, ce type de prélèvement nécessite un temps d'exposition plus important que le temps nécessaire pour effectuer un déplacement moyen à l'intérieur des agglomérations comparables à celles de la région Centre-Val de Loire. L'utilisation de ce capteur impliquerait de devoir faire des trajets plus longs que nécessaire et donc obtenir des niveaux non représentatifs de l'exposition réelle.

Pour les besoins de cette étude, Lig'Air a opté pour l'utilisation d'analyseurs automatiques délivrant des mesures en continue, mesures qui peuvent être géolocalisées.

Outre l'utilisation d'analyseurs analogues à ceux utilisés dans les stations de surveillance de la qualité de l'air (figure 2), Lig'Air a fait l'acquisition d'analyseurs portatifs pour la mesure du dioxyde d'azote : l'Aéroqual (figure 3).



Figure 2 : Analyseur portatif série 500 d'Aéroqual pour la mesure du NO₂



Figure 3 : Analyseur de référence (421) pour la mesure du NO₂

Cet analyseur a été utilisé, en 2012, dans une étude analogue à AST'AIR sur la ville de Birmingham en Angleterre [10]. En France, Lig'Air fut le premier organisme à utiliser ce capteur portatif pour la mesure des concentrations en NO₂ en conditions réelles dans le cadre de cette étude.

L'étude anglaise [10] rapporte que l'utilisation de l'Aéroqual conduit à une sous-estimation des niveaux en NO₂ par rapport à l'analyseur de référence. Cette sous-estimation a été aussi observée par Airparif [12] lors des tests effectués en laboratoire en 2014.

Afin d'approcher l'écart en situation réelle qui peut exister entre ces deux analyseurs, Lig'Air a mené une étude comparative sur des trajets en voiture. La figure 4 présente les résultats fournis par les deux analyseurs lors de l'étude comparative.

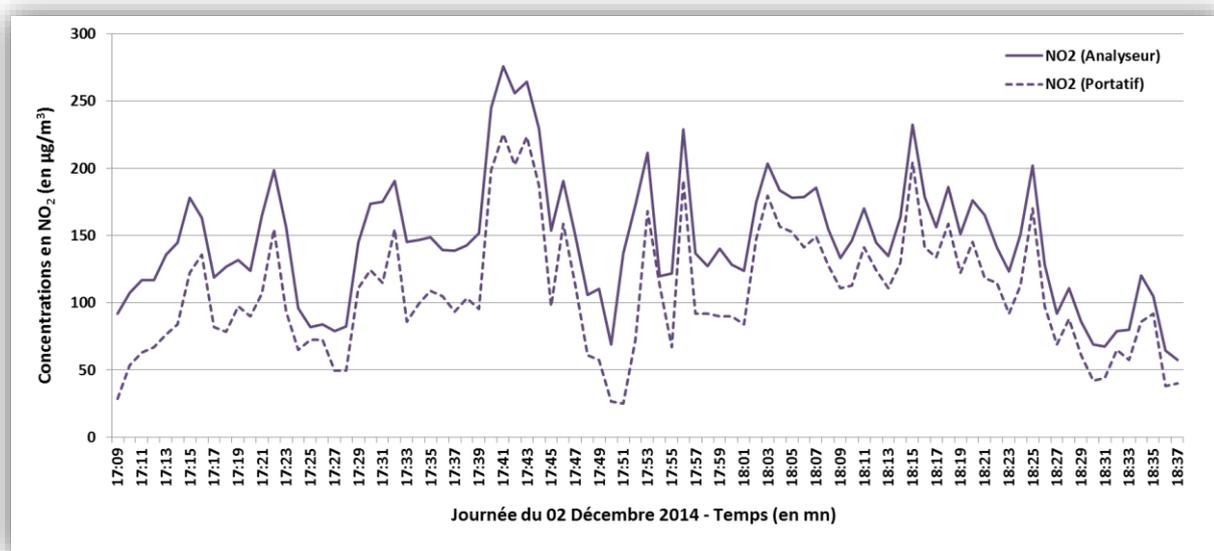


Figure 4 : Evolution des concentrations en NO₂ issues de l'analyseur portatif et de l'analyseur de référence au cours d'un trajet en voiture réalisé le 02 décembre 2014

D'une manière générale, une très bonne similitude est observée sur les concentrations issues de ces deux analyseurs.

La figure 4 montre aussi la présence d'une sous-estimation systématique des concentrations enregistrées par l'Aéroqual par rapport à celles fournies par l'analyseur de référence. En termes de valeurs instantanées, à l'échelle de la minute, cet écart présente une variation allant de 7 à environ 110 µg/m³ mn. La présence de cette forte variabilité au cours d'un même trajet s'explique en partie par la différence des sensibilités des analyseurs, associée aux faibles échelles de temps de prélèvements. En termes de valeurs horaires calculées lors de ces tests, les concentrations enregistrées par l'Aéroqual (110 µg/m³) sont environ 40 µg/m³ inférieures à celles fournies par l'analyseur de référence (150 µg/m³), soit une sous-estimation d'environ 26% par rapport aux valeurs horaires de l'analyseur de référence.

Idéalement, l'agrégation des données devrait se faire sur un pas de temps horaire ce qui permettrait la correction des données avec l'écart moyen ainsi obtenu. Cependant, l'étude AST'AIR se veut la plus représentative possible de l'exposition des usagers des transports lors de leurs déplacements. La durée des prélèvements devrait donc être adaptée à celle des déplacements dans l'agglomération orléanaise. Or, dans cette dernière et quel que soit le mode de transport, les durées moyennes des déplacements sont inférieures à 45 mn (cf. C-a) Le choix des trajets). Par conséquent, l'utilisation d'une référence horaire est inadaptée à l'étude AST'AIR.

Nous avons opté pour une agrégation des données à l'échelle de la minute. Ce choix rend malheureusement impossible la correction des données avec l'écart constaté mais il nous permet d'avoir une bonne caractérisation spatiale de l'environnement immédiat. Ce dernier peut changer

rapidement surtout lors des déplacements en voiture. En effet, à 50 km/h, un véhicule parcourt 833 m en une minute, à 30 km/h, il parcourt 500 m. Par conséquent, les mesures associées aux déplacements voitures seront effectuées à l'aide de l'analyseur de référence beaucoup plus sensible que l'Aéroqual.

D'autre part, Lig'Air a été confronté à une autre limite de cet appareil lors des trajets d'intermodalité (trajets combinant plusieurs moyens de transport).

En effet lors de ces trajets, nous avons constaté une chute brutale des concentrations dès l'entrée dans le bus ou le tramway. Inversement, une augmentation des concentrations en NO₂ est enregistrée dès la sortie de ces deux modes de transport (figures 5 et 6).

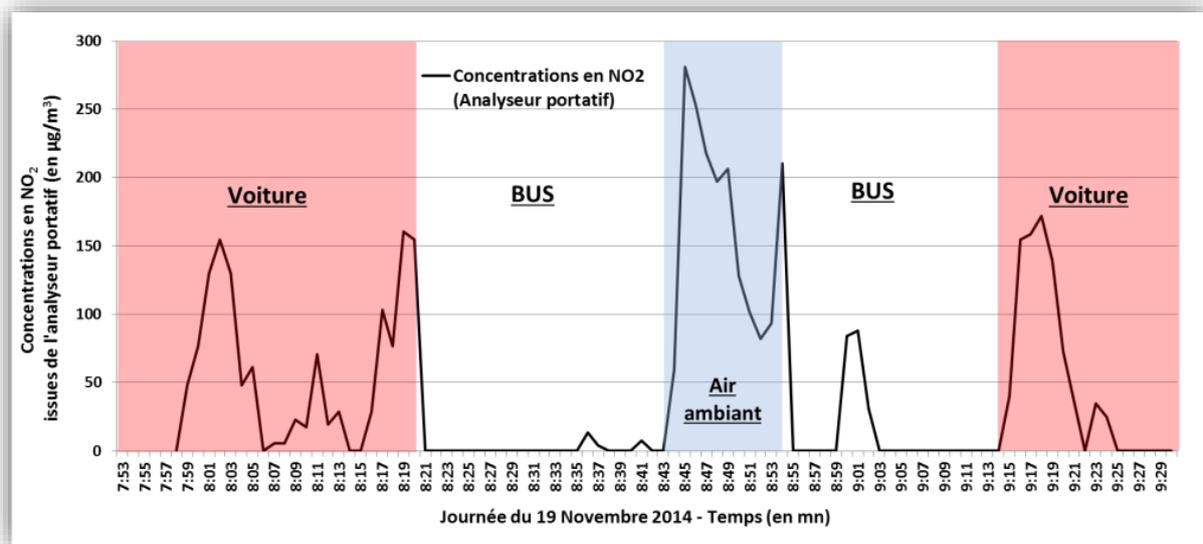


Figure 6 : Evolution des concentrations en NO₂ issues de l'analyseur portatif au cours du trajet d'intermodalité impliquant le BUS réalisé le 19 novembre 2014

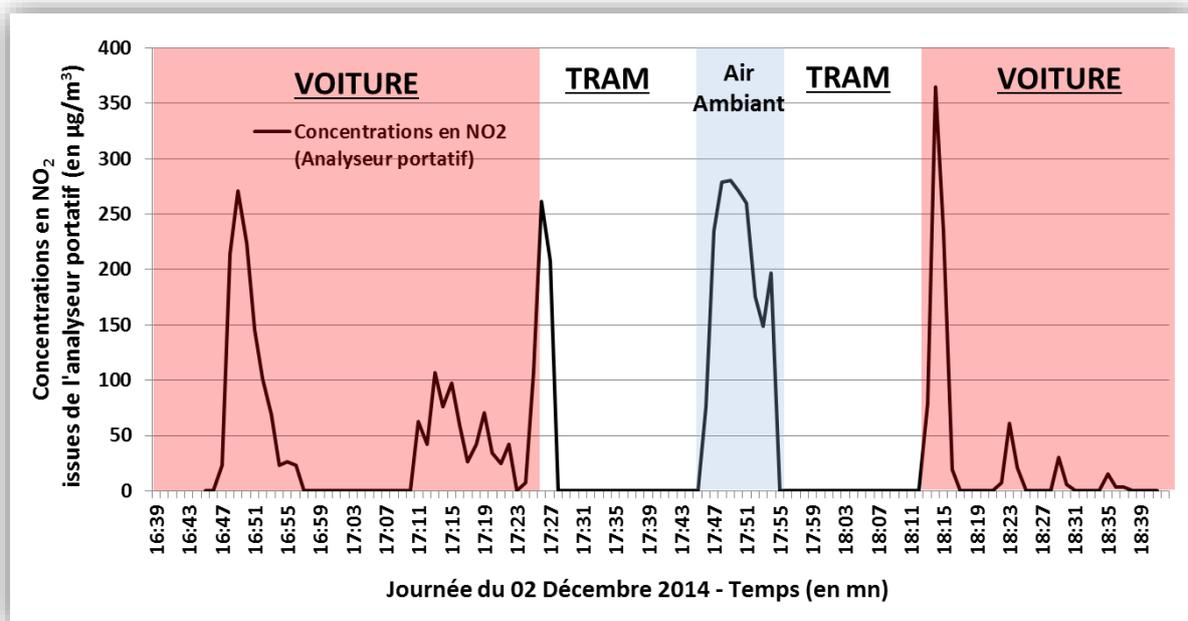


Figure 5 : Evolution des concentrations en NO₂ issues de l'analyseur portatif au cours du trajet d'intermodalité impliquant le BUS réalisé le 02 décembre 2014

Le caractère brutal de ces changements et l'absence de variation à l'intérieur des bus et tramway, ne peut être expliqué uniquement par la variabilité de NO_2 dans ces deux modes de transports. De tels comportements ont aussi été rapportés lors de l'étude anglaise [10] et plus récemment par Airparif [12]. Ils sont attribués à la forte sensibilité de cet analyseur aux changements d'atmosphère et d'environnement tels que l'entrée ou la sortie d'un bus ou d'un tramway. Par conséquent, les données récoltées par l'Aéroqual dans ces deux modes de transports ne sont pas représentatives des concentrations réelles en NO_2 et sont donc invalidées. L'exploitation des mesures réalisées par l'Aéroqual sera faite uniquement sur les parcours des piétons et cyclistes en air extérieur.

Malgré les limites et les problèmes techniques rencontrés, cet appareil arrive à traduire le comportement du dioxyde d'azote dès lors qu'il ne subit pas de changement brutal d'atmosphère.

Lig'Air se rapprochera du constructeur de l'Aéroqual afin d'étudier la possibilité de mettre un filtre et/ou une protection qui limiteraient ces perturbations. Dès lors, de nouvelles campagnes de mesures dans les transports publics pourraient être à nouveau envisagées.

c) Le monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone (CO) est formé lors de toute combustion incomplète (bois, charbon, gaz naturel ou encore essence et fuel). Elle est due à un manque d'air ou d'oxygène dans le mélange gazeux. Ce gaz inodore et non irritant, occupe la position de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang et provoque ainsi une intoxication, devenant mortelle à forte concentration.

En air extérieur, les niveaux de CO n'ont jamais atteint la valeur limite (10 mg/m^3 sur 8 heures [9]).



Figure 7 : Q-Trak, instrument de mesure des oxydes de carbone

Dans le cadre d'AST'AIR, le CO est mesuré à l'aide d'un Q-Trak (figure 7)

Cet analyseur a déjà été utilisé par Lig'Air dans plusieurs études d'air intérieur.

En plus de la mesure de CO, il permet aussi de suivre la température et l'humidité relative.

Le Q-Trak a été utilisé pour la mesure des concentrations en CO sur l'ensemble des trajets réalisés et sur les différents modes de transport considérés pour l'étude.

d) La géolocalisation

Afin d'avoir une bonne caractérisation de l'environnement immédiat des zones étudiées et les conditions de circulation, l'ensemble des mesures est géolocalisé à l'aide de montres GPS ONmove (figure 8).

Elle permet de géolocaliser les mesures mais elle donne aussi des informations sur les vitesses de circulation.



Figure 8 : Montre GPS ONmove

e) Protocole instrumental

Avant la réalisation des mesures de concentrations, une préparation rigoureuse à la fois sur le choix des trajets mais également dans la création du protocole instrumental a dû être entreprise en fonction du mode de transport considéré. Ces mesures doivent être réalisées dans les conditions les plus réalistes possibles se mettant à la place d'un usager qui prend sa voiture, son vélo, le tramway, le bus ou bien effectuant son trajet à pied.

Les mesures de concentrations en voiture : dans l'habitacle du véhicule, sont placés le pDR (PM₁₀), le Q-Trak (CO), l'analyseur de NO₂ ainsi que la montre GPS pour la géolocalisation. Pour alimenter l'analyseur et la station d'acquisition des données, un système de batteries muni d'un convertisseur est utilisé. Ce système de batteries, la station d'acquisition des données et l'analyseur de référence sont positionnés dans la partie arrière du véhicule utilitaire (Figure 9a), partie isolée de l'habitacle du véhicule par une cloison. L'analyseur de NO₂ prélève l'air dans l'habitacle du véhicule par l'intermédiaire d'une ligne de prélèvement qui passe de l'autre côté de la cloison. Ainsi tous les appareils mesurent l'air au même endroit (figure 9b).

Dans un souci d'harmonisation des conditions de prélèvement, les trajets en voiture ont été réalisés fenêtres fermées et la ventilation positionnée à vitesse basse (vitesse 1 sur 4).

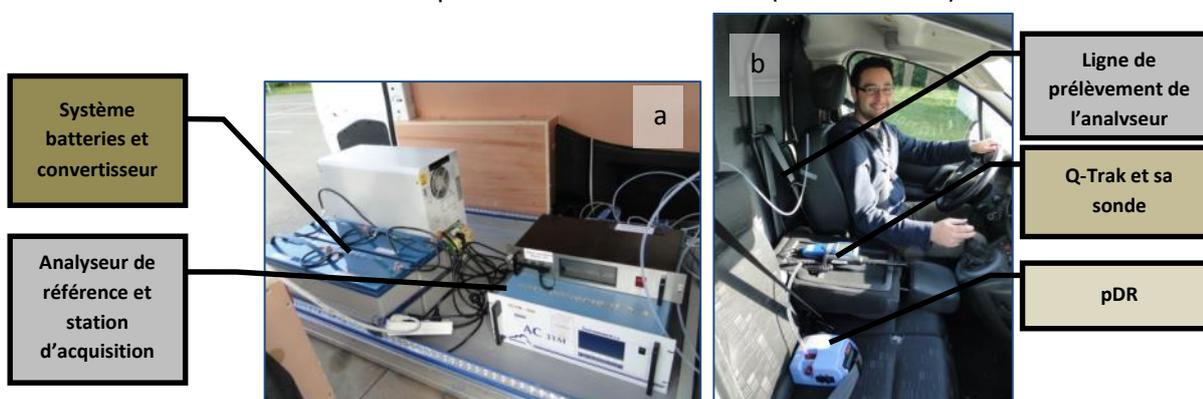


Figure 9 : Dispositif de mesure à l'intérieur de l'habitacle du véhicule

Les mesures de concentrations dans les autres modes de transport : Pour les autres modes de transports (tramway, vélo, marche et bus), les instruments de mesure portatifs sont placés dans un sac à dos compartimenté. La sonde de mesure du Q-Trak et la ligne de prélèvement du pDR sont fixées sur les bretelles du sac à dos pour représenter au mieux l'exposition des personnes au cours de la respiration (figure 10).

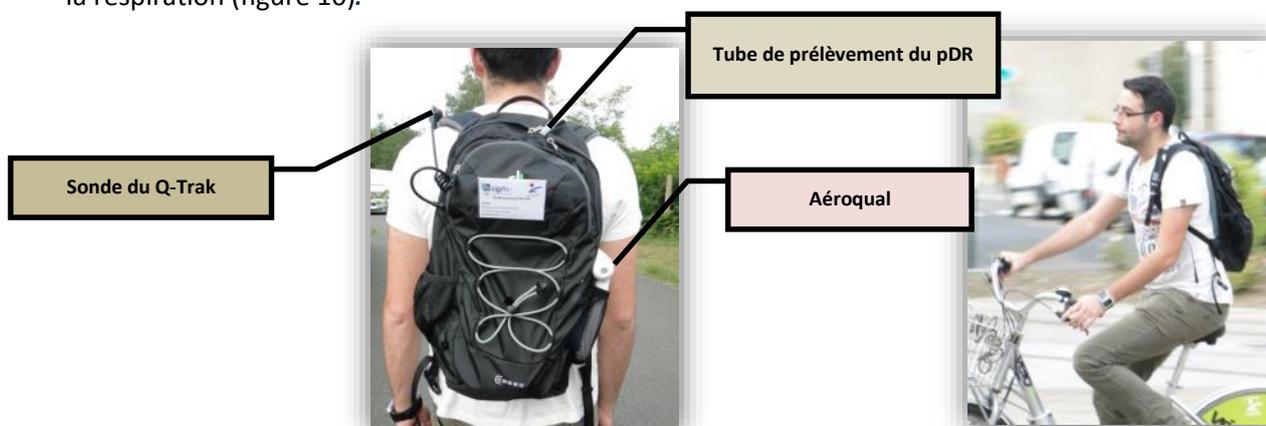


Figure 10 : Dispositif de mesure utilisé pour les autres modes de transport (bus, vélo, marche, tramway)

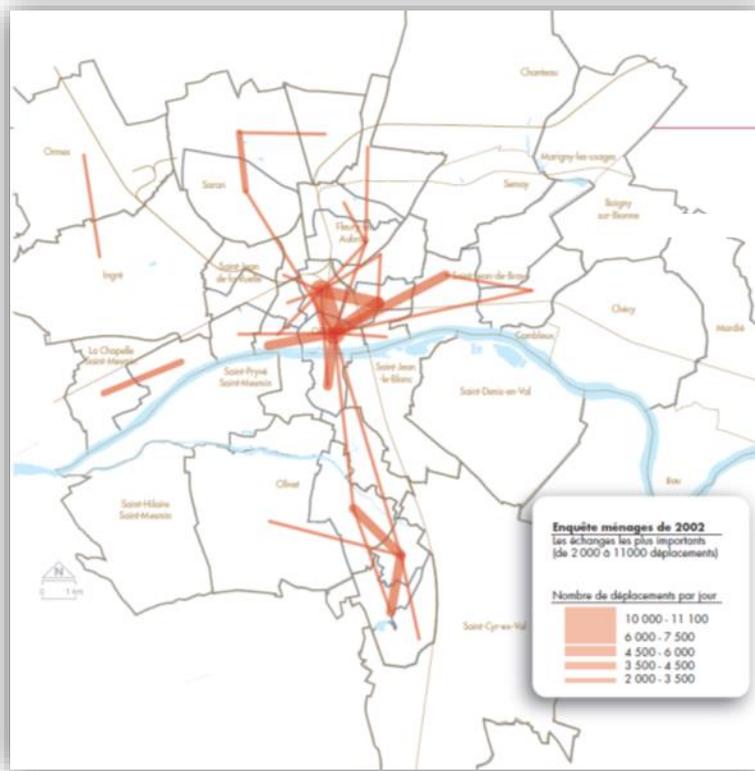


Figure 12 : Les plus importantes liaisons entre secteurs issues de l'enquête ménages – Source : enquête ménages 2002

L'inventaire des flux de migrations domicile-travail de l'agglomération orléanaise (tableau 3), réalisé par l'INSEE en 2007 montre également que les migrations alternantes au sein de l'Agglo, sont plus importantes inter-Orléans et inter-Périphérie Nord. C'est ensuite entre ces deux secteurs que les flux sont les plus importants.

		SECTEUR DE TRAVAIL									
		Orléans	Périphérie Nord	Périphérie Sud	Couronne Nord	Couronne Sud	reste Loiret	reste Centre	Île-de-France	reste France	Etranger
SECTEUR DE RÉSIDENCE	Orléans	28 371	11 448	3 474	1 379	650	1 168	870	1 852	386	22
	Périphérie Nord	14 192	27 266	2 376	2 363	466	1 390	837	1 682	353	23
	Périphérie Sud	8 650	3 562	6 142	444	537	377	422	614	182	22
	Couronne Nord	5 140	8 116	990	8 660	585	2 146	767	528	191	24
	Couronne Sud	5 323	2 662	2 041	1 131	5 553	1 138	610	341	144	24
	reste Loiret	2 909	3 768	580	1 864	607	87 583	2 025	11 815	2 112	100
	reste Centre	3 822	2 156	697	1 591	756	2 626				
	Île-de-France	959	312	81	113	38	2 805				
	autres	1 338	581	176	230	73	2 500				

AUAO - Source : Insee RP 2007 FD MOBPRO

Tableau 3 : Travailleurs de l'Agglo : types et pourcentage d'utilisation des transports en 2007 [15]

Même si les déplacements Nord-Sud ne sont pas prédominants sur l'Agglo, ils sont les plus embouteillés et notamment aux heures de pointe. En effet le franchissement de la Loire ne peut se faire que via 5 ponts. Un engorgement en amont et/ou en aval de ces ponts est systématique le matin et le soir.

Les pourcentages d'utilisation des différents modes de transports au sein de l'aire urbaine d'Orléans sont détaillés dans le tableau 4. Dans l'aire urbaine, 3 actifs sur 4 utilisent leur voiture pour se rendre au travail. La voiture est le moyen de transport prédominant. Puis viennent les transports en commun pour Orléans et sa périphérie. Le troisième moyen de déplacement est la marche si l'on ne considère qu'Orléans même. Les deux roues (*la classification des modes de transport utilisée ici ne distingue pas les deux roues motorisés et les vélos*) sont en dernière position. Toutefois cette étude statistique a été réalisée avant la mise en place de Vélo+ (vélo en libre-service) et l'ajout de plus de 100 km d'aménagements cyclables sur l'Agglo.

Types de transports	Couronne	Périphérie	Orléans
Voiture	85%	79%	60%
Transports en commun	3%	10%	18%
Deux roues	3%	5%	6%
Marche à pied	4%	5%	15%
Pas de transport	5%	1%	1%

Tableau 4 : Mode de déplacements pour le trajet domicile-travail – Source INSEE RP 2007 [17]

Les chiffres concernant la fréquentation du tramway A, du tramway B et des lignes de bus sont décrits en Annexe 3.

L'une des préoccupations pour cette étude, est de réaliser des parcours d'une durée comparable à ceux réalisés par les usagers des transports dans l'agglomération orléanaise. Le temps de déplacement moyen en heures pleines pour l'aire urbaine d'Orléans est d'environ 22,1 minutes correspondant également à la moyenne française pour l'année 2009 [19]. Les durées moyennes de déplacement selon les modes de transport utilisés peuvent également être approchées. En région Centre-Val de Loire, un trajet en transport en commun dure en moyenne 34 minutes, pour 17 minutes en voiture. La durée d'un trajet pour la marche et le vélo est de l'ordre de 12 minutes [19].

b) Les trajets réalisés

Sur la base de l'ensemble des données recueillies et décrites précédemment, il nous a donc été possible de proposer différents trajets représentatifs de ceux fréquemment utilisés au sein de l'Agglo. Ces trajets ont été présentés et validés avec l'agglomération Orléanaise.

Les mesures de concentrations au cours de ces différents trajets ont été réalisées lors de périodes anticycloniques en privilégiant les plages horaires présentant le maximum de circulation. Ainsi ils ont été réalisés entre 7h et 9h en matinée, et entre 16h30 et 19h30 en fin d'après-midi, en semaine et en dehors des vacances scolaires.

Le tableau 5 décrit les différents trajets effectués suivant les directions des échanges majoritaires sur l'Agglo. Ces trajets ont été réalisés en utilisant différents moyens de transports. Les cartes illustrant ces trajets sont présentées en annexe 4.

Axe principal	Nom des trajets	Date de réalisation	Modes de transport concernés
<u>Axe Nord Sud</u>	La Source – Place Gambetta	20/11/2014 (effectué le matin)	Voiture + Tramway A + Marche
	Chécy – La Source	Du 07/12/2014 au 12/12/2014 (effectué le matin et le soir)	Voiture (Aller-Retour matin et soir)
	TRAM A	13/01/2015 (matin)	Tramway A
	La Source / Saran – Ligne 1	14/01/2015 (soir)	Bus
<u>Axe Est-Ouest</u>	Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe	02/12/2014 (effectué le soir)	Voiture 1 (via les quais) Voiture 2 (via la Tangentielle) Tramway B
	Mairie de La Chapelle-Saint- Mesmin – Centre de Conférences	19/11/2014 (effectué le matin)	Voiture Bus Vélo
<u>Intra Orléans</u>	Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle	04/12/2014 (effectué le soir)	Voiture Vélo Tramway A Marche
	Gare d'Orléans – Cité Coligny	25/11/2014 (effectué le matin)	Voiture Vélo Tramway A + Marche
	Place d'Arc – Place de Loire	26/11/2014 (effectué le soir)	Voiture Vélo Tramway A+ Marche

Tableau 5 : Les différents trajets réalisés

Pour compléter ces mesures et afin de réaliser une cartographie des concentrations des polluants et des vitesses pour le circuit voitures, le tableau 6 décrit trois parcours qui ont été réalisés avec pour objectif d'emprunter un maximum d'axes en utilisant un seul mode de transport.

Nom des trajets	Date de réalisation	Modes de transport concernés
Cartographie piéton	03/10/2014 – 15/10/2014 (effectué le matin)	Marche
Cartographie voiture	03/10/2014 – 18/02/2015 (effectué le matin)	Voiture
Cartographie vélo	17/10/2014 (effectué le soir)	Vélo

Tableau 6 : Les différents parcours destinés à la cartographie

La distance totale parcourue pour la réalisation de l'ensemble des trajets est de l'ordre de 1 000 km représentant une durée totale d'échantillonnage supérieure à 70 heures de mesures enregistrées. Une dizaine de personnes ont été mobilisées afin d'effectuer les différents trajets. Ces chiffres témoignent de la quantité importante de données récoltées.

L'ensemble de ces données ont été soumises à un protocole de validation qui nous permet de ne conserver que les données fiables. Ainsi, la suite du rapport se consacrera essentiellement aux concentrations valides récoltées au cours des différents trajets réalisés.

II. Principaux résultats : évaluation de la qualité de l'air dans les différents modes de transports utilisés

Les principaux résultats issus de l'évaluation de la qualité de l'air en fonction des différents modes de transports utilisés au sein de l'Agglo sont décrits dans cette partie. Nous détaillerons les résultats en fonction du mode de transport utilisé en commençant par l'évaluation de la qualité de l'air dans l'habitacle du véhicule, mode de transport représentant la grande majorité d'utilisation pour les déplacements au sein de l'Agglo. Nous poursuivrons ensuite notre analyse en nous intéressant aux modes de transports impliquant la marche à pied et le vélo pour terminer sur les résultats issus des transports en commun (bus et tramway).

L'évaluation de la qualité de l'air par modes de transports permettra ainsi de réaliser une synthèse des résultats obtenus en s'intéressant aux situations à risque sur l'exposition de la population.

Pour éviter la redondance et avoir un échantillon statistique plus important, les niveaux des polluants observés seront discutés sans distinction de trajet. Des exemples de résultats de trajets seront donnés pour illustrer les constatations. Les synthèses statistiques (durée, concentrations, maxima, ...) de tous les parcours sont regroupées en annexe 4. Certains parcours sont plus détaillés en annexe 5.

A. Voiture

Rappelons ici que les niveaux enregistrés dans cette partie sont ceux accumulés dans l'habitacle et non ceux existants à l'extérieur. Autrement dit les niveaux observés sont ceux respirés par l'automobiliste le long de son trajet dans la configuration décrite dans la partie instrumentation (cf. I-A-e) Protocole instrumental)

a) Le dioxyde d'azote NO₂

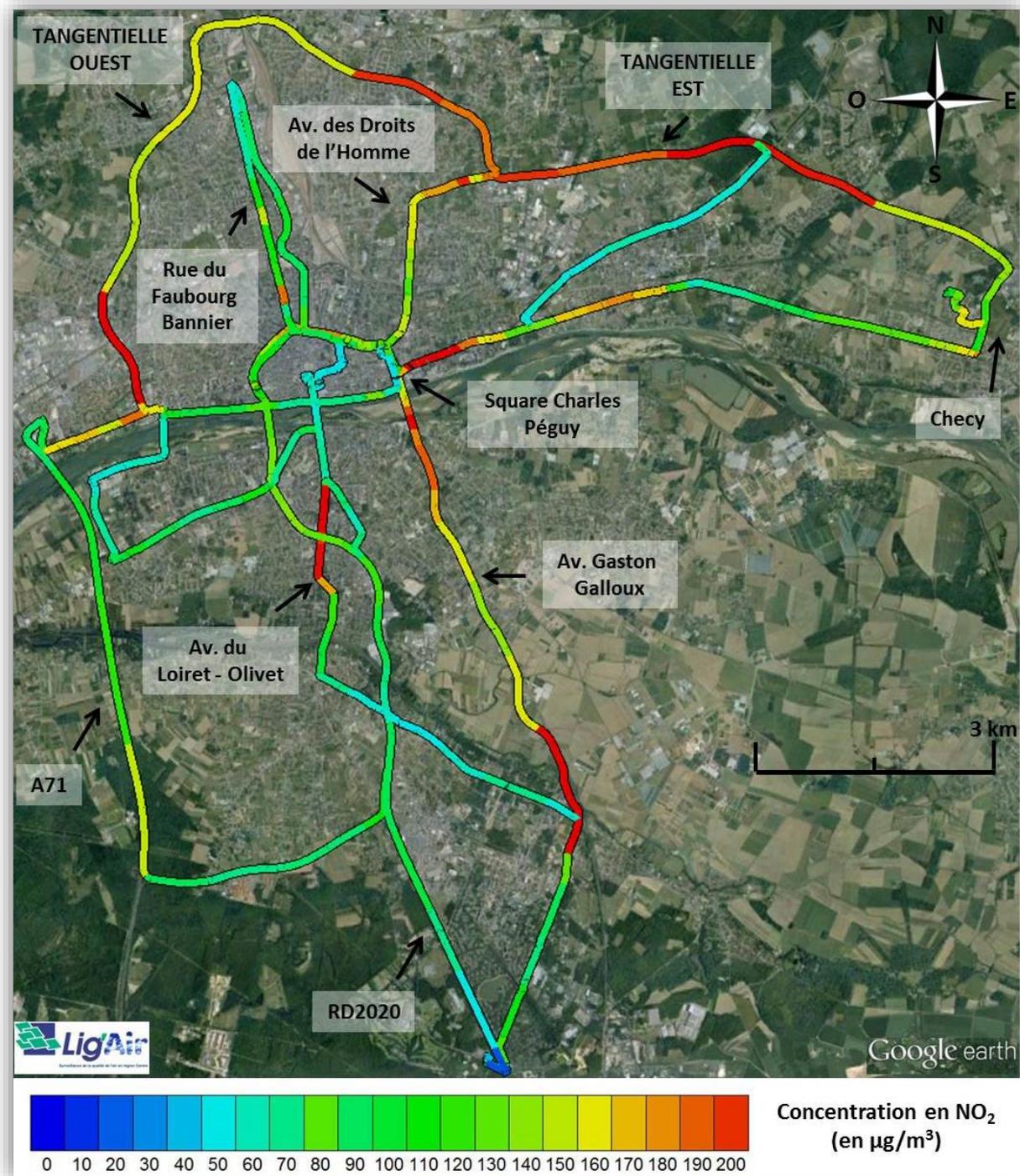
Les concentrations de dioxyde d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{mn}$) obtenues à l'intérieur de l'habitacle du véhicule ainsi que les vitesses de circulation sont représentées respectivement sur les figures 13a et 13b. Ces résultats ont été obtenus en réalisant les différents trajets voiture discutés précédemment (tableaux 5 et 6).

Les niveaux en NO₂ respirés par l'automobiliste au cours de ces trajets dans l'agglomération orléanaise subissent une grande variation allant de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{mn}^{-1}$ à plus de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3.\text{mn}^{-1}$ suivant l'axe de circulation. La figure 13 montre en outre que sur un même axe de circulation, le conducteur peut être exposé à de fortes variations de dioxyde d'azote comme nous pouvons le constater par exemple sur les axes du Faubourg Bourgogne, l'A10, l'A71 ou la RD2020 (figure 13a).

D'une manière générale, les niveaux les plus importants ont été observés essentiellement sur l'avenue Gaston Galloux, au square Charles Péguy, sur la rocade tangentielle (Est et Ouest), sur la rue du Faubourg Bourgogne ainsi que sur les grands boulevards du centre-ville d'Orléans tels que le

boulevard Rocheplatte, le boulevard Jean Jaurès, l'avenue Jean Zay et l'avenue des Droits de l'Homme ainsi que l'avenue du Loiret à Olivet. La concentration la plus importante ($440 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{mn}^{-1}$) a été observée le 09 décembre 2014 sur le Faubourg Bourgogne (axe Nord-Sud).

La figure 13b donne la spatialisation des vitesses de circulation du véhicule lors de ces trajets. A l'instar des concentrations en NO_2 , pour un même axe les vitesses peuvent subir de fortes variabilités comme nous pouvons le constater par exemple sur le faubourg Bourgogne, l'avenue Gaston Galloux, la RD2020 ... La vitesse maximale étant évidemment observée sur l'A71.



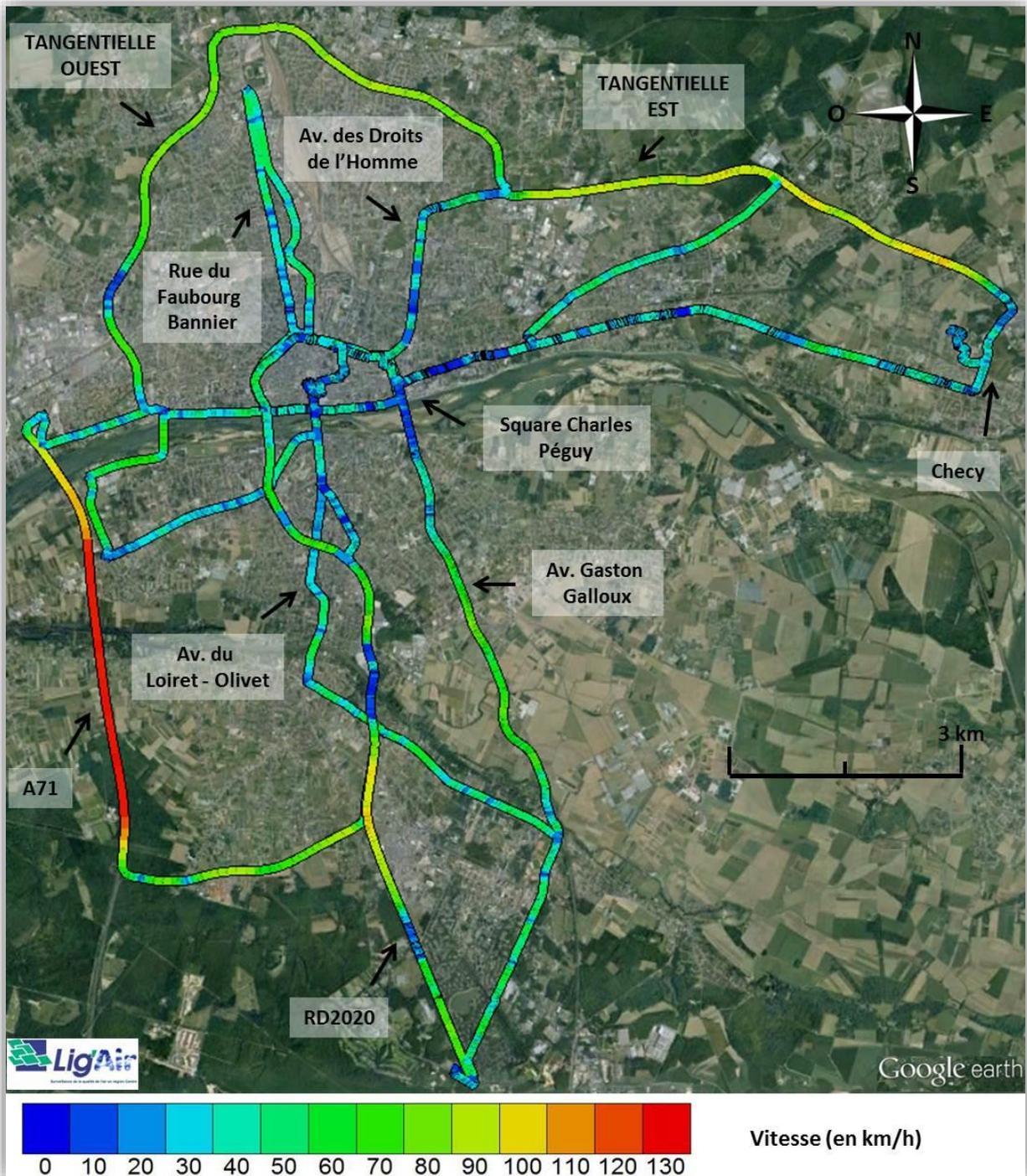


Figure 13 : Cartographie générale des concentrations en NO₂ mesurées à l'intérieur de l'habitacle (a) et des vitesses (b) du véhicule le 03/10/14 (source Google Earth)

L'analyse des figures 13a et 13b montre clairement que les fortes concentrations en NO₂ sont enregistrées dans la majorité des cas lorsque les vitesses de circulation sont faibles traduisant la présence de difficultés de circulation (embouteillage, feux, ...). A titre d'exemple, la concentration maximale en NO₂ (440 µg/m³.mn⁻¹) enregistrée sur la rue du Faubourg Bourgogne, est associée à une vitesse de circulation de l'ordre de 5 km/h. Sur la portion A71 associée à la vitesse maximale (126 km/h) les niveaux de NO₂ enregistrés étaient de l'ordre de 100 µg/m³.mn⁻¹.

Cette anti-corrélation pressentie à la suite de l'analyse des 2 cartographies est bien mise en évidence sur les figures 14 et 15 présentant l'évolution des concentrations en NO₂ et des vitesses de circulation lors des trajets effectués le 3 octobre et le 20 novembre 2014. Ces deux graphes montrent clairement que l'augmentation des concentrations en NO₂ correspond généralement à une diminution de la vitesse de circulation générée par la présence de feux tricolores, de difficultés de passage des ponts ou carrefours chargés par exemple.

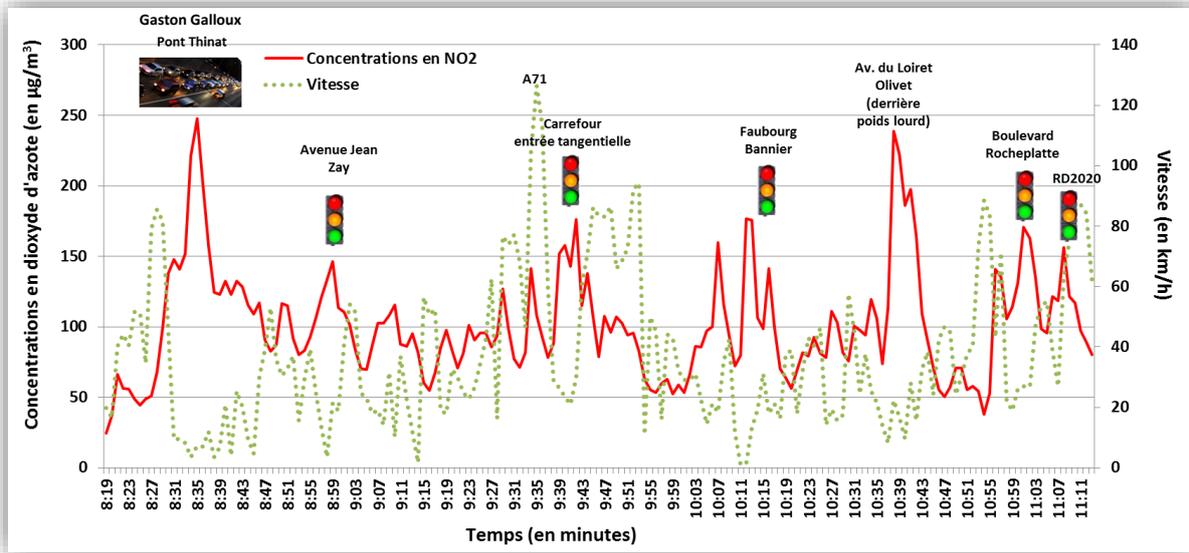


Figure 14 : Evolution de la concentration de NO₂ et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014

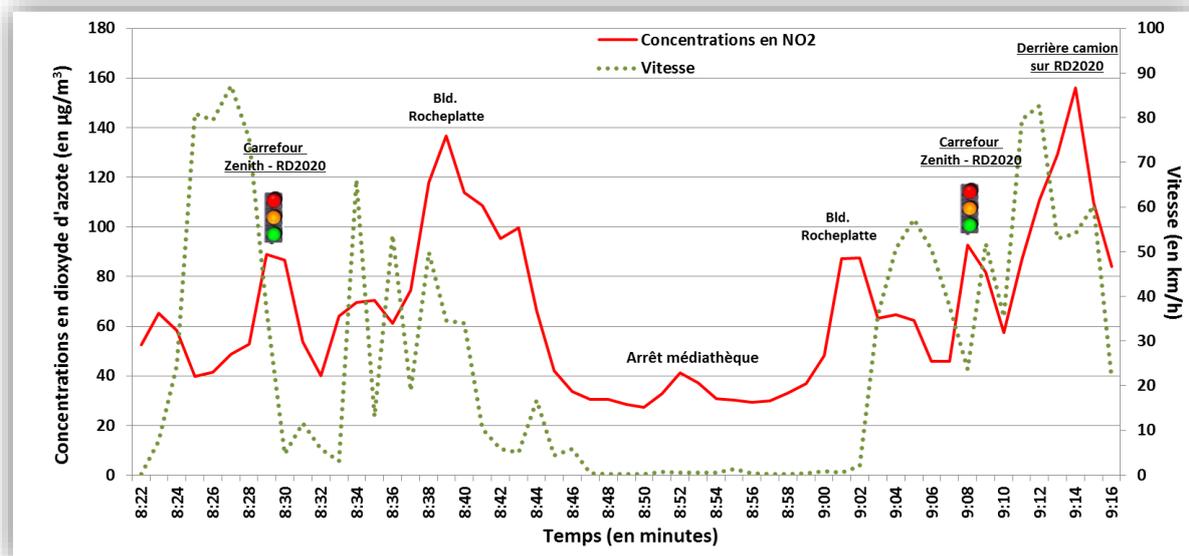


Figure 15 : Evolution de la concentration de NO₂ et de la vitesse au cours du trajet du 20/11/2014

La figure 15 montre en outre que même si dans des situations de circulation fluide (entre 9h12 et 9h16 sur le graphe), les niveaux peuvent aussi augmenter si l'automobiliste est juste derrière un véhicule fortement émetteur tel qu'un camion, un bus, ou de manière générale un véhicule mal réglé ... La conjugaison d'une difficulté de circulation et la présence d'un véhicule fortement émetteur peut

conduire à des niveaux encore plus importants dans l'habitacle comme nous pouvons le constater sur la figure 14 entre 10h35 et 10h43.

La relation qui existe entre vitesse de circulation et émissions des oxydes d'azote est une relation complexe qui dépend non seulement de la vitesse de circulation mais aussi du parc automobile, de la typologie des voies empruntées, de la topographie des zones étudiées ... Cette relation a déjà été étudiée par Lig'Air [21]. Elle est décrite par une courbe en U (figure 16). A faible vitesse (30-50 km/h), les émissions augmentent lorsque la vitesse diminue. A forte vitesse de circulation (> 70 km/h), les émissions croissent avec la vitesse. Elles sont minimales entre 50 et 70 km/h.

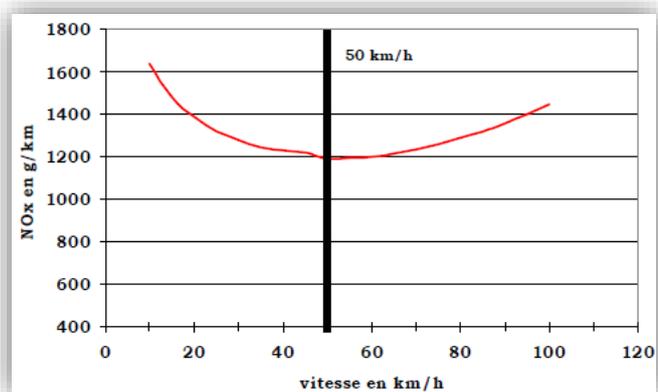


Figure 16 : Variation des émissions en fonction de la vitesse de circulation pour un parc automobile constitué de 1000 véhicules en circulation urbaine

Dans le cas de l'étude AST'AIR, les concentrations respirées par l'utilisateur sont la résultante de deux phénomènes : les émissions directes des oxydes d'azote par les véhicules motorisés et le phénomène d'accumulation de ces niveaux dans l'habitacle. La figure 17, présentant les concentrations de NO₂ à l'intérieur de l'habitacle en fonction des vitesses de circulation, montre que les concentrations les plus élevées sont associées aux faibles vitesses (inférieures à 50 km/h). Lorsque la vitesse augmente (supérieure à 70 km/h), les concentrations en NO₂ associées restent élevées sans pour autant dépasser les niveaux observés à faible vitesse. Ce comportement peut être rapproché de celui observé sur la relation Vitesse/Emissions (figure 16).

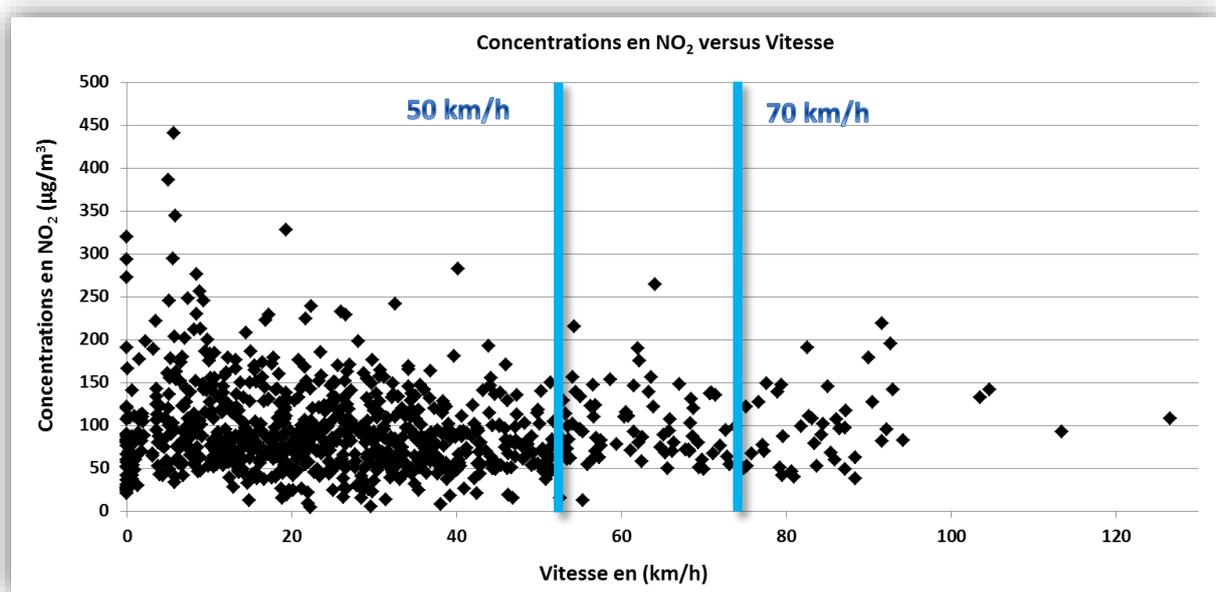


Figure 17 : Comparaison des concentrations en NO₂ mesurées dans l'habitacle en fonction de la vitesse du véhicule

Cette discussion suggère que les concentrations auxquelles sont exposés les usagers des voitures sont conditionnées par au moins 3 paramètres :

- ✓ la fluidité de la circulation,
- ✓ l'intensité des émissions des véhicules environnants,
- ✓ l'accumulation des concentrations dans l'habitacle de la voiture.



Le tableau 8 récapitule le niveau moyen d'exposition, les concentrations maximales atteintes à l'intérieur de l'habitacle ainsi que la durée moyenne du trajet pour l'ensemble des parcours effectués. Ces concentrations sont aussi comparées à celles observées en air extérieur sur la station de mesure de Lig'Air en site de proximité automobile, station Gambetta.

	St-Pryvé- St Mesmin – Centre de Conférences	La Source – Médiathèque	Gare d'Orléans – Cité Coligny	Place d'Arc – Place de Loire	Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe	Croix St- Marceau – Place De Gaulle	Chécy – La Source	
Moyenne des parcours	A/R	A/R	A/R	A/R	Via quais (A/R)	Via Tang. (A/R)	Plusieurs A/R	Plusieurs A/R (matin et soir)
Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	104	78	69	96	112	161	87	88
Durée	23 min	25 min	10 min	16 min	22 min	25 min	6 min	52 min
Maximum atteint ($\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{mn}^{-1}$)	328	156	161	145	170	276	209	440
Station « Gambetta » ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	51	40	34	76	64	64	-	-

A/R : Aller/Retour

Tableau 7 : Concentrations moyennes et maximales de NO₂ mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Le tableau 8 montre que les durées des trajets varient de 6 à 52 minutes associées à une exposition allant de 69 à 161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par trajet. Cependant, quel que soit le trajet, les concentrations en NO₂ à l'intérieur de l'habitacle sont largement supérieures à celles mesurées en air ambiant par la station de Lig'Air.

Il est intéressant de remarquer que les deux itinéraires, empruntés pour la réalisation du trajet Bd Marie Stuart/Pont de l'Europe, fournissent des concentrations d'exposition différentes pour une durée de parcours équivalente. La réalisation de ce parcours en passant par les quais conduit dans le cadre de cette étude à une exposition au NO₂ moins importante que via la tangentielle. Le détail de ce trajet est disponible en annexe 5.



Le dioxyde d'azote : ce qu'il faut retenir

Les concentrations en dioxyde d'azote mesurées à l'intérieur de l'habitacle peuvent atteindre des niveaux très importants en fonction du trajet et des conditions de circulation. Les plus fortes valeurs sont relevées lorsque le véhicule est dans les embouteillages et/ou à des intersections impliquant un fort trafic.

En fonction des véhicules les plus proches, les concentrations peuvent atteindre également des niveaux considérables (derrière un véhicule fortement émetteur par exemple).

L'espace clos que constitue l'habitacle d'un véhicule, limite fortement l'évacuation des gaz polluants. Ainsi les teneurs respirées par l'automobiliste sont largement supérieures à celles mesurées en air ambiant (stations de mesures).

Par conséquent, la voiture ne constitue pas une barrière protectrice de la pollution. Au contraire, les prises d'air sont proches des pots d'échappements des véhicules. L'habitacle est un espace confiné essentiellement dépendant de l'air situé à proximité du véhicule. L'automobiliste peut être impacté par des « bouffées » de concentrations extrêmement importantes en NO₂ avec un temps d'exposition plus ou moins long en fonction des conditions de circulation.

b) Les particules en suspension PM₁₀

Les concentrations en particules en suspension PM₁₀ relevées à l'intérieur de l'habitacle enregistrent des valeurs moins importantes que pour le dioxyde d'azote. Les variations au cours d'un même parcours sont également moins prononcées comme le montre la figure 18 d'un parcours réalisé le 3 octobre 2014 sur un axe principal de l'Agglo.

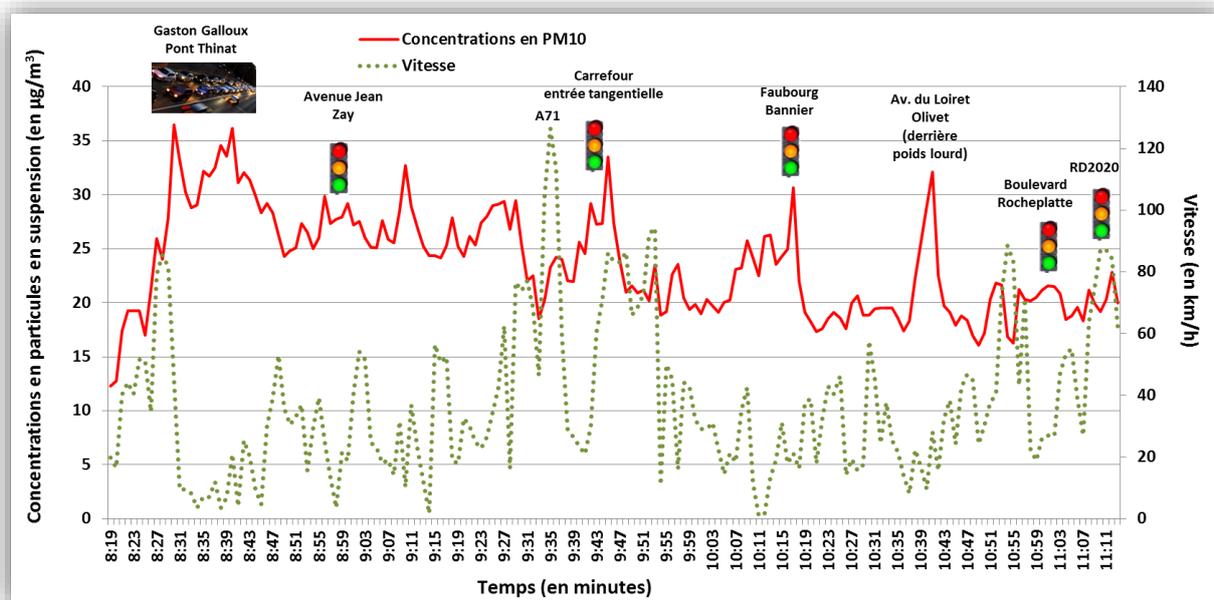


Figure 18 : Evolution de la concentration en PM₁₀ et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014

Toutefois comme pour le dioxyde d'azote, les plus fortes concentrations en particules en suspension PM₁₀ à l'intérieur de l'habitacle ont été relevées lors de situation d'embouteillage et/ou d'arrêt à un

carrefour comme nous pouvons le constater sur la figure 18 (carrefour entrée tangentielle, ...). L'anti-corrélation Vitesse de circulation/Concentrations PM₁₀ semble moins prononcée que celle observée dans le cadre du NO₂. Ceci est dû probablement à la présence de filtre dans l'habitacle puisque les émissions des PM₁₀ présentent les mêmes caractéristiques que celles des oxydes d'azote en fonction des vitesses de circulation.

Ainsi, les augmentations de poussières dans l'habitacle semblent être conditionnées par les mêmes paramètres que pour le dioxyde d'azote, à savoir :

- ✓ la fluidité de la circulation,
- ✓ l'intensité des émissions des véhicules environnants,
- ✓ l'accumulation des concentrations dans l'habitacle de la voiture.

Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations en particules peuvent différer d'un parcours à l'autre comme cela est montré dans le tableau 8. Les plus élevées par trajet ont été relevées à l'intérieur de l'habitacle au cours du trajet Gare d'Orléans – Cité Coligny avec une valeur de 28 µg/m³. A l'inverse, la valeur moyenne la plus faible a été enregistrée au cours du trajet Place d'Arc – Place de Loire avec 7,2 µg/m³. Malheureusement, suite à un problème technique sur le capteur, les concentrations en particules n'ont pas été enregistrées le jour où le maximum de NO₂ a été observé.

Il est aussi important de constater que les concentrations moyennes à l'intérieur de l'habitacle sont inférieures aux moyennes calculées à partir de la station trafic Gambetta qui mesure en air ambiant et donc à l'extérieur du véhicule. Cette constatation peut s'expliquer en partie par la filtration de l'air à l'entrée de l'habitacle.

Contrairement à ce qui a été observé pour le NO₂, l'exposition aux PM₁₀ lors du trajet Bd Marie Stuart-Pont de l'Europe, est équivalente pour l'automobiliste quel que soit le parcours emprunté.

	Saint-Pryvé- Saint-Mesmin – Centre de Conférences	La Source – Médiathèque	Gare d'Orléans – Cité Coligny	Place d'Arc – Place de Loire	Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe	Croix Saint- Marceau – Place De Gaulle	Chécy – La Source	
Moyenne des parcours	A ¹	A/R	A/R	A/R	Via quais (A/R)	Via Tang. (A/R)	Plusieurs A/R	Plusieurs A/R ² (matin et soir)
Niveau d'exposition (µg/m³)	14,9	7,7	28,0	7,2	12,2	10,9	16,2	8,4
Durée	23 min	25 min	10 min	16 min	22 min	25 min	6 min	52 min
Maximum atteint (µg/m³.mn⁻¹)	27,5	13,3	46,9	9,5	18,5	17,3	34,4	30,2
Station « Gambetta » (µg/m³)	24,8	26,7	45,8	34,9	22,2	21,3	37,5	18,9

Tableau 8 : Concentrations moyennes et maximales en PM₁₀ mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Un complément d'étude permettrait de caractériser plus précisément le type de particules respirées dans la voiture. Il serait intéressant notamment de voir si la quantité de particules très fines et ultra-fines augmente lorsque la circulation se densifie ...

Les particules en suspension PM₁₀ : ce qu'il faut retenir

Les concentrations en particules en suspension mesurées à l'intérieur de l'habitacle restent relativement homogènes. Cependant, comme pour le dioxyde d'azote, les plus fortes valeurs sont relevées lors d'embouteillages, des arrêts aux feux rouges mais également selon la proximité de véhicule émetteur.

Les teneurs en poussières relevées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule sont en moyenne inférieures à celles mesurées en station de proximité automobile. Cette différence de concentration peut être expliquée par la filtration d'air introduit dans l'habitacle.

c) Le monoxyde de carbone CO

La figure 19 présente un exemple d'évolution de la concentration de CO et de la vitesse au cours du parcours effectué le 3 octobre 2014 sur les principaux axes routiers de l'Agglo.

Les concentrations en monoxyde de carbone sont globalement faibles et très variables. Tout comme pour le dioxyde d'azote, les niveaux ont fortement augmenté lorsque le véhicule s'est trouvé bloqué dans les embouteillages à l'approche du pont Thinat.

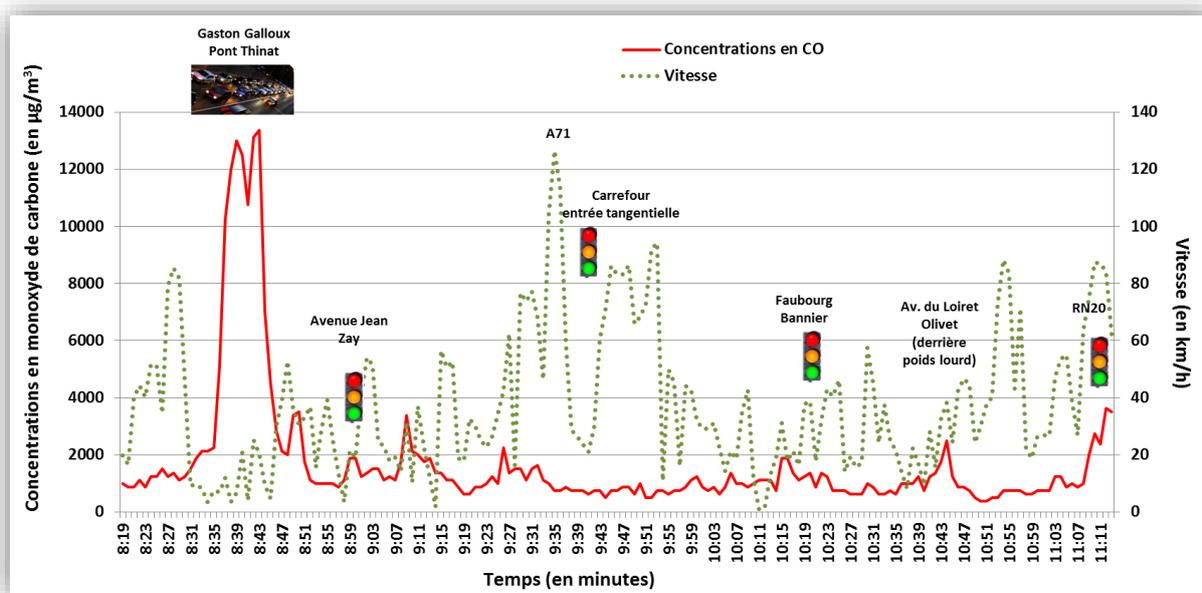


Figure 19 : Evolution de la concentration en CO et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014

La présence de feux tricolores ne semble pas engendrer systématiquement de fortes concentrations en CO. Ces dernières augmentent rapidement en présence d'embouteillages et/ou de ralentissement comme c'est le cas entre l'avenue Galloux et le pont Thinat. Les concentrations les plus importantes ont été observées sur le faubourg Bourgogne en même temps que les niveaux maxima de NO₂.

Les sources d'émissions de monoxyde de carbone sont proches de celles du dioxyde d'azote, principalement issu du trafic routier. Ainsi, les facteurs d'influence responsables d'une augmentation de monoxyde de carbone sont proches de ceux responsables d'une augmentation de dioxyde d'azote.

Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations moyennes en monoxyde de carbone sont très variables d'un trajet à l'autre (tableau 9).

Lig'Air ne mesure plus ce polluant sur ses sites de mesures d'Orléans puisque les concentrations sont faibles et respectent largement les valeurs réglementaires en air extérieur.

Sur l'ensemble des parcours effectués, les concentrations moyennes par trajet varient de 469 µg/m³.mn⁻¹ (Gare d'Orléans – Cité Coligny) à 1 436 µg/m³.mn⁻¹ (Croix St-Marceau-Place De Gaulle). Les valeurs instantanées maximales ont été relevées sur le faubourg Bourgogne lors d'un trajet de Chécy à La Source atteignant une valeur de 15 312 µg/m³.mn⁻¹.

	Saint-Pryvé- Saint Mesmin – Centre de Conférences	La Source – Médiathèque	Gare d'Orléans – Cité Coligny	Place d'Arc – Place de Loire	Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe	Croix Saint- Marceau – Place De Gaulle	Chécy – La Source	
Moyenne des parcours	A/R	A/R	A/R	A/R	Via quais (A/R)	Via Tang. (A/R)	Plusieurs A/R	Plusieurs A/R (matin et soir)
Niveau d'exposition (µg/m³)	898	835	469	1 427	1 331	579	1 436	984
Durée	23 min	25 min	10 min	16 min	22 min	25 min	6 min	52 min
Maximum atteint (µg/m³.mn⁻¹)	3 712	5 104	1 508	3 248	3 596	4 872	4 756	15 312

Tableau 9 : Concentrations moyennes et maximales en CO mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Le monoxyde de carbone CO : ce qu'il faut retenir

Les concentrations en monoxyde de carbone mesurées à l'intérieur de l'habitacle sont très variables d'un trajet à l'autre mais globalement toujours à des niveaux faibles. Comme pour le dioxyde d'azote et les particules, les plus fortes valeurs sont relevées lors d'embouteillage, des arrêts aux feux tricolores, ...

Ainsi, les concentrations en CO à l'intérieur de l'habitacle dépendent fortement des conditions de circulation et l'automobiliste peut temporairement être impacté par des « bouffées » de concentrations importantes en CO avec un temps d'exposition plus ou moins long.

En voiture, ce qu'il faut faire :

A proximité d'un véhicule trop émetteur, il est préconisé de fermer les fenêtres et la ventilation (ou la mettre en mode recyclage intérieur), si possible s'éloigner de ce véhicule. Une fois éloigné, aérer au maximum par ouverture des fenêtres si possible.

Dans la mesure du possible, prenez la route en dehors des heures de fort trafic.

L'habitacle d'une voiture est un espace confiné, l'introduction de sources de polluants supplémentaires dégradera encore plus la qualité de l'air respiré pour l'ensemble des passagers (ex : tabagisme).

B. Marche

La marche à pied représente environ 15% des déplacements domicile-travail dans Orléans. Elle est souvent combinée avec d'autres moyens de transports et est d'une durée relativement courte. Ainsi au cours de cette étude, en dehors de 2 matinées consacrées à un quadrillage à pied du centre-ville en vue de la réalisation d'une cartographie, les mesures faites par les piétons sont essentiellement extraites de parcours d'intermodalité avec des transports en commun.

Les concentrations (mesurées par minute) en dioxyde d'azote NO₂ et en particules en suspension PM₁₀ relevées à pied sont cartographiées sur les figures 20 et 21. Celles-ci présentent les concentrations de ces deux polluants échantillonnés sur deux matinées de prélèvement : le 03/10/2014 et le 15/10/2014. La zone échantillonnée est l'hyper-centre de l'agglomération Orléanaise, zone qui est la plus fréquentée par les piétons. De par l'étendue de cette zone (plus de 30 km), les mesures ont été réalisées sur deux matinées.

Les conditions météorologiques entre ces deux jours ont été très différentes. En effet, le temps du vendredi 3 octobre 2014 était très sec, ensoleillé, chaud et accompagné d'un petit vent de secteur Nord-Est alors que pour la journée du mercredi 15 octobre au matin, le temps était plus froid, sec, nuageux et accompagné d'un vent faible de secteur Sud-Ouest.

Les concentrations en monoxyde de carbone sont restées très faibles sur l'ensemble du parcours. Elles ne sont donc pas illustrées dans ce paragraphe mais synthétisées dans le tableau 10.

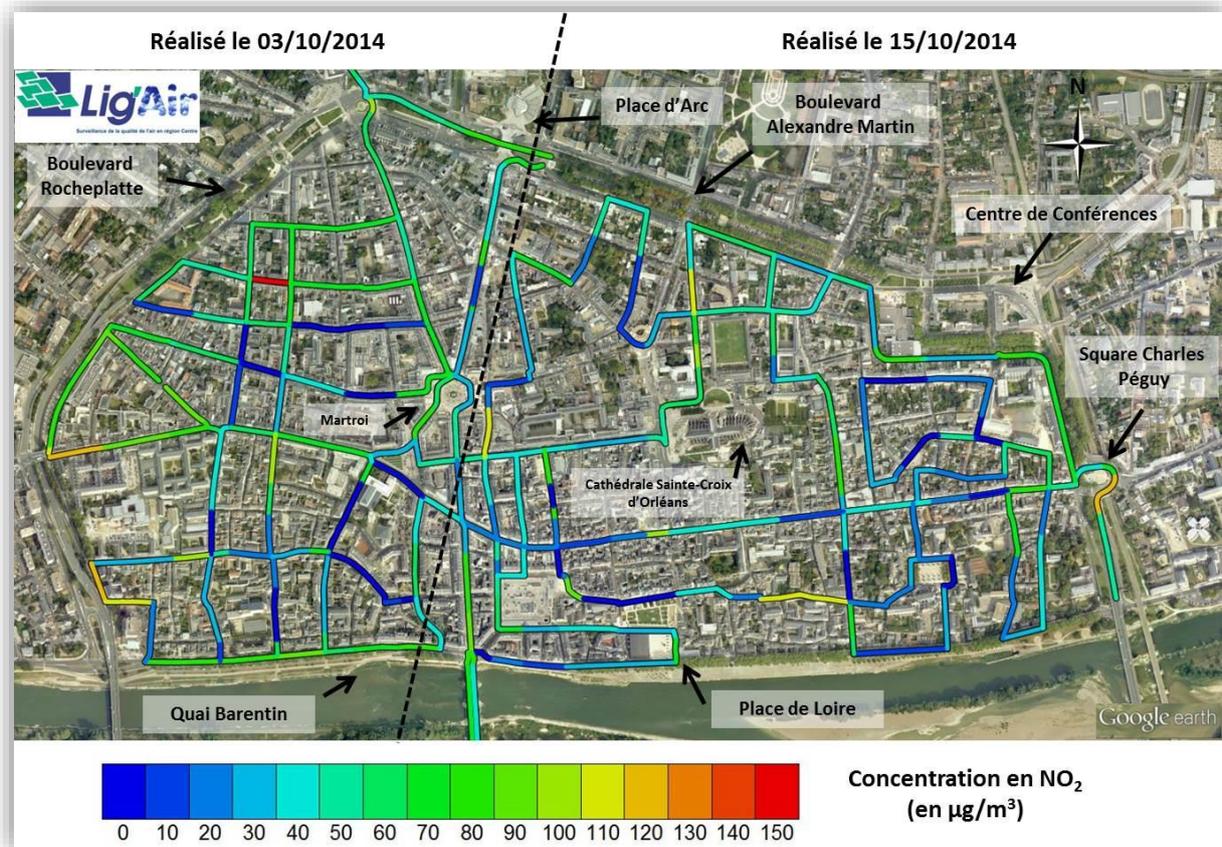


Figure 20 : Cartographie générale des concentrations en NO₂ mesurées à pied (Source Google Earth)

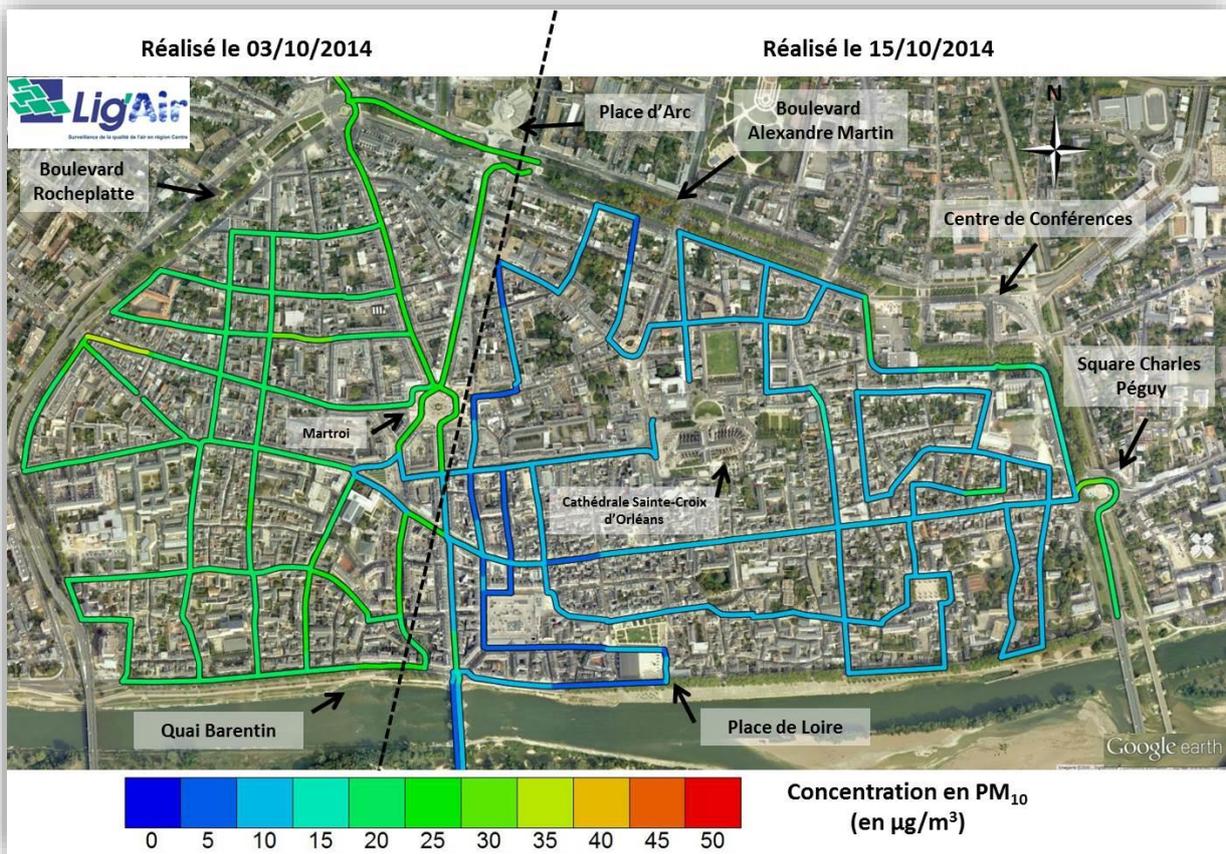


Figure 21 : Cartographie générale des concentrations en PM_{10} mesurées à pied (Source Google Earth)

Nous constatons clairement une très grande disparité des concentrations en NO_2 que peuvent respirer les piétons dans les rues de l'hyper-centre. Ces concentrations varient de 0 à plus de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ en fonction de la rue qu'emprunte le piéton. Au sein d'une même rue, le piéton peut être exposé à des niveaux très variables notamment en fonction de la présence ou non de véhicules motorisés, de la typologie de la rue (circulante, canyon, à sens unique, commerçante, ...). Les fortes concentrations sont plutôt enregistrées le long des grands boulevards (boulevard Rocheplatte, square Charles Péguy, boulevard Alexandre Martin, ...).

Certaines rues de l'hyper-centre présentent une importante variabilité de concentrations en dioxyde d'azote qui peuvent localement atteindre de fortes valeurs. A titre d'exemple, la figure 22 présente l'évolution des concentrations en NO_2 et en PM_{10} dans la rue de Bourgogne allant du square Charles Péguy vers la Place du Général De Gaulle le 15 octobre 2014.

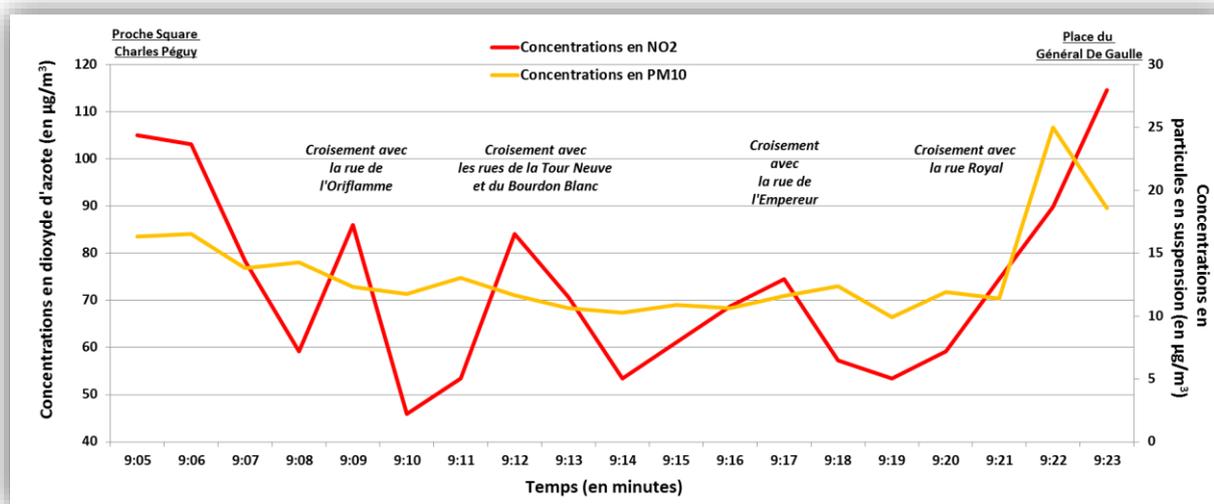


Figure 22 : Evolution des concentrations en NO₂ (courbe rouge) et en PM₁₀ (courbe orange) au cours de la traversée de la rue de Bourgogne (du Square Charles Péguy à la Place du Général De Gaulle) le 15/10/14.

Sur l'ensemble de la rue, les concentrations en NO₂ varient de 45 à 115 µg/m³ alors que celles des particules en suspension ne varient que de 10 à 25 µg/m³. Des augmentations de concentrations en NO₂ sont observées ponctuellement. Ces hausses de concentrations coïncident avec des carrefours impliquant des rues pouvant enregistrer un trafic automobile relativement important et fréquentées à ces heures de forte influence.

Concernant les concentrations en poussières PM₁₀, elles sont restées relativement homogènes, présentant une faible variation d'une rue à l'autre. Ponctuellement, des sauts de concentrations sont observés tel que dans la rue de Bourgogne durant la journée du 15 octobre ou autour du square Charles Péguy pour cette même journée.

La zone échantillonnée durant la journée du 3 octobre renferme une concentration moyenne supérieure d'un facteur deux environ par rapport à celle échantillonnée durant la journée du 15 octobre. La variation des concentrations entre ces deux zones est due essentiellement à la variabilité des conditions météorologiques. En effet les concentrations mesurées, entre ces deux journées, sur les stations fixes de Lig'Air enregistrent le même écart que celui enregistré par le piéton entre les deux parties de cartographie (tableau 10). Les concentrations en particules semblent être majoritairement influencées par le niveau de fond. Autrement dit l'impact direct de la circulation automobile semble être moins ressenti que pour le NO₂ (figure 22).

Le tableau 10 suivant présente le niveau moyen d'exposition, le maximum atteint au cours des différents trajets réalisés à la marche ainsi que les concentrations aux stations de mesures.

Nous constatons que les mesures en PM₁₀ relevées par les piétons sur l'ensemble des trajets sont très proches de celles mesurées à la station de fond urbaine de La Source mais restent inférieures à celles mesurées à la station trafic de Gambetta. Ces résultats montrent que le piéton a été impacté par une concentration de fond urbaine relativement homogène en poussières et présente sur l'ensemble de l'agglomération Orléanaise. A l'inverse, les concentrations en NO₂ sont bien supérieures à celles des stations de mesures. D'autant plus que le capteur utilisé sous-estime les niveaux de NO₂, indiquant ainsi que le piéton peut être exposé directement à des bouffées d'air

chargé en NO₂. En comparaison avec la voiture, le piéton n'est pas dans un espace confiné et ces bouffées d'air sont de courte durée (figure 22).

En ce qui concerne le monoxyde de carbone, les concentrations relevées au cours des différents parcours sont peu élevées entraînant une faible exposition des piétons.

	Cartographie 1 Piéton 03/10/2014			Cartographie 2 Piéton 15/10/2014			Gare d'Orléans – Médiathèque			Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle			Place de Loire – Place d'Arc		
Moyenne des parcours	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO
Niveau d'exposition (µg/m³)	64	25	1208	71	12	144	72	14	-	32	25	503	-	-	344
Durée	3h05			3h25			6 min			16 min			24 min		
Maximum atteint (µg/m³.mn⁻¹)	187	41	2900	168	25	2320	138	17	-	168	34	1740	-	-	1044
Station « La Source » (µg/m³)	-	24	-	-	12	-	-	3	-	-	25	-	14		
Station « Préfecture » (µg/m³)	37	-	-	26	-	-	21	-	-	22	-	-	35		
Station « Gambetta » (µg/m³)	57	54	-	55	28	-	39	26	-	-	35	-	72	34	

Tableau 10 : Concentrations moyennes et maximales en NO₂, PM₁₀ et CO mesurées à pied en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Ce qu'il faut retenir

Aux heures de grande influence, une exposition ponctuelle mais intense peut impacter le piéton en particulier en dioxyde d'azote. En fonction de la configuration des rues et de la proximité des émissions notamment les véhicules motorisés, le piéton sur le trottoir peut respirer des « bouffées » d'air chargé en NO₂. Cette exposition est de courte durée en comparaison à celle subie par les automobilistes.

Les concentrations en particules PM₁₀ respirées par le piéton sont analogues aux niveaux observés de manière continue par les stations de Lig'Air.

Les concentrations en monoxyde de carbone sont restées faibles par rapport à celles auxquelles est exposé l'automobiliste en période d'embouteillage.



TERRA - © Laurent Mignaux/MEDDE-MLET

C. Vélo

Les déplacements en vélo représentaient 3,3% en 2002 [16] sur l'agglomération orléanaise. Ceux réalisés dans le cadre de cette étude, l'ont été majoritairement en utilisant des Vélo+ (vélos en libre-service) (figure 23).



Figure 23 : Cycliste équipé du dispositif de mesure de la qualité de l'air

La figure 24 présente une cartographie des concentrations en dioxyde d'azote mesurées par minute au cours du trajet effectué en vélo le 17/10/2014 après-midi.

Comme pour les deux précédents modes de déplacement, l'exposition du cycliste présente également de grandes variations (de 25 à 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3.\text{mn}^{-1}$). Ces dernières sont également observées au sein d'un même axe comme on peut le constater sur la figure 24 (par exemple sur le boulevard Marie Stuart). Les concentrations maximales sont relevées au niveau des grandes intersections, les axes très fréquentés et/ou lorsque le cycliste est soumis directement aux gaz d'échappement (juste derrière un véhicule). Le maximum des concentrations a justement été observé lors de cette situation au carrefour entre l'avenue Dauphine et l'entrée du pont Georges V.

Comme dans le cas des piétons, ces pics sont sous forme de bouffées d'air chargé en polluants mais de courtes durées, les concentrations diminuent rapidement dès que le cycliste s'éloigne des véhicules émetteurs.

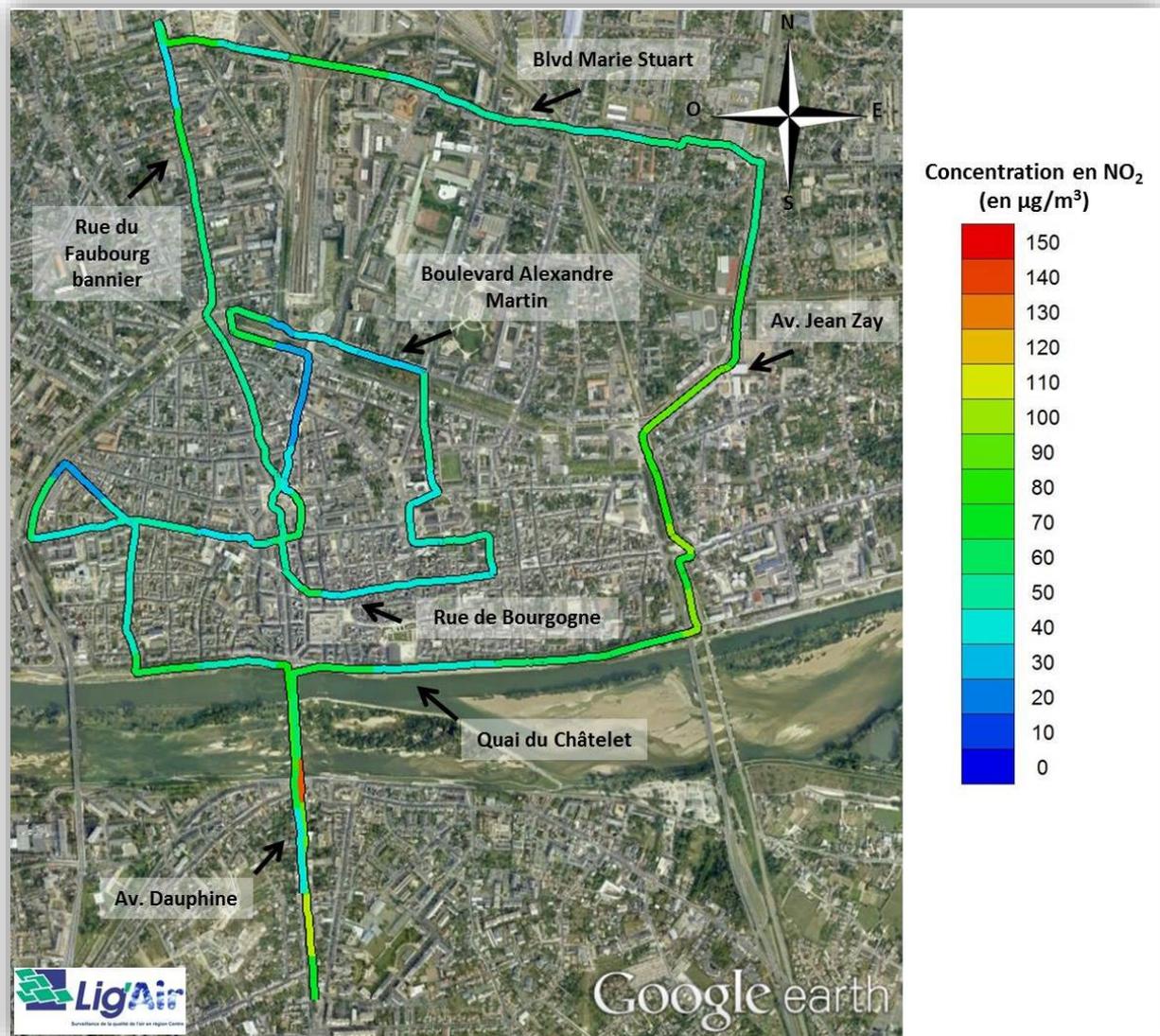


Figure 24 : Cartographies des concentrations en NO₂(en µg/m³) mesurées en vélo au cours du trajet du 17/10/2014 (Source Google Earth)

Globalement les niveaux enregistrés en centre-ville sont relativement plus faibles que ceux observés sur les grands axes (rue de la République, rue de Bourgogne par exemple). Ceci s’explique par le fait que ces rues sont moins fréquentées par les véhicules motorisés, et sont piétonnes ou semi-piétonnes. Ainsi les concentrations en dioxyde d’azote mesurées dans la rue de la République par exemple, sont parmi les plus faibles (27 µg/m³.mn⁻¹).

En ce qui concerne les PM₁₀, la cartographie des concentrations n’a pas été réalisée à cause des faibles concentrations observées ce jour-là. Elles ont présenté une variation allant de 2 à 13 µg/m³.mn⁻¹. Elles étaient en accord avec les niveaux observés sur les stations de Lig’Air (tableau 11). Les niveaux enregistrés durant les autres trajets ont montré l’existence d’une variabilité le long d’un même trajet comme nous pouvons le constater sur la figure 25. Comme pour le piéton, la variation des PM₁₀ était moins importante que celle observée sur les concentrations de NO₂.

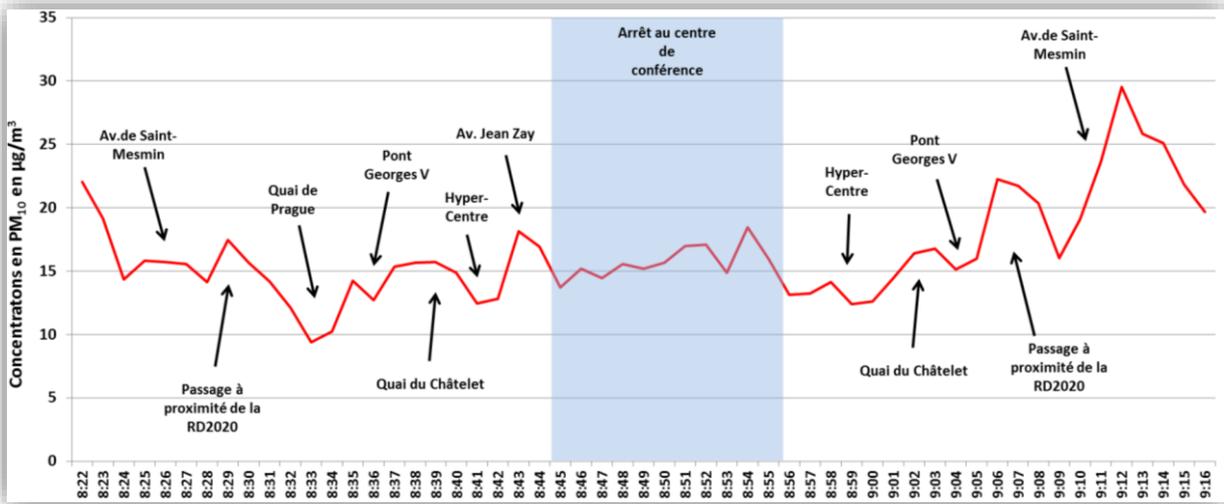


Figure 25 : Evolution des concentrations en PM₁₀ au cours du trajet allant de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin au centre de conférence le 19/11/14.

La figure 26 regroupe les variations des concentrations en monoxyde de carbone au cours de ce déplacement en vélo. Les niveaux respirés par le cycliste sont faibles et les variations les plus importantes correspondent tout comme pour le dioxyde d’azote aux grands carrefours. Les niveaux deviennent encore plus forts lorsque le cycliste est soumis directement aux pots d’échappement.

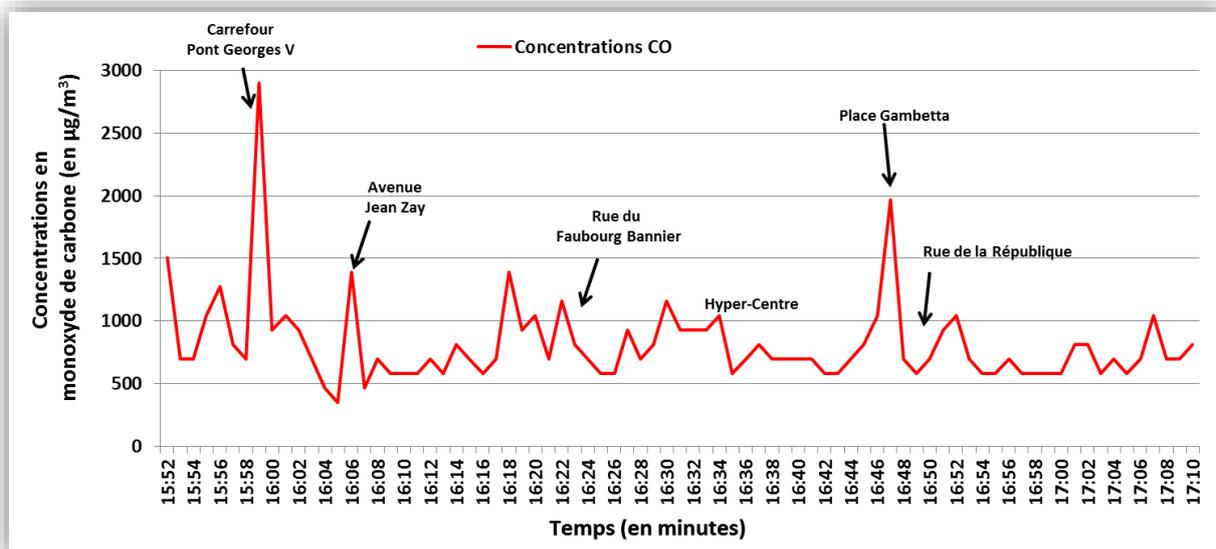


Figure 26 : Concentrations en CO (en µg/m³) mesurées en vélo au cours du trajet du 17/10/2014

Le tableau 11 présente le niveau moyen d’exposition, le maximum atteint en NO₂, en PM₁₀ et en CO au cours des différents trajets réalisés à vélo ainsi que les concentrations sur la station de mesures de Lig’Air à Gambetta. Les concentrations en PM₁₀ ont été généralement inférieures aux mesures relevées à la station trafic de Gambetta (représentative de la qualité de l’air à proximité des émissions issues du trafic routier). Malheureusement en ce qui concerne le NO₂, suite à des problèmes techniques, les mesures de ce polluant sur les deux derniers trajets ont été invalidées. Les teneurs en monoxyde de carbone restent faibles sur l’ensemble des trajets réalisés.

	Cartographie Vélo 17/10/2014			Saint-Pryvé-Saint- Mesmin – Centre de Conférences			Croix Saint- Marceau – Place De Gaulle			Gare d'Orléans – Cité Coligny			Place d'Arc – Place de Loire		
<u>Moyenne des parcours</u>	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO	NO ₂	PM ₁₀	CO
Niveau d'exposition (µg/m ³)	57	4	816	39	17	-	38	38	-	-	35	-	-	12	-
Durée	1h18			19 min			11 min			7 min			8 min		
Maximum atteint (µg/m ³ .mn ⁻¹)	168	13	2900	122	30	-	174	74	-	-	42	-	-	14	-
Station « Gambetta » (en µg/m ³)	52	15	-	88	19	-	-	35	-	39	46	-	77	35	-

Tableau 11 : Concentrations moyennes et maximales en NO₂, PM₁₀ et CO mesurées en vélo en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Ce qu'il faut retenir

Le cycliste peut être exposé à des concentrations élevées en polluants dans les zones où le trafic routier est important et/ou s'il se trouve à proximité immédiate d'un véhicule émetteur.

En effet, le cycliste peut dans certaines situations de circulation, se situer à proximité des gaz d'échappement des véhicules et subir une exposition importante au dioxyde d'azote, au monoxyde de carbone et aux particules en suspension. Cette exposition peut être de courte durée puisqu'il n'est pas dans un espace confiné.

A l'inverse, des pistes cyclables éloignées du trafic routier et des rues interdites à la circulation automobile permettent une diminution de l'exposition des cyclistes.

A vélo, ce qu'il faut faire :

Ne pas rester à proximité des gaz d'échappement.

Privilégier les parcours comportant des zones à circulation réduite, pistes cyclables séparées de la circulation automobile ...



D. TRAMWAY et BUS

Comme évoqué précédemment à cause des problèmes techniques rencontrés avec le préleveur de NO₂ (cf. chapitre I-A-b), seuls les niveaux en PM₁₀ et en CO seront discutés dans ce paragraphe.

A la différence des autres moyens de transports, il n'y a pas eu de parcours spécifiques visant à quadriller une partie de la ville en bus ou en tramway. Toutefois à défaut de réaliser un quadrillage, nous avons étudié les niveaux de PM₁₀ et CO dans le bus sur toute la ligne 1 allant de La Source à Saran, ainsi que sur toute la ligne A du tramway. Un aller-retour complet d'une extrémité à l'autre a été effectué sur ces deux lignes.

La figure 27 montre un exemple d'évolution des concentrations en particules en suspension PM₁₀ et en monoxyde de carbone mesurés dans l'habitacle du bus de la ligne 1 dans le sens aller et dans le sens retour pour le 14 janvier 2015.

Nous observons que les concentrations restent faibles et relativement homogènes variant seulement de 6 à 15 µg/m³.mn⁻¹ sur l'ensemble du parcours effectué pour les PM₁₀ comme pour l'ensemble des autres modes de transport et en particulier la voiture. De même pour le CO, les niveaux observés sont faibles tout au long du parcours atteignant au maximum 1 050 µg/m³.

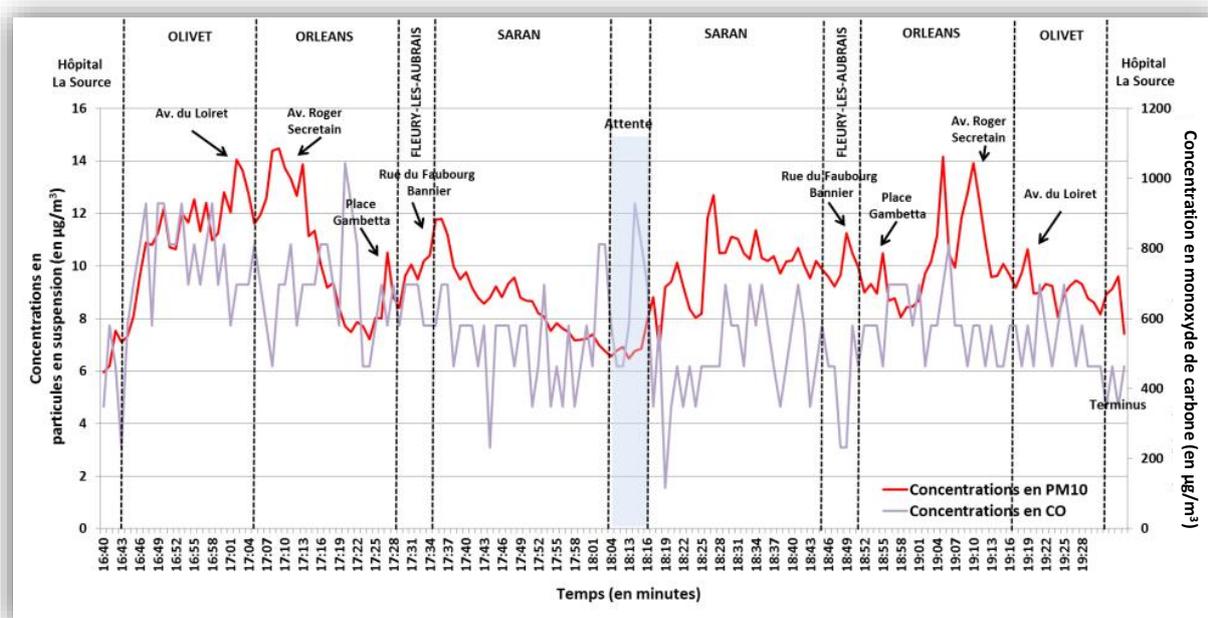


Figure 27 : Evolution des concentrations en PM₁₀ et CO mesurées dans le bus Ligne 1 (Aller et Retour) au cours du trajet du 14/01/2015

Malgré cette faible variabilité, les niveaux les plus élevés ont été enregistrés sur les axes présentant un fort trafic automobile tels que l'avenue Roger Secrétain ou l'avenue du Loiret sur la commune d'Olivet, et ce durant l'aller comme le retour (figure 27).

La figure 28 regroupe les concentrations en particules en suspension et monoxyde de carbone mesurées au cours du trajet du tram A le 13 janvier 2015. Suite à un problème technique lié à l'alimentation par batteries, les mesures de PM₁₀ pendant le trajet Sud-Nord n'ont pu être enregistrées. Les particules en suspension varient très peu au cours du voyage. Les concentrations en CO et PM₁₀ restent à des niveaux très faibles. Elles présentent une variabilité analogue à celle observée dans le bus.

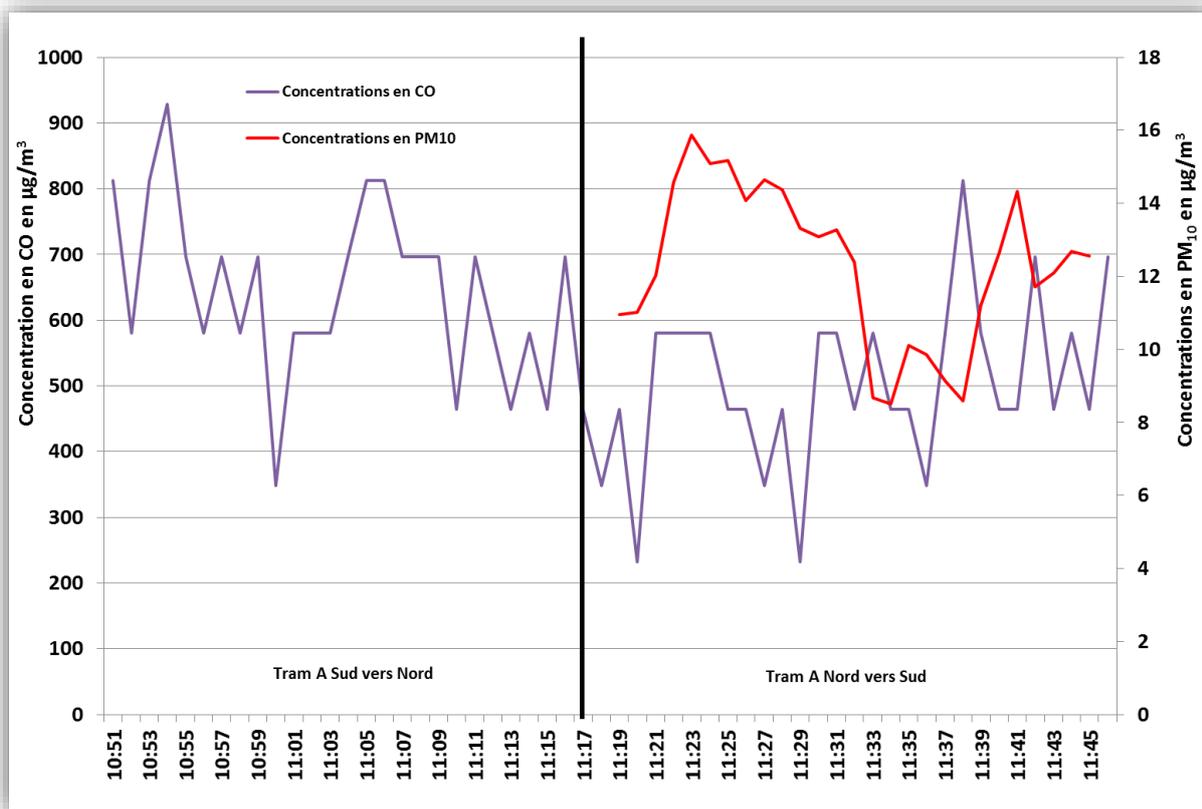


Figure 28 : Evolution des concentrations en PM₁₀ et CO mesurées dans le tram A (Aller et Retour) au cours du trajet du 13/01/2015

Le tableau 12 présente le niveau moyen d'exposition, le maximum atteint pour les poussières et le monoxyde de carbone au cours des différents trajets réalisés en tramway et en bus ainsi que les concentrations aux stations de mesures. Sur l'ensemble des trajets effectués, les usagers du tramway et du bus étaient exposés à des niveaux allant de 9 à 31 µg/m³ par trajet en poussières. Les niveaux relevés sont globalement inférieurs à ceux mesurés sur la station de proximité automobile Gambetta. Ceci peut être expliqué par la filtration d'air avant l'entrée dans ces deux modes de transport.

	Tramway A (Croix St-Marceau – Hôpital de La Source)		Tramway A (La Source – Médiathèque)		Tramway B (Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe)		Tramway A (Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle)		Tramway A Nord (Jules Verne) - Sud (Zénith)		Bus Bus 1 (Hôpital de La Source – Cap Saran)		Bus Bus 5 (Mairie de St-Pryvé-Centre de conférences)	
<u>Moyenne des parcours</u>	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO	PM ₁₀	CO
Niveau d'exposition (µg/m ³)	18	-	12	-	9	399	31	453	12	503	10	582	11	377
Durée	33 min		41 min		40 min		32 min		30 min		1h25		18 min	
Maximum atteint (µg/m ³ .mn ⁻¹)	29	-	19	-	23	696	66	1160	16	812	15	1044	19	1624
Station « Gambetta » (en µg/m ³)	38	-	25	-	30	-	37	-	17	-	22	-	24	-

Tableau 12 : Concentrations moyennes et maximales en PM₁₀ et en CO mesurées dans les tramways et bus en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air

Au cours des différents trajets dédiés aux transports en commun, les concentrations les plus importantes ont été observées lorsque la personne attendait le bus ou le tramway. Ceci suggère que les usagers peuvent être exposés temporairement aux émissions directes des pots d'échappement des véhicules les plus proches en particulier sur le quai du tramway ou l'arrêt du bus.

Ce qu'il faut retenir

Les concentrations obtenues en PM₁₀ et en CO dans les transports en commun sont relativement faibles et homogènes tout au long du parcours.

Les concentrations les plus importantes ont été observées durant l'attente du transport en commun.

En transport en commun, ce qu'il faut faire :

Pendant l'attente du bus ou du tramway, ne pas rester à proximité d'un véhicule trop émetteur.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude AST'AIR est réalisée dans le cadre de l'action 10 du PRSE2. Elle vise la caractérisation de l'exposition des usagers des transports lors de leurs déplacements. Tous les moyens de transports utilisés dans l'agglomération orléanaise ont été étudiés (voiture, vélo, tramway, bus et marche à pied).

La voiture reste encore le moyen le plus utilisé dans les déplacements domicile/travail au sein de l'agglomération. Il est aussi le moyen le plus étudié dans cette étude. Environ 1000 km, représentant plusieurs axes et trajets, ont été parcourus à l'intérieur de l'agglomération afin de caractériser l'exposition des automobilistes aux différents polluants étudiés (NO₂, PM₁₀ et CO).

D'une manière générale, l'exposition des automobilistes aux polluants mesurés a présenté une très forte variabilité non seulement en fonction de la nature du polluant mais aussi en fonction de l'axe et du trajet empruntés. Les caractéristiques de chaque trajet, durée et niveaux des polluants enregistrés, sont présentées dans les annexes 4 et 5.

Pour le dioxyde d'azote, les niveaux les plus importants ont été associés, dans la quasi-totalité des cas, à une circulation difficile caractérisée par des ralentissements et des embouteillages. La rue du Faubourg Bourgogne, entre Orléans et Saint-Jean-de-Braye, ainsi que l'avenue Gaston Galloux à Saint-Jean-le-Blanc font partie des axes où les usagers de la voiture sont les plus exposés aux heures de pointes. Les niveaux les plus faibles ont été enregistrés lorsque la circulation était fluide mais aussi sur les axes les moins empruntés.

L'augmentation des concentrations dans l'habitacle des voitures, lors des ralentissements et des embouteillages, est la résultante de deux phénomènes : émission et confinement. En effet, pour les très faibles vitesses de circulation les émissions polluantes sont aussi importantes que les fortes vitesses (par exemple un véhicule à 10 km/h peut émettre la même quantité qu'un véhicule à 110 km/h). Ces vitesses sont observées généralement lorsque les conditions de circulation sont difficiles (ralentissement et embouteillage). L'habitacle de la voiture est un espace confiné dépendant de l'air prélevé à proximité. Dans les conditions de circulation difficiles, les prises d'air sont alors proches des pots d'échappements des véhicules. L'automobiliste se trouve alors dans un espace clos, de faible volume, dans lequel les niveaux de polluants peuvent s'accumuler. Il peut être exposé à des teneurs qui peuvent dépasser celles mesurées en air ambiant. Lors d'une circulation fluide, en plus de la diminution des émissions, les véhicules sont relativement éloignés les uns des autres et l'air prélevé est moins chargé en polluants que dans le cas d'un embouteillage ou un ralentissement. Rappelons ici, que la fluidité de la circulation est l'une des actions prises dans le cadre du PPA d'Orléans pour réduire les émissions polluantes.

Même si les niveaux en PM₁₀ ont présenté une variation plus faible que celle du dioxyde d'azote, on retrouve globalement un comportement similaire à celui du NO₂ à savoir que les plus fortes concentrations sont relevées lors d'embouteillage, de ralentissements et d'arrêts aux feux tricolores.

Les teneurs en particules en suspension relevées à l'intérieur de l'habitacle, sont en moyenne inférieures à celles mesurées en station de proximité automobile. Cette différence de concentration peut être expliquée par la filtration de l'air introduit dans l'habitacle.

Le piéton et le cycliste peuvent être exposés de façon ponctuelle mais intense au dioxyde d'azote en particulier. Cette exposition est sous forme de « bouffées » d'air chargé en dioxyde d'azote dans les rues de forte circulation automobile. Le cycliste en particulier, peut dans certaines situations de circulation, se retrouver sous l'influence directe des gaz d'échappement des véhicules et subir une exposition importante à ces polluants. En comparaison à l'automobiliste, le cycliste et le piéton ne sont pas dans des espaces confinés et donc leurs expositions aux fortes concentrations en polluants, sont de courtes durées par rapport à celle de l'automobiliste. Ce dernier accumulera les polluants dans l'habitacle de sa voiture tant que la circulation n'a pas atteint une certaine fluidité et que l'air de l'habitacle n'a pas été renouvelé. Le cycliste et le piéton retrouveront des concentrations normales dès lors qu'ils s'éloigneront des sources polluantes.

L'étude AST'AIR ne met pas en relief une franche dépendance entre les concentrations en PM_{10} et la circulation automobile comme c'est le cas pour le dioxyde d'azote. En moyenne les niveaux sont restés plus au moins homogène même si les maxima étaient associés aux situations dans lesquelles la circulation était difficile. La filtration d'air injecté dans l'habitacle explique en partie cette faible dépendance. L'autre partie réside peut-être dans l'utilisation d'un capteur basé sur la mesure massique des particules. La mesure est donc largement conditionnée par les plus grosses particules ($>PM_{2,5}$) dont le poids est bien plus important que les particules fines et ultrafines ($<PM_{2,5}$) mais en nombre sont minoritaires.

AST'AIR est la première étude visant l'estimation de l'exposition des usagers des transports en région Centre-Val de Loire. Les résultats obtenus dressent un premier état des lieux de cette exposition lors des déplacements domicile-travail à l'intérieur d'une agglomération. Il serait intéressant de mener cette expérimentation lors des déplacements interurbains au sein de la région. L'étude pourra être menée à l'aide d'analyseurs embarqués. Les particules en suspension seront suivies par un capteur massique mais aussi par un compteur de particules. Ce dernier complètera l'étude en fournissant une information sur le nombre des particules en fonction de leur taille.

Bibliographie

- [1] *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants*, Klepeis N. E., Nelson W. C., Ott W. R., Robinson J. P., Tsang A. M., Switzer P., Behar J. V., Hern S. C., and Engelmann W. H., *J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.* 2001: 11, 231-252
- [2] *Campagne de mesure de la qualité de l'air intérieur de l'habacle de voiture en Nord Pas-de-Calais du 22/10/10 au 28/01/11 (Rapport d'étude N°02-2011-MD)*, **Atmo Nord – Pas- de-Calais**, Novembre 2011
- [3] *Exposition des automobilistes franciliens à la pollution atmosphérique liée au trafic routier : trajet « domicile-travail »*, **AIRPARIF**, Octobre 2009
- [4] *Caractérisation des Expositions Professionnelles et des Usagers des Transports Routiers : Mesures Dynamiques en Habacle de Véhicule Inséré dans le Trafic (Référence : URB_INT_09_030)*, **Inserm, CERTAM, Air Normand**, 2006
- [5] *A Paris à vélo*, **AIRPARIF**, 2009
- [6] *Vélo In The City « La Rochelle » (Convention : EST-2006-1-37)*, **ATMO Poitou Charentes**, 2009
- [7] *Exposition des personnes à la pollution de l'air dans différents modes de transport sur leurs trajets domicile – travail*, **Air Languedoc-Roussillon** (Contribution au PRSE2 Action 3 et au PPA de l'Agglomération de Montpellier), Janvier 2013
- [8] *Exposition des personnes à la pollution de l'air dans différents types de transports de l'agglomération de TOULOUSE (Référence : ETU-2009-37)*, **ORAMIP**, 2008-2009
- [9] *Réglementation (Normes et valeurs limites) de la qualité de l'air (www.developpement-durable.gouv.fr/Normes-et-valeurs-limites.html)*, **Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie**, Mise à jour le 28 mars 2012
- [10] *Used of real-time sensors to characterise human exposures to combustion related pollutants*, **Delgado-Saborit J.M.**, *J. Environ. Monit.*, 2012, 14, 1824-1837
- [11] *Indicateurs optiques pour la mesure massique des particules dans les environnements intérieurs*, **LCSQA**, Décembre 2008
- [12] *Note de synthèse NS-003 Essai Détecteur multigaz portable Aéroqual S500*, **AIRPAIF**, Avril 2014
- [13] *Site internet de la communauté d'agglomération Orléans-Val de Loire (www.aqglo-orleans.fr)*
- [14] *La lettre de l'Urba N°8 : L'Agglo et les déplacements domicile-travail*, **AUAO**, Octobre 2012
- [15] *Recensement de la population*, **Insee**, 2008
- [16] *La lettre de l'Urba N°9 : Le vélo dans l'Agglo*, **AUAO**, Juin 2013
- [17] *Portrait de l'aire urbaine d'Orléans*, **AUAO**, Juillet 2011
- [18] *Les pratiques de déplacements – Bilan de plan de déplacements de l'agglomération orléanaise 2002-2004 – AUAO – Mai 2005*

[19] Indicateurs de développement durable territoriaux : Le temps de déplacement domicile-travail (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/1833/1346/temps-deplacement-domicile-travail.html>), Datar d'après Insee, RP 2009 et Inra UMR1041 CESAER, mise à jour le 13 Mai 2014

[20] Les transports et déplacements en région, Insee, décembre 2010

[21] PPA Tours : concentrations et émissions en zone 30, Lig'Air, 2007

[22] L'air c'est mon affaire, « La qualité de l'air dans les transports, Préférez les modes de transport doux », Fiche thématique n°7, ASPA

Liste des figures

Figure 1 : pDR1500, instrument de mesure des particules en suspension	9
Figure 2 : Analyseur portatif série 500 d'Aéroqual pour la mesure du NO ₂	10
Figure 3 : Analyseur de référence (421) pour la mesure du NO ₂	10
Figure 4 : Evolution des concentrations en NO ₂ issues de l'analyseur portatif et de l'analyseur de référence au cours d'un trajet en voiture réalisé le 02 décembre 2014	11
Figure 5 : Evolution des concentrations en NO ₂ issues de l'analyseur portatif au cours du trajet d'intermodalité impliquant le BUS réalisé le 19 novembre 2014	12
Figure 6 : Evolution des concentrations en NO ₂ issues de l'analyseur portatif au cours du trajet d'intermodalité impliquant le BUS réalisé le 02 décembre 2014	12
Figure 7 : Q-Trak, instrument de mesure des oxydes de carbone	13
Figure 8 : Montre GPS ONmove	13
Figure 9 : Dispositif de mesure à l'intérieur de l'habitacle du véhicule	14
Figure 10 : Dispositif de mesure utilisé pour les autres modes de transport (bus, vélo, marche, tramway)	14
Figure 11 : Carte des communes de l'agglomération Orléans-Val de Loire	15
Figure 12 : Les plus importantes liaisons entre secteurs issues de l'enquête ménages – Source : enquête ménages 2002	16
Figure 13 : Cartographie générale des concentrations en NO ₂ mesurées à l'intérieur de l'habitacle (a) et des vitesses (b) du véhicule le 03/10/14 (source Google Earth)	21
Figure 14 : Evolution de la concentration de NO ₂ et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014	22
Figure 15 : Evolution de la concentration de NO ₂ et de la vitesse au cours du trajet du 20/11/2014	22
Figure 16 : Variation des émissions en fonction de la vitesse de circulation pour un parc automobile constitué de 1000 véhicules en circulation urbaine	23
Figure 17 : Comparaison des concentrations en NO ₂ mesurées dans l'habitacle en fonction de la vitesse du véhicule	23
Figure 18 : Evolution de la concentration en PM ₁₀ et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014	25
Figure 19 : Evolution de la concentration en CO et de la vitesse au cours du trajet du 03/10/2014	27
Figure 20 : Cartographie générale des concentrations en NO ₂ mesurées à pied (Source Google Earth)	29
Figure 21 : Cartographie générale des concentrations en PM ₁₀ mesurées à pied (Source Google Earth)	30
Figure 22 : Evolution des concentrations en NO ₂ (courbe rouge) et en PM ₁₀ (courbe orange) au cours de la traversée de la rue de Bourgogne (du Square Charles Péguy à la Place du Général De Gaulle) le 15/10/14.	31
Figure 23 : Cycliste équipé du dispositif de mesure de la qualité de l'air	33
Figure 24 : Cartographies des concentrations en NO ₂ (en µg/m ³) mesurées en vélo au cours du trajet du 17/10/2015 (Source Google Earth)	34
Figure 25 : Evolution des concentrations en PM ₁₀ au cours du trajet allant de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin au centre de conférence le 19/11/14.	35
Figure 26 : Concentrations en CO (en µg/m ³) mesurées en vélo au cours du trajet du 17/10/2015	35
Figure 27 : Evolution des concentrations en PM ₁₀ et CO mesurées dans le bus Ligne 1 (Aller et Retour) au cours du trajet du 14/01/2015	37
Figure 28 : Evolution des concentrations en PM ₁₀ et CO mesurées dans le tram A (Aller et Retour) au cours du trajet du 13/01/2015	38
Figure 29 : Trajet effectué en voiture le 04/04/14 (Source Google Earth)	53
Figure 30 : Concentrations en dioxyde d'azote sur le trajet voiture du 04/04/14	53
Figure 31 : Trajet effectué en voiture le 21/05/14 (Source Google Earth)	54
Figure 32 : Concentrations en dioxyde d'azote sur le trajet voiture du 21/05/14	54
Figure 33 : Trajet effectué en voiture le 04/07/14 (Source Google Earth)	55
Figure 34 : Evolution de la concentration en NO ₂ et PM ₁₀ au cours du parcours du 04/07/2014	55

Figure 35 : Trajet effectué en voiture le 18/07/14 (Source Google Earth)	56
Figure 36 : Evolution de la concentration en NO ₂ et PM ₁₀ au cours du parcours du 18/07/2014	56
Figure 37 : Trajets Croix St Marceau – Place De Gaulle le 04/12/14 (rouge : voiture ; bleu : tram et marche ; jaune : vélo)	57
Figure 38 : Concentrations moyennes en PM ₁₀ et CO relevées en fonction du mode transport utilisé sur le parcours Croix Saint-Marceau-Place De Gaulle le 4 décembre 2014	57
Figure 39 : Trajets Bd Marie Stuart – Pont de l'Europe le 02/12/14 (rouge : voiture ; bleu : tram)	59
Figure 40 : Concentrations moyennes en NO ₂ , PM ₁₀ et CO le 02/12/14 pour un trajet allant du boulevard Marie Stuart au pont de l'Europe	59
Figure 41 : Trajets Chécy – La Source effectué en voiture du 8 au 12 décembre 2014 (source : Google Earth)	60
Figure 42 : Cartographies des concentrations en CO mesurées à l'intérieur de l'habitacle et des vitesses du véhicule (source Google Earth)	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de jours de dépassement du seuil d'information et de recommandation en PM ₁₀	9
Tableau 2 : Concentrations annuelles maximales en dioxyde d'azote sur Orléans et Tours	10
Tableau 3 : Travailleurs de l'AggLO : types et pourcentage d'utilisation des transports en 2007 [15]	16
Tableau 4 : Mode de déplacements pour le trajet domicile-travail – Source INSEE RP 2007[17]	17
Tableau 5 : Les différents trajets réalisés	18
Tableau 6 : Les différents parcours destinés à la cartographie	18
Tableau 7 : Concentrations moyennes et maximales de NO ₂ mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	24
Tableau 8 : Concentrations moyennes et maximales en PM ₁₀ mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	26
Tableau 9 : Concentrations moyennes et maximales en CO mesurées à l'intérieur de l'habitacle du véhicule en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	28
Tableau 10 : Concentrations moyennes et maximales en NO ₂ , PM ₁₀ et CO mesurées à pied en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	32
Tableau 11 : Concentrations moyennes et maximales en NO ₂ , PM ₁₀ et CO mesurées en vélo en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	36
Tableau 12 : Concentrations moyennes et maximales en PM ₁₀ et en CO mesurées dans les tramways et bus en fonction du trajet effectué – Durée du trajet – Mesures aux stations Lig'Air	39
Tableau 13 : Seuils réglementaires sur la qualité de l'air	47
Tableau 14 : Chiffres de la fréquentation 2013 du réseau TAO	48
Tableau 15 : Concentrations moyennes en NO ₂ mesurées en voiture, à pied, à vélo et dans le tramway le 4 décembre 2014	58
Tableau 16 : Concentrations moyennes en NO ₂ , PM ₁₀ et en CO mesurées en voiture en fonction du 8 au 12 décembre 2014 de Chécy à La Source	60

ANNEXES

Annexe 1 : Origine des polluants

- Le dioxyde d'azote est principalement issu du trafic automobile (60% en région Centre), de l'agriculture et des installations de combustion. Il résulte principalement de la combinaison à très hautes températures de l'oxygène de l'air et de l'azote. Le monoxyde d'azote (NO) se transforme rapidement en dioxyde d'azote (NO₂) en présence d'oxydants atmosphériques tels que l'ozone et les radicaux libres RO₂^o.

- Le dioxyde de soufre résulte essentiellement de la combustion des combustibles fossiles (charbon, fioul, ...) et de procédés industriels.

En brûlant, ces combustibles libèrent le soufre qu'ils contiennent et celui-ci se combine alors avec l'oxygène de l'air pour former le dioxyde de soufre. Les activités responsables sont principalement les chaufferies urbaines, les véhicules à moteur diesel, les incinérateurs, ...

- Les particules en suspension PM₁₀ (particules d'un diamètre inférieur à 10 µm) sont constituées de substances minérales ou organiques. Elles ont une origine naturelle pour plus de la moitié d'entre elles (éruptions volcaniques, incendies de forêts, soulèvements de poussières désertiques) et une origine anthropique (combustion industrielle, incinération, chauffages, véhicules automobiles).

- L'ozone qui, en basse atmosphère (entre 0 et 10 km d'altitude), est un polluant dit secondaire résultant de la transformation photochimique de polluants primaires (NO₂, Composés Organiques Volatils) sous l'effet de rayonnements ultraviolets solaires.

Annexe 2 : Réglementation dans l'air ambiant

Les différents seuils réglementaires des polluants considérés dans cette étude sur la qualité de l'air imposés par les directives⁵ sont détaillés dans le tableau suivante.

Objectif de qualité

Niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Valeur cible

Niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

Valeur limite

Niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

⁵ Directive 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe

Seuil d'information et de recommandation

Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

Seuil d'alerte

Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Obligation en matière de concentration relative à l'exposition

Niveau fixé sur la base de l'indicateur d'exposition moyenne et devant être atteint dans un délai donné, afin de réduire les effets nocifs sur la santé humaine.

Indicateur d'exposition moyenne (IEM)

Concentration moyenne à laquelle est exposée la population et qui est calculée pour une année donnée à partir des mesures effectuées sur trois années civiles consécutives dans des lieux caractéristiques de la pollution de fond urbaine répartis sur l'ensemble du territoire.

Polluants	Type de norme	Type de moyenne	Valeur à ne pas dépasser
NO ₂	Valeur limite	Annuelle	40 µg/m ³
		Horaire	200 µg/m ³ avec 18 h/an de dépassements autorisé
	Seuil d'information	Horaire	200 µg/m ³
	Seuil d'alerte	Horaire	400 µg/m ³
PM ₁₀	Valeur limite	Annuelle	40 µg/m ³
		Journalière P _{90,4}	50 µg/m ³ avec 35 j/an de dépassements autorisé
	Objectif de qualité	Annuel	30 µg/m ³
	Seuil d'information	Journalière	50 µg/m ³
	Seuil d'alerte	Journalière	80 µg/m ³
CO	Valeur limite	Sur 8 heures	10 000 µg/m ³

Tableau 13 : Seuils réglementaires sur la qualité de l'air

Annexe 3 : La fréquentation des bus et tramway (TAO)

Les chiffres de fréquentations des Transports de l'Agglomération Orléanaise (TAO), fournies par la direction de la mobilité et des transports urbains de l'Agglo, permettent de mettre en évidence des tendances de déplacements. Le tableau suivant nous indique, par ordre décroissant, les chiffres de fréquentation 2013 des dix lignes du réseau TAO les plus empruntées (tableau 14)

	Tramway A	Tramway B	Bus 1	Bus 2	Bus 4
Fréquentation :	12 545 338	7 187 944	2 062 972	1 531 093	1 173 448
	Bus 3	Bus 7	Bus 5	Bus 6	Bus 8
Fréquentation :	1 146 016	860 985	837 728	561 287	246 326

Tableau 14 : Chiffres de la fréquentation 2013 du réseau TAO

D'après ces chiffres, nous observons que les deux lignes de tramway sont les plus utilisées avec un total cumulé de 19 733 282 voyages en 2013. Cependant, une disparité de fréquentation existe entre ces deux lignes. La ligne la plus ancienne, la ligne A, est beaucoup plus empruntée que la ligne B. Pour les lignes de bus, les plus fréquentées sont celles de 1 à 8. La ligne de bus la plus utilisée est la 1. C'est une ligne nord-sud qui permet de mettre en relation la zone commerciale de Cap-Saran avec l'hôpital de la Source. La ligne 2 est la ligne de bus ouest-est la plus empruntée, qui prend son point de départ à la Chapelle Saint-Mesmin pour rejoindre Saint-Jean-de-Braye.

Annexe 4 : Les caractéristiques des trajets

La Source – Place Gambetta :

En rouge : voiture

En bleu : tramway

En jaune : marche



		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	25 mn	
	NO ₂	78 µg/m ³	156 µg/m ³
	PM ₁₀	7,7 µg/m ³	13,3 µg/m ³
	CO	835 µg/m ³	5104 µg/m ³
Tramway	Durée	41 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	12 µg/m ³	19 µg/m ³
	CO	-	-
Marche	Durée	6 mn	
	NO ₂	72 µg/m ³	138 µg/m ³
	PM ₁₀	14 µg/m ³	17 µg/m ³
	CO	-	-

Chécy - La Source :

En rouge : voiture



		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	52 mn	
	NO ₂	88 µg/m ³	440 µg/m ³
	PM ₁₀	8,4 µg/m ³	30,2 µg/m ³
	CO	984 µg/m ³	15312 µg/m ³

Boulevard Marie Stuart – Pont de l'Europe :

En rouge : voiture via la tangentielle

En jaune : voiture via les quais

En bleu : tramway



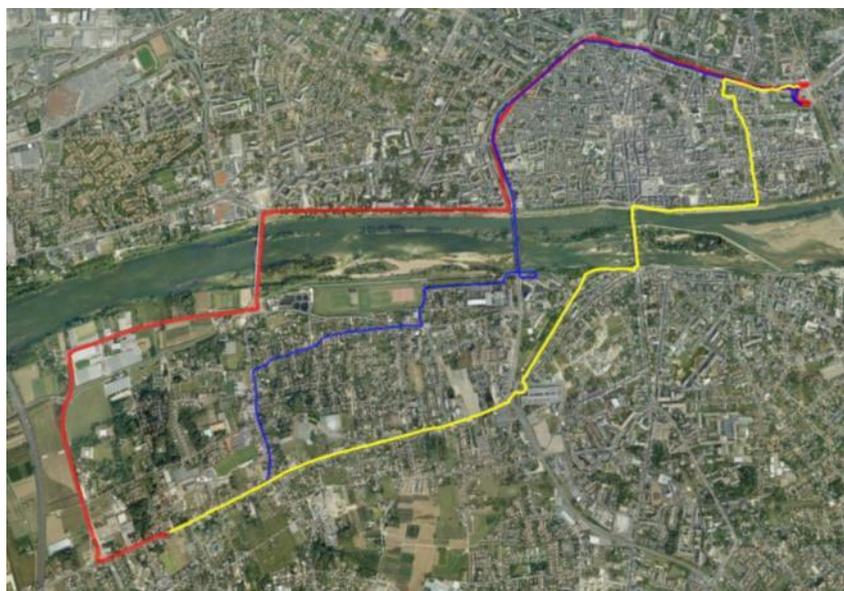
		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture via la tangentielle	Durée	25 mn	
	NO ₂	161 µg/m ³	276 µg/m ³
	PM ₁₀	10,9 µg/m ³	17,3 µg/m ³
	CO	579 µg/m ³	4872 µg/m ³
Voiture via les quais	Durée	22 mn	
	NO ₂	112 µg/m ³	170 µg/m ³
	PM ₁₀	12,2 µg/m ³	18,5 µg/m ³
	CO	1331 µg/m ³	3596 µg/m ³
Tramway	Durée	40 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	9 µg/m ³	23 µg/m ³
	CO	399 µg/m ³	696 µg/m ³

Mairie de Saint-Pryvé-Saint-Mesmin – Orléans Centre de conférences :

En rouge : voiture

En bleu : bus

En jaune : vélo



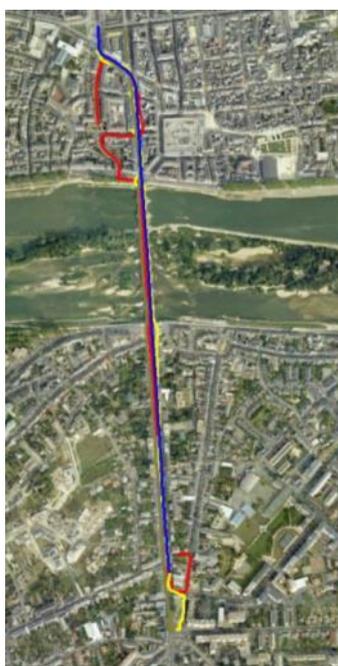
		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	23 mn	
	NO ₂	104 µg/m ³	328 µg/m ³
	PM ₁₀	14,9 µg/m ³	27,5 µg/m ³
	CO	898 µg/m ³	3712 µg/m ³
Bus	Durée	18 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	11 µg/m ³	19 µg/m ³
	CO	377 µg/m ³	1624 µg/m ³
Vélo	Durée	19 mn	
	NO ₂	39 µg/m ³	112 µg/m ³
	PM ₁₀	17 µg/m ³	30 µg/m ³
	CO	-	-

Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle :

En rouge : voiture

En bleu : tramway
marche

En jaune : vélo



		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	6 mn	
	NO ₂	87 µg/m ³	209 µg/m ³
	PM ₁₀	16,2 µg/m ³	34,4 µg/m ³
	CO	1436 µg/m ³	4756 µg/m ³
Marche	Durée	16 mn	
	NO ₂	32 µg/m ³	168 µg/m ³
	PM ₁₀	25 µg/m ³	34 µg/m ³
	CO	503 µg/m ³	1740 µg/m ³
Tramway	Durée	32 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	31 µg/m ³	66 µg/m ³
	CO	453 µg/m ³	1160 µg/m ³
Vélo	Durée	11 mn	
	NO ₂	38 µg/m ³	174 µg/m ³
	PM ₁₀	38 µg/m ³	74 µg/m ³
	CO	-	-

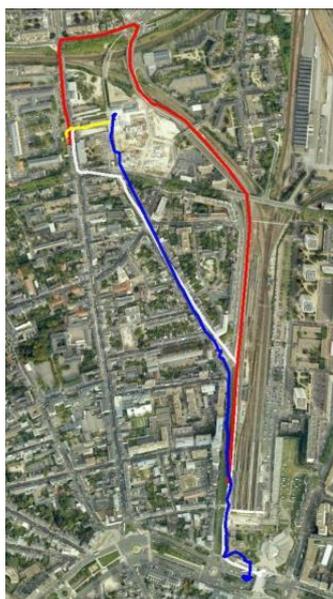
Gare d'Orléans – Cité Coligny :

En rouge : voiture

En bleu : tramway

En jaune : marche

En blanc : vélo



		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	10 mn	
	NO ₂	69 µg/m ³	161 µg/m ³
	PM ₁₀	28 µg/m ³	46,9 µg/m ³
	CO	469 µg/m ³	1508 µg/m ³
Tramway + Marche	Durée	-	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	-	-
Vélo	Durée	7 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	35 µg/m ³	42 µg/m ³
	CO	-	-

Place d'Arc – Place de Loire :

En rouge : voiture

En bleu : tramway

En jaune : vélo et marche



		Moyenne Trajet	Maximum Trajet
Voiture	Durée	16 mn	
	NO ₂	96 µg/m ³	145 µg/m ³
	PM ₁₀	7,2 µg/m ³	9,5 µg/m ³
	CO	1427 µg/m ³	3248 µg/m ³
Tramway	Durée	-	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	-	-
Vélo	Durée	8 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	12 µg/m ³	14 µg/m ³
	CO	-	-
Marche	Durée	24 mn	
	NO ₂	-	-
	PM ₁₀	-	-
	CO	344 µg/m ³	1044 µg/m ³

Annexe 5 : Exemples détaillés de trajets réalisés

A. Trajets effectués en période estivale

Une première phase concernant l'évaluation du matériel et la recherche des parcours s'est déroulée au cours du printemps et de l'été 2014.

Plusieurs parcours ont été effectués en voiture dont voici quelques exemples.

a) Le Vendredi 4 avril 2014

Le parcours a été réalisé sur Orléans entre 16h et 17h30 le vendredi 04 avril 2014. Le départ s'est fait de la zone commerciale d'Olivet, en direction du centre-ville d'Orléans par la RD2020. Des passages sur les ponts Joffre, Georges V et Thinat, ainsi qu'en centre-ville, ont été réalisés. Le trajet de retour est passé par le pont Thinat, la rue de la Cossonnière et la RD2020 (figure 29).



Figure 29 : Trajet effectué en voiture le 04/04/14 (Source Google Earth)

Sur ce trajet, seul le dioxyde d'azote était mesuré. Les niveaux varient beaucoup au cours du trajet. Les concentrations les plus élevées sont associées à des situations d'embouteillage (figure 30).

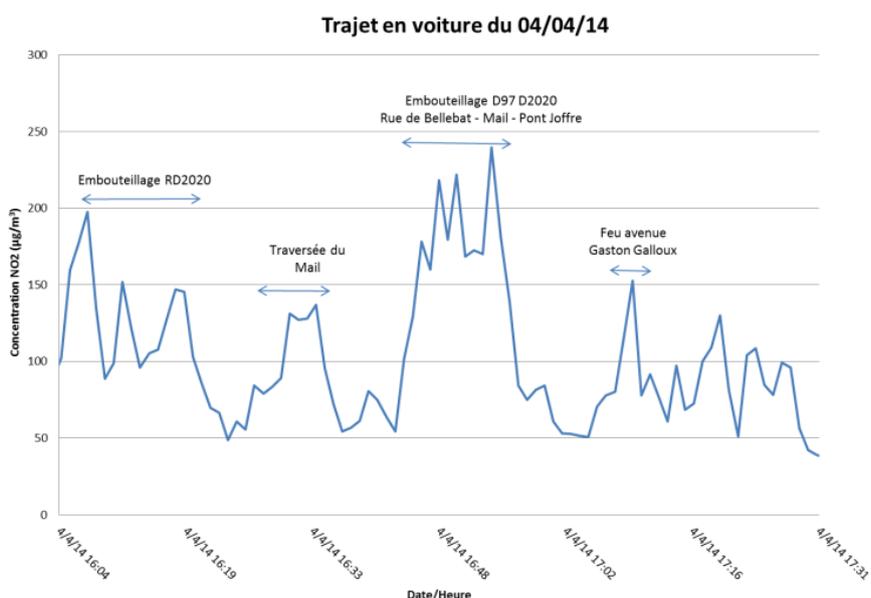


Figure 30 : Concentrations en dioxyde d'azote sur le trajet voiture du 04/04/14

b) Le Mercredi 21 mai 2014

Ce parcours a été réalisé sur quelques grands axes de l'Agglo le mercredi 21 mai 2014 (figure 31).



Figure 31 : Trajet effectué en voiture le 21/05/14 (Source Google Earth)

L'évolution des concentrations en NO₂, en µg/m³ est présentée sur la figure 32.

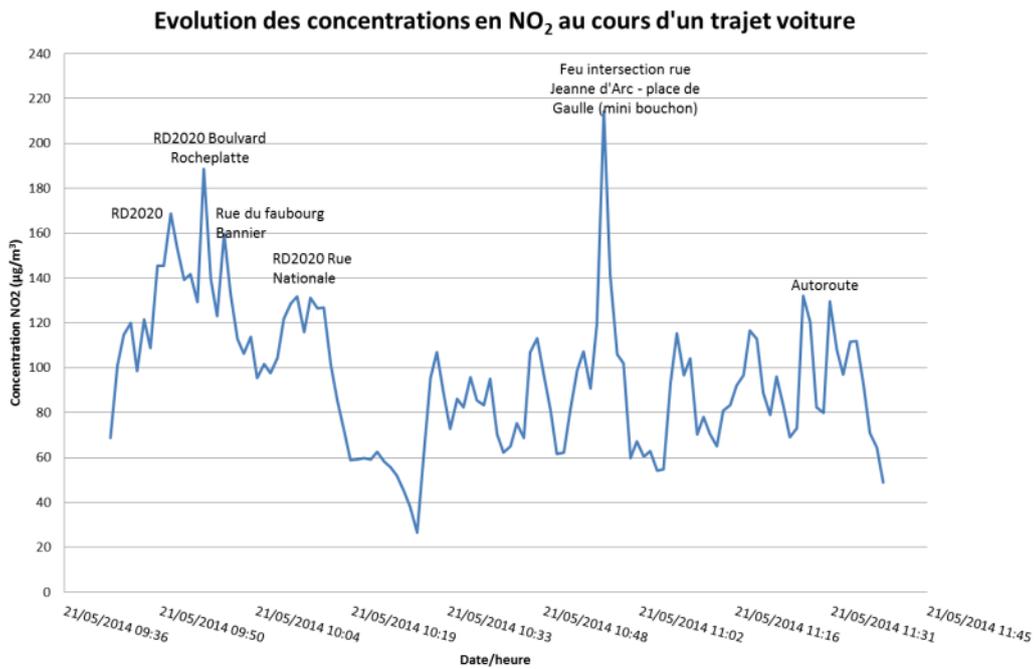


Figure 32 : Concentrations en dioxyde d'azote sur le trajet voiture du 21/05/14

Les conditions météorologiques étaient différentes des autres trajets étudiés : il pleuvait. Malgré un temps favorable à une meilleure qualité de l'air extérieur, les concentrations mesurées dans l'habitacle atteignent des niveaux comparables à ceux observés par temps sec.

c) Le Vendredi 4 juillet 2014

Ce parcours sud-nord passant par le pont Joffre est composé d'un trajet aller et d'un trajet retour (figure 33). Il a été réalisé en voiture le 04 juillet 2014.



Figure 33 : Trajet effectué en voiture le 04/07/14 (Source Google Earth)

L'évolution des concentrations en NO₂ et PM₁₀, en µg/m³ est regroupée sur la figure 34.

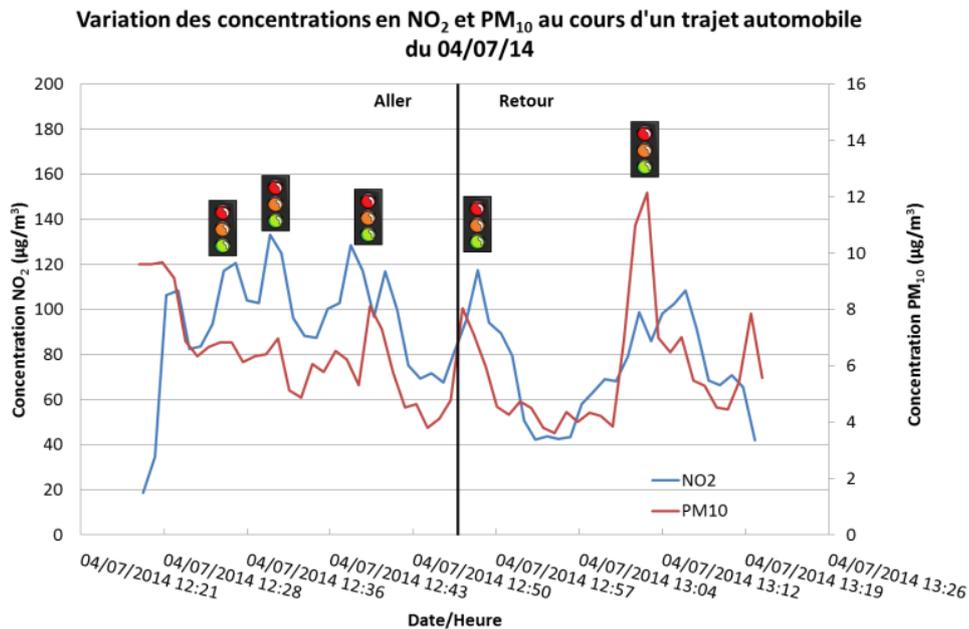


Figure 34 : Evolution de la concentration en NO₂ et PM₁₀ au cours du parcours du 04/07/2014

La figure 34 permet de mettre en évidence une certaine corrélation entre les variations de concentrations de ces deux polluants. De plus, le système GPS permet de mettre en évidence l'effet des feux tricolores sur l'augmentation de la concentration des polluants. Cette augmentation s'explique par un ralentissement qui peut être brutal, et surtout une forte accélération lorsque le feu tricolore passe au vert.

d) Le Vendredi 18 juillet 2014

Le parcours sud-nord présenté dans cette partie permet d'emprunter le trajet, reliant le sud au nord de l'Agglo, via le pont Thinat et la tangentielle Est (figure 35). Ce parcours comprenant un aller et un retour, a été réalisé en automobile le 18 juillet 2014

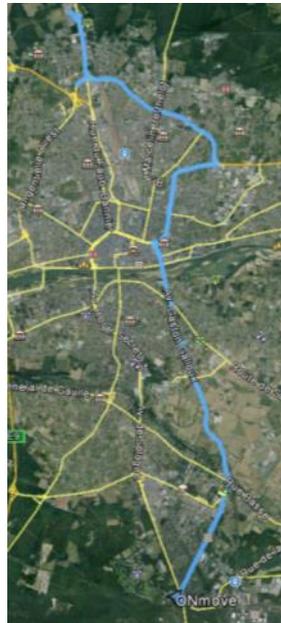


Figure 35 : Trajet effectué en voiture le 18/07/14 (Source Google Earth)

L'évolution de la concentration en NO₂ et PM₁₀ au cours de ce parcours a été tracée sur la figure 36.

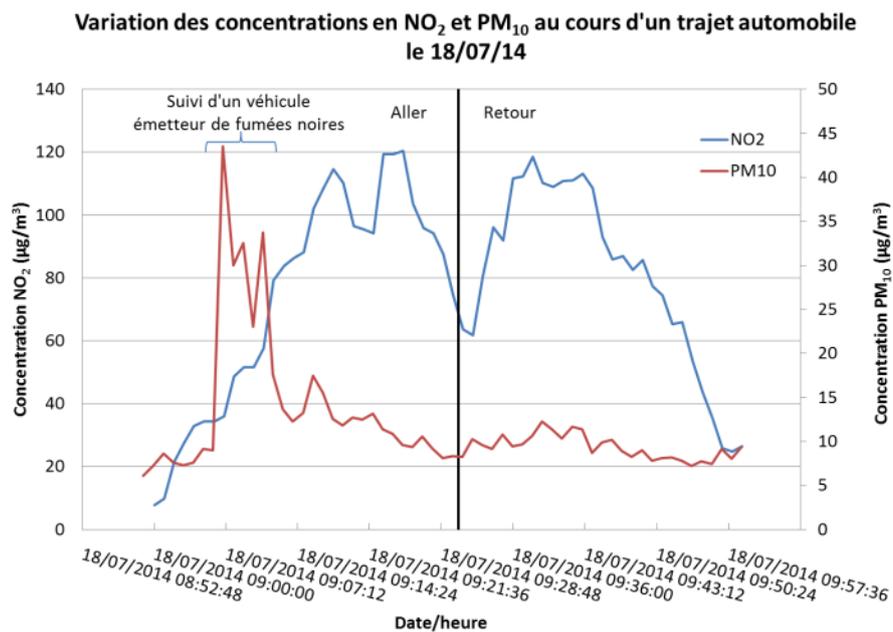


Figure 36 : Evolution de la concentration en NO₂ et PM₁₀ au cours du parcours du 18/07/2014

La courbe de variation de la concentration en PM₁₀, montre des pics de concentrations dans la partie aller du parcours. Ces pics de concentration en particules s'expliquent par le fait que l'automobile précédant la nôtre émettait des fumées noires.

Ce parcours a été marqué par une certaine symétrie pour la mesure du NO₂ entre l'aller et le retour.

B. Trajets effectués en période hivernale

La partie suivante présente différents exemples de trajets typiques des déplacements domicile-travail au sein de l'agglomération orléanaise. Pour certains de ces trajets, les mesures ont été réalisées simultanément par l'utilisation de différents moyens de transport. Pour ces trajets, le parcours n'est pas forcément le même. En effet, un piéton ne prendra pas forcément le même chemin qu'un bus ou une voiture ...

a) Comparaison au cours du trajet Croix Saint-Marceau – Place De Gaulle

L'un des parcours sélectionné va de la Croix Saint-Marceau à la Place De Gaulle (figure 37). Ce trajet est fortement fréquenté par la population et le trafic routier y est important. De plus, la configuration de ce parcours permet aux usagers de se déplacer à la fois en voiture, en tramway, en vélo et à pied. Ainsi, ces modes de transports ont été utilisés simultanément dans le même créneau horaire entre 17h00 et 18h30 le 4 décembre 2014, aux heures de grande affluence. Afin d'estimer au mieux l'exposition des usagers, plusieurs allers-retours ont été effectués.



Figure 37 : Trajets Croix St-Marceau – Place De Gaulle le 04/12/14 (rouge : voiture ; bleu : tram et marche ; jaune : vélo)

La figure 38 présente les concentrations moyennes en particules en suspension et en monoxyde de carbone obtenues au cours du parcours en fonction du mode de transport utilisé. Les moyennes en dioxyde d'azote sont regroupées dans le tableau 15. Les appareils utilisés pour la mesure du dioxyde d'azote dans la voiture et pour les autres modes de transport étant différents, les différences de concentrations ne sont pas discutées ici (voir chapitre I-A-b)

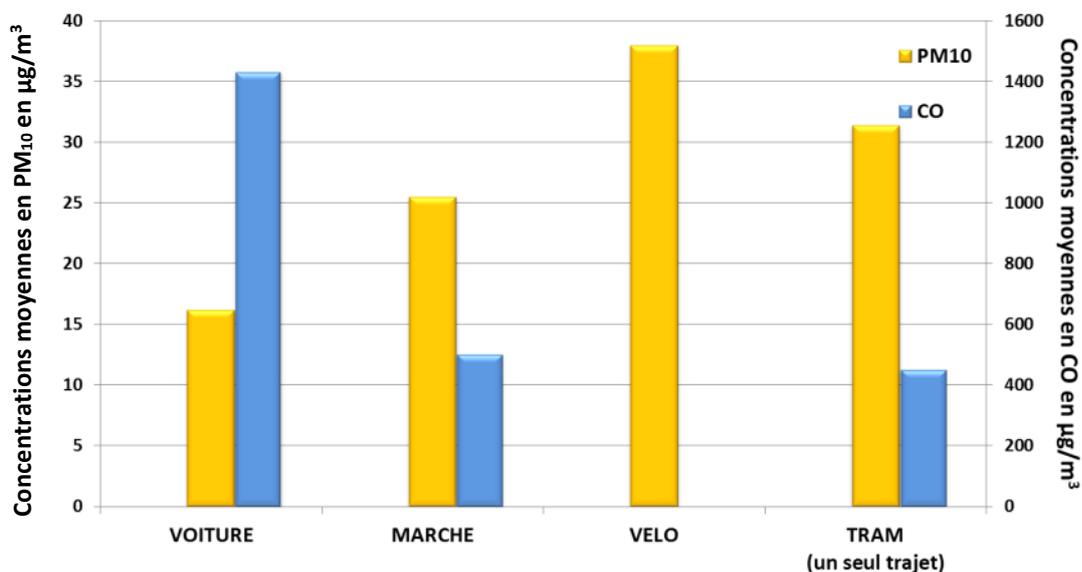


Figure 38 : Concentrations moyennes en PM₁₀ et CO relevées en fonction du mode transport utilisé sur le parcours Croix Saint-Marceau-Place De Gaulle le 4 décembre 2014

	Voiture	Marche	Vélo	Tram
NO₂	87 µg/m ³	32 µg/m ³	38 µg/m ³	-

Tableau 15 : Concentrations moyennes en NO₂ mesurées en voiture, à pied, à vélo et dans le tramway le 4 décembre 2014

Pour le monoxyde de carbone, les automobilistes ont été exposés aux concentrations les plus élevées par rapport aux autres moyens de déplacements. Le comportement de ce polluant est très similaire à celui des oxydes d'azote. Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'habitacle de la voiture seront donc vraisemblablement les plus importantes.

Compte tenu des conclusions établies dans la partie précédente, l'habitacle des véhicules constitue un espace confiné favorisant l'accumulation et l'automobiliste est directement soumis aux émissions des véhicules les plus proches. Un cycliste peut également, en fonction de la configuration de la voie de circulation, être impacté par les gaz d'échappement issus des véhicules proches de lui comme notamment pour cet exemple sur le pont Georges V. Au contraire, le piéton, situé sur le trottoir à une certaine distance des émissions des véhicules, est moins exposé, avec une dispersion plus efficace des polluants mais peut temporairement être soumis à des bouffées importantes en concentrations.

Pour les particules en suspension, les valeurs moyennes et maximales les moins élevées sont relevées en voiture suivie de la marche, et enfin du vélo et du tramway à niveaux équivalents. Cette différence peut être expliquée par le rôle du filtre à air limitant la pénétration des particules de grande taille au sein de l'habitacle du véhicule. A l'inverse, les piétons et les cyclistes comme pour le dioxyde d'azote peuvent être plus impactés par les émissions issues des véhicules les plus proches.

En ce qui concerne l'évaluation de l'exposition des usagers se déplaçant en tramway, il est difficile de tirer des conclusions par manque de données en particulier pour le dioxyde d'azote. Pour les deux autres polluants, le niveau d'exposition est relativement proche de celui relevé à pied.

b) Trajet Boulevard Marie Stuart – Pont de l'Europe

Le 2 décembre 2014, un trajet entre le boulevard Marie Stuart et le pont de l'Europe a été réalisé durant les heures de pointes de fin de journée. Ce trajet a été effectué simultanément en tramway (ligne B), en voiture (en passant par la tangentielle) et avec un deuxième véhicule mais passant par les quais (figure 39).

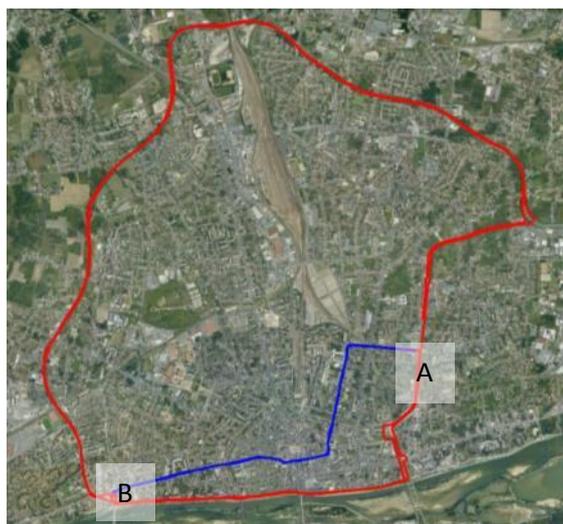


Figure 39 : Trajets Bd Marie Stuart – Pont de l’Europe le 02/12/14 (rouge : voiture ; bleu : tram)

Les temps de trajet ont été de 20, 22 et 25 minutes respectivement pour le tramway, la voiture passant par les quais et la voiture passant par la tangentielle.

Les concentrations moyennes observées lors de ce trajet sont regroupées sur la figure 40. On constate à nouveau une certaine homogénéité des niveaux en particules en suspension.

La voiture passant par la tangentielle a été exposée à des concentrations en dioxyde d’azote plus importantes que celle passant par les quais. Mais concernant les moyennes en monoxyde de carbone, même si elles sont faibles, le comportement est inversé.

Les moyennes en particules en suspension sont à nouveau homogènes quel que soit le moyen de transport utilisé.

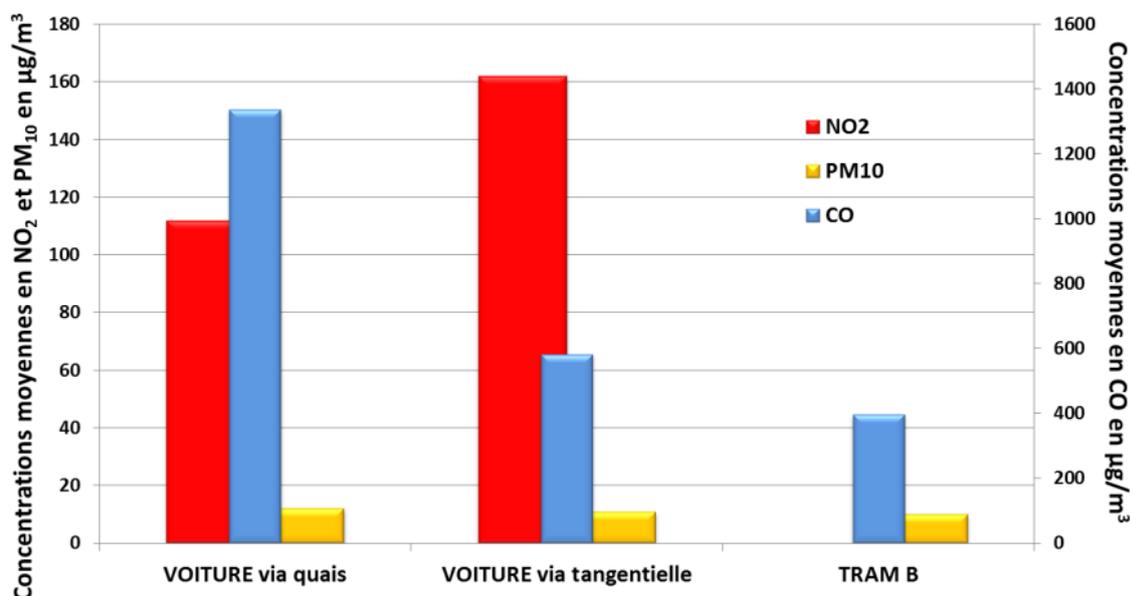


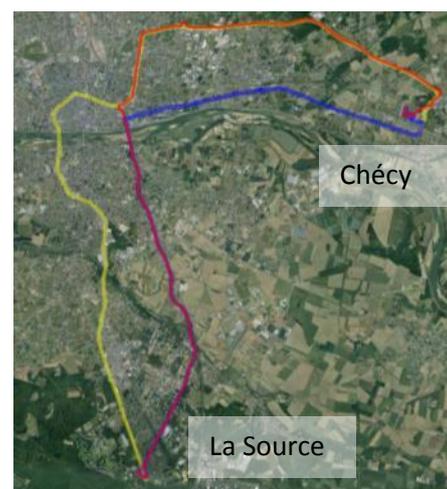
Figure 40 : Concentrations moyennes en NO₂, PM₁₀ et CO le 02/12/14 pour un trajet allant du boulevard Marie Stuart au pont de l’Europe

c) Trajet voiture Chécy – La Source

Du 8 au 12 décembre 2014, un trajet allant de Chécy à La Source a été réalisé en voiture quotidiennement, le matin et le soir, aux heures de pointes en voiture. L'objectif était de voir les variations pour un même trajet au cours de différents jours de la semaine.

Ce trajet représente 20 km (figure 41). Il emprunte des axes très chargés aux heures de pointe tels que le pont Thinat et le boulevard Bourgogne (trajet bleu).

Figure 41 : Trajets Chécy – La Source effectué en voiture du 8 au 12 décembre 2014 (source : Google Earth)



L'automobiliste a changé son parcours à deux occasions. Le jeudi 11 décembre au matin, il est passé par la tangentielle puis a repris le pont Thinat (trajet rouge). Le parcours jaune correspond au trajet du 11 décembre au soir en passant par la RD2020, le pont Joffre et la tangentielle.

Le temps de parcours moyen était de 53 minutes. Il a varié de 42 minutes à 1 heure. Les deux alternatives du 11 décembre, même si elles sont plus longues en kilomètres, ont duré 48 et 50 minutes respectivement pour les trajets du matin et du soir (tableau 16).

	Temps de parcours (hh:mm)	Vitesse moyenne (km/h)	Concentration moyenne en NO ₂ (µg/m ³)	Concentration moyenne en PM ₁₀ (µg/m ³)	Concentration moyenne en CO (µg/m ³)
08/12/14 au soir	00:52	31	-	8	431
09/12/14 au matin	01:01	24	-	14	4045
09/12/14 au soir	01:01	27	158	-	997
10/12/14 au matin	00:48	30	52	4	152
10/12/14 au soir	00:42	34	92	12	556
11/12/14 au matin	00:48	35	76	6	239
11/12/14 au soir	00:50	37	101	7	482
12/12/14 au matin	00:54	33	46	-	-

Tableau 16 : Concentrations moyennes en NO₂, PM₁₀ et en CO mesurées en voiture en fonction du 8 au 12 décembre 2014 de Chécy à La Source

Le tableau 16 regroupant les moyennes des polluants mesurés au cours de ces trajets permet de mettre en évidence que les niveaux respirés dans l'habitacle de la voiture peuvent être très variables pour un même trajet. Ceci illustre bien le fait qu'il est impossible de généraliser et que chaque déplacement est un cas particulier. Toutefois une constatation s'impose : plus le trafic est dense et ralenti, plus l'environnement proche influence négativement la qualité de l'air dans la voiture.

Les cartes de la figure 42 illustrent respectivement les variations des concentrations en monoxyde de carbone et la vitesse au cours du trajet du 9 décembre au matin. Ce parcours fut caractérisé par un gros embouteillage faubourg Bourgogne et la présence signalée de véhicules émetteurs à proximité. Ainsi les concentrations en monoxyde de carbone ont atteint, pour ce trajet, le maximum observé durant toute notre étude Ast'Air, de 15 312 µg/m³ (moyenne à la minute).

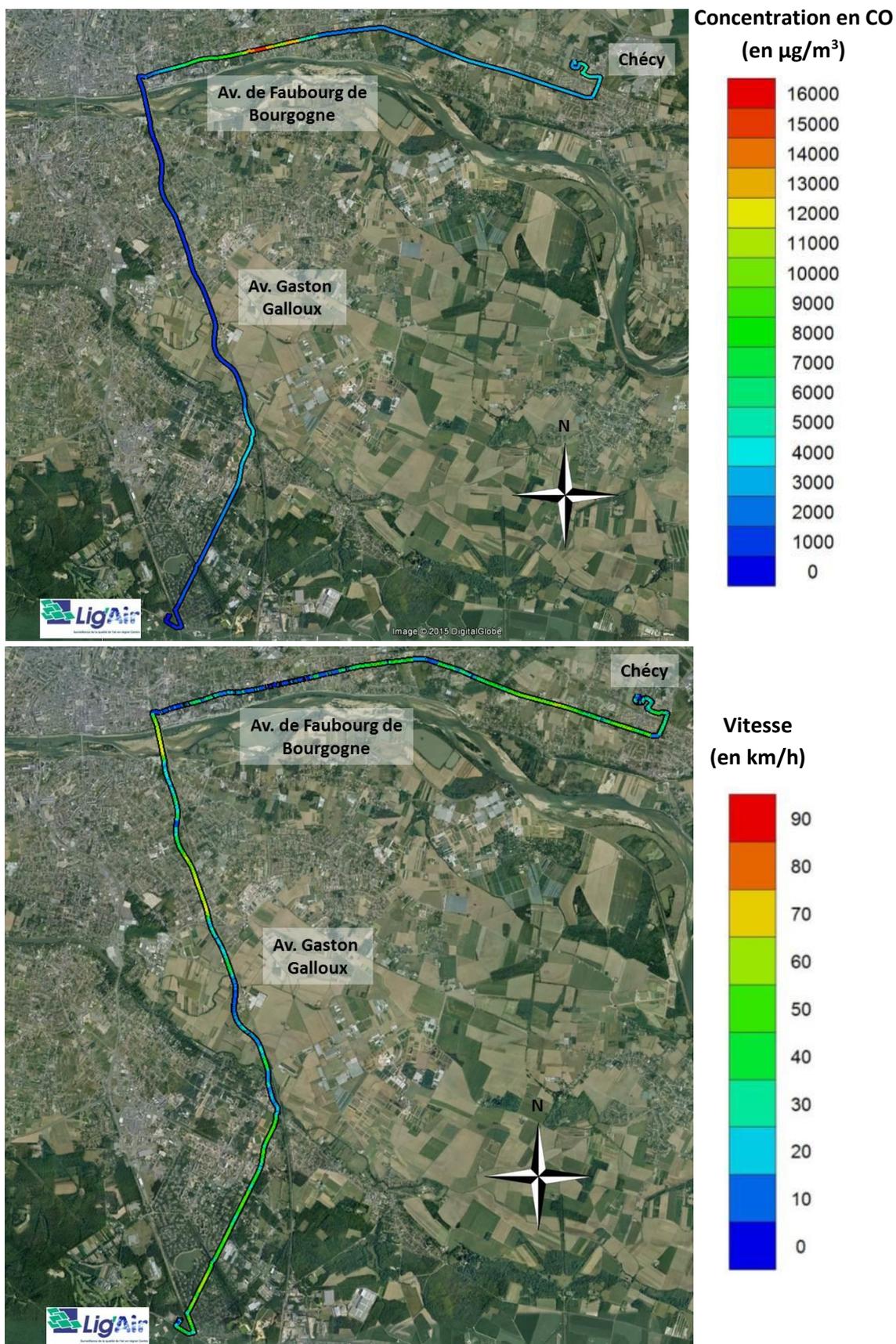


Figure 42 : Cartographies des concentrations en CO mesurées à l'intérieur de l'habitat et des vitesses du véhicule (source Google Earth)

Annexe 6 : Présentation de Lig'Air

QUI ? Une Association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA)

Membre de la Fédération Atmo France (réseau français des AASQA), Lig'Air est une association régionale créée en 1996, pour assurer la surveillance de la qualité de l'air de la région Centre.

Gérée collégalement par les acteurs de l'air

Lig'Air compte une soixantaine d'adhérents appartenant à quatre collèges : Etat et établissements publics, Collectivités territoriales ou leurs groupements, Industriels et organismes représentatifs des activités économiques, Organismes qualifiés et associations.

QUOI ?

Une triple mission au service de la qualité de l'air

- Évaluation de la qualité de l'air avec la production de données de concentrations et d'émissions de polluants.
- Information du public avec la diffusion de données mesurées ou prévues, au quotidien et en période d'alerte à la pollution.
- Expertise et aide à la décision dans le cadre de plans et schémas réglementaires, situations de pollution, projets d'aménagements urbains, routiers ou industriels.

COMMENT ?

Un cadre d'actions : le Programme de surveillance de la qualité de l'air (PSQA)

Déclinaison des ambitions européennes et françaises, le PSQA fixe la stratégie de surveillance de la qualité de l'air pour cinq ans.

Un ensemble de moyens techniques et humains

Une quinzaine de personnes (administratifs, ingénieurs, techniciens) constituent l'effectif de Lig'Air. Son budget annuel, de l'ordre de 1,6 millions d'euros, provient principalement des industriels (Taxe générale sur les activités polluantes, dons déductibles...), et de subventions de l'Etat et des collectivités.

POURQUOI ?

Objectif santé !

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, adoptée le 30 décembre 1996, a « reconnu à chacun le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé et d'être informé de la qualité de l'air qu'il respire ». Cet objectif majeur de santé publique est à l'origine de la création de Lig'Air et des AASQA. Il constitue le cadre de leur action, en appui des plans et schémas réglementaires qui encadrent la qualité de l'air (Plans régionaux santé-environnement, Plans de protection de l'atmosphère, Schémas régionaux climat-air-énergie...).

Lig'Air 260, avenue de la Pomme de Pin - 45590 Saint-Cyr-en-Val - Tél. : 02 38 78 09 49 - Fax : 02 38 78 09 45 - www.ligair.fr