



ORAMIP
OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES
Atmo Midi-Pyrénées

QUALITÉ DE L'AIR

Rapport d'étude

CAMPAGNE DE MESURES DE L'EXPOSITION DES USAGERS DES TRANSPORTS

AGGLOMÉRATION TOULOUSAINE PÉRIODE HIVERNALE 2015



Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP

19 avenue Clément Ader

31770 COLOMIERS

Tél : 05 61 15 42 46

contact@oramip.org - <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>

CONDITIONS DE DIFFUSION

ORAMIP Atmo - Midi-Pyrénées, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de Midi-Pyrénées. ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées fait partie de la fédération ATMO France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle de ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées. Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec l'ORAMIP :

- depuis le formulaire de contact sur le site <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>
- par mail : contact@oramip.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES.....	3
ANNEXE I : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AU DIOXYDE D'AZOTE DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI.....	9
ANNEXE II : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES PM10 DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI	19
ANNEXE III : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES ULTRAFINES DES USAGERS EN VOITURE ET EN VELO.....	27
ANNEXE IV : COMPARAISON DE L'EXPOSITION AU COURS D'UN MEME TRAJET SELON LE MODE DE TRANSPORT.....	32
ANNEXE V : COMPARAISON DES RESULTATS DES TRAJETS 2008 REALISES EN 2015	35
ANNEXE VI : QUANTITES DE POLLUANTS EMISES SELON LE TYPE DE MOYEN DE TRANSPORT CHOISI PAR VOYAGEUR	36
ANNEXE VII : CARTES DES ITINERAIRES ETUDIES.....	37
ANNEXE VIII : DES TRAJETS DOMICILE-TRAVAIL REPRESENTATIFS DES USAGES SUR L'AGGLOMERATION TOULOUSAINNE	38
ANNEXE IX : PROTOCOLE TECHNIQUE.....	42

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Sur la grande agglomération toulousaine, nous réalisons quotidiennement 608 000 déplacements entre notre domicile et notre travail. Les trois-quarts de ces déplacements sont effectués en voiture. Le quart restant est réparti entre les transports en commun, le vélo, la marche ou un autre mode de déplacement.

Les trajets domicile-travail ne représentent que 16% de nos déplacements totaux. Mais ils impactent fortement notre vie car ils sont majoritairement réalisés sur les deux périodes d'heure de pointe (source Tisséo SMTC), ils participent de façon importante aux émissions de polluants... Nous parcourons ainsi les 19 km moyens qui nous séparent de notre travail en 29 mn (source INSEE, Toulouse la ville en rose.)

En 2008, Atmo Midi-Pyrénées ORAMIP a réalisé une étude afin d'évaluer l'exposition des personnes à la pollution de l'air dans différents types de transports et de comparer les concentrations mesurées lors des trajets à celles mesurées sur les stations permanentes.

Au printemps 2015, ATMO Midi-Pyrénées ORAMIP a renouvelé cette étude.

Cette nouvelle étude permet :

- d'améliorer les connaissances sur les niveaux de pollution auxquels est exposée la population en empruntant ces différents modes de transport,
- d'évaluer la variation de la situation entre 2008 et 2015 suite à l'évolution locale des infrastructures de transport et des déplacements, et suite au durcissement des normes européennes limitant les émissions de polluants des véhicules neufs,
- d'informer et de sensibiliser les citoyens et les décideurs qui peuvent faire évoluer leurs comportements et leurs choix, visant ainsi une amélioration de la qualité de l'air et une réduction de leur propre exposition à la pollution de l'air lors de leurs déplacements,
- d'étudier la faisabilité de développer à terme une application permettant à chacun de connaître son exposition à la pollution de l'air en fonction de son trajet et des moyens de transport empruntés.

L'étude 2015 a été réalisée dans le cadre d'un partenariat avec la Région Midi-Pyrénées.

Des trajets représentatifs des déplacements domicile - travail sur l'agglomération toulousaine

En 2015, l'ORAMIP a étudié l'exposition de la population active à la pollution de l'air lors de ses déplacements domicile - travail.

Afin de s'assurer de la représentativité de cette étude, les trajets ont été choisis à partir des résultats de l'enquête sur "les déplacements dans la Grande Agglomération Toulousaine" en 2013 (source AUAT) (annexe VIII).

Les paramètres pris en compte ont été :

- la répartition des trajets domicile travail par mode de transport et par zone géographique,
- la carte des principales zones d'emploi sur la grande agglomération toulousaine.

Piétons, cyclistes, conducteurs de voiture, usagers des transports en commun : bus urbain, tram, métro et TER ont ainsi été équipés pour mesurer leurs niveaux d'exposition aux principaux polluants émis lors de déplacements (annexe IX):

- le dioxyde d'azote,
- les particules PM10 (particules de diamètre inférieur à 10 µm)
- les particules ultrafines (particules de diamètre inférieur à 0,1 µm.

2015, confirmation des conclusions de 2008 : la voiture, moyen de transport le plus exposé à la pollution

Le classement des moyens de transport tous polluants confondus du plus exposé au moins exposé est identique à celui obtenu en 2008.

Ainsi, en 2015, le mode de transport où l'exposition des personnes à la pollution de l'air est la plus élevée est la voiture, suivi par le bus et le TER, puis le vélo et la marche à pied. Les deux modes de transport les moins exposés sont le tram et le métro.

Les niveaux de polluants mesurés dans les différents modes de transport sont dus à plusieurs paramètres :

- le niveau de pollution du quartier traversé,
- la position par rapport à la chaussée,
- l'importance du flux de circulation (circulation fluide ou embouteillée)
- les émissions du véhicule précédent.

Cette étude montre que les niveaux de pollution mesurés dans tous les modes de transport utilisés sont liés pour partie au niveau de fond de l'agglomération. Une diminution de cette pollution atmosphérique de fond permettrait donc une réduction de l'exposition.

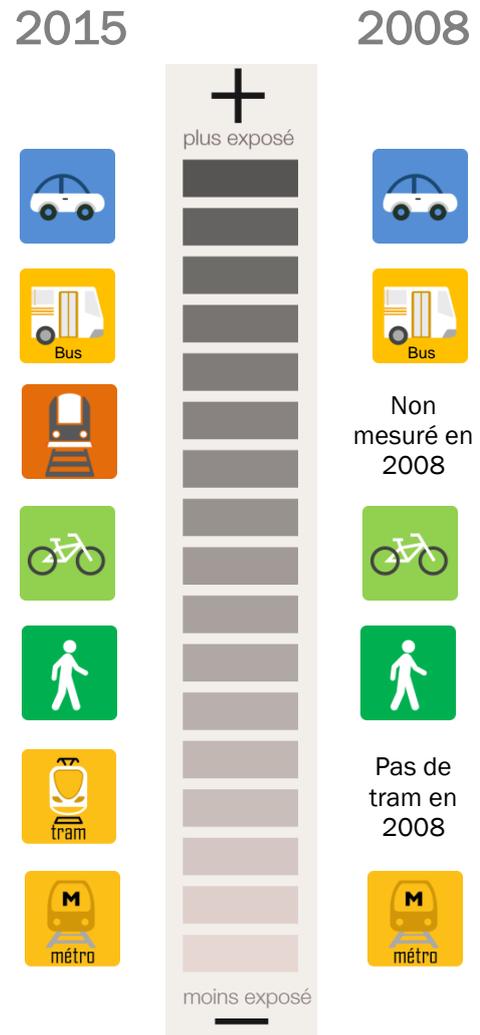


Figure 1 : classement indicatif des moyens de transport du plus exposé au moins exposé, tous polluants confondus.



L'automobiliste est le plus exposé au dioxyde d'azote et aux particules ultrafines

Le dioxyde d'azote, les particules et plus particulièrement les particules ultrafines sont rejetés par les gaz d'échappement des véhicules.

Ainsi, à l'échelle de Toulouse Métropole, 81% des émissions d'oxydes d'azote sont issues du trafic routier. Ces polluants pénètrent ensuite dans l'habitacle des voitures et des bus et s'y accumulent.

L'utilisateur de la voiture est ainsi celui qui est le plus exposé au dioxyde d'azote et aux particules ultrafines. S'il est au volant d'une voiture, il est également le plus émetteur d'oxydes d'azote par kilomètre parcouru (Annexe VI).

L'exposition la plus importante est mesurée sur les principaux axes de circulation lorsque le trafic est congestionné. Les concentrations en dioxyde d'azote peuvent alors, sur certaines portions de voie, excéder la valeur guide horaire de 200 µg/m³. Cette valeur, fixée par l'OMS, protège de l'apparition d'effets sur la santé.

Le bus est le second moyen de transport le plus exposé et troisième émetteur d'oxydes d'azote après le TER.

Les concentrations en dioxyde d'azote relevées dans les bus circulant en ville sont assez homogènes. En moyenne ils sont 2 fois plus faibles que la valeur guide de 200 µg/m³. En revanche, pour un trajet du bus passant par le périphérique, les niveaux en NO₂ sont similaires à ceux rencontrés par les conducteurs de voiture. Ne circulant pas en site propre, il est soumis aux mêmes embouteillages que les voitures.

2 trajets en TER ont été réalisés. Les émissions d'oxydes d'azote et l'exposition des usagers des TER au dioxyde d'azote varie fortement entre ces deux trajets, l'un ayant été réalisé dans un TER électrifié, le second dans un TER fonctionnant au diesel. En moyenne, l'exposition des usagers du TER apparaît légèrement plus faible que celle des usagers des bus.

Les modes de transport suivants n'émettent pas d'oxydes d'azote. L'utilisateur du vélo est soumis à des niveaux d'exposition en dioxyde d'azote et particules ultrafines inférieurs aux usagers des voitures. Ces niveaux sont variables selon la position du cycliste par rapport à la voie de circulation.

Ainsi, l'exposition moyenne au dioxyde d'azote et aux particules ultrafines en vélo peut être assez élevée lorsque le cycliste est sur la voie de circulation. La possibilité de doubler une file de voitures à l'arrêt permet néanmoins une exposition moindre en comparaison de celle de l'utilisateur de la voiture.

L'utilisation des voies de bus et le passage dans des rues à faible circulation ou dans l'hypercentre à dominante piétonnière permet une réduction nette des niveaux d'exposition. En moyenne, sur ces trajets, les niveaux de concentrations en NO₂ sont 3 à 4 fois plus faibles que ceux observés pour les trajets réalisés dans le flux de circulation.

La marche à pied et le tram sont les deux moyens de transport en air ambiant pour lequel l'exposition au dioxyde d'azote est la plus faible.

Le métro est, quant à lui, le moyen de transport le moins exposé au dioxyde d'azote. Selon l'intensité de fonctionnement de la ventilation, les niveaux de dioxyde d'azote sont plus ou moins importants mais sont en moyenne inférieurs aux niveaux des autres moyens de transport.

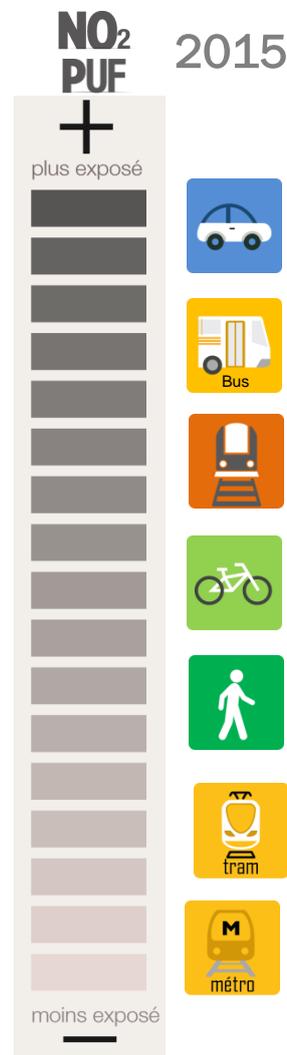


Figure 2 : classement indicatif des moyens de transport du plus exposé au moins exposé pour le dioxyde d'azote et les particules PUF.

Les niveaux de dioxyde d'azote et de particules PUF mesurés dans les différents modes de transport sont liés à ceux de l'environnement traversé. A proximité de trafic, les variations de concentrations en NO₂ et de particules PUF sont dues à l'importance du flux de circulation (circulation fluide ou embouteillée) et aux émissions du véhicule précédant. Plus on s'éloigne du trafic routier, plus les niveaux diminuent pour se rapprocher du niveau de la pollution de fond.

L'utilisateur du métro est le plus exposé aux particules PM10

Les niveaux d'exposition les plus élevés ont été mesurés lors des trajets métro. En effet, dans cet environnement, les particules sont essentiellement issues de l'activité du métro. Elles sont produites par le roulement et le freinage des rames en circulation. En moyenne, un usager du métro émet autant de particules par kilomètre parcouru qu'un usager d'une voiture diesel. Cependant, dans l'enceinte du métro, les particules s'accumulent.

Dans l'air ambiant, sur Toulouse Métropole, 51% des émissions de particules sont issues du trafic routier. Seul un quart de ces particules est rejeté par les gaz d'échappement des véhicules, le reste est issu de l'usure des pneus, des freins et du réenvol.

Les niveaux de particules relevés dans les différents moyens de transport étudiés fluctuent peu au cours des trajets réalisés. Ils ne sont pas corrélés aux concentrations en dioxyde d'azote. Les niveaux de particules paraissent peu liés aux émissions des gaz d'échappement des véhicules.

Pour tous les modes de transport étudiés (hors métro) l'exposition aux particules est liée :

- au niveau de pollution moyen dans la zone,
- aux phénomènes locaux de réenvol de poussières qui peuvent engendrer des concentrations différentes de particules dans l'air en fonction de la configuration de la voie empruntée.

Les bus sont les seconds moyens de transports les plus exposés. Outre les causes indiquées ci-dessus, **l'ouverture fréquente des portes, le mouvement des passagers peuvent également être une source de particules.**

Les piétons et cyclistes sont exposés de façon similaire aux particules PM10.

Le tram, le TER et la voiture sont les moyens de transport où les niveaux d'exposition aux particules sont les plus faibles.

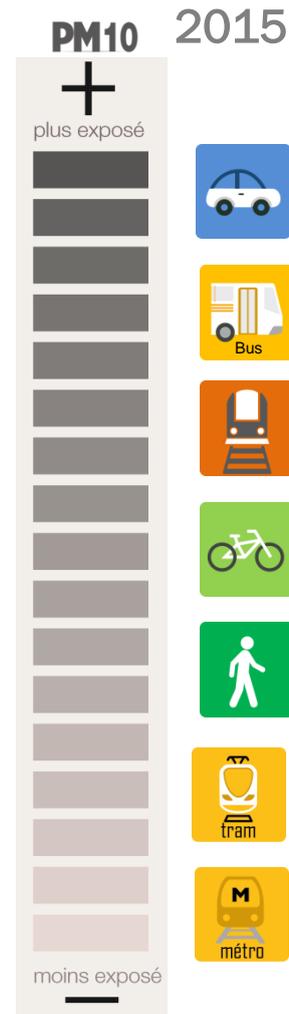


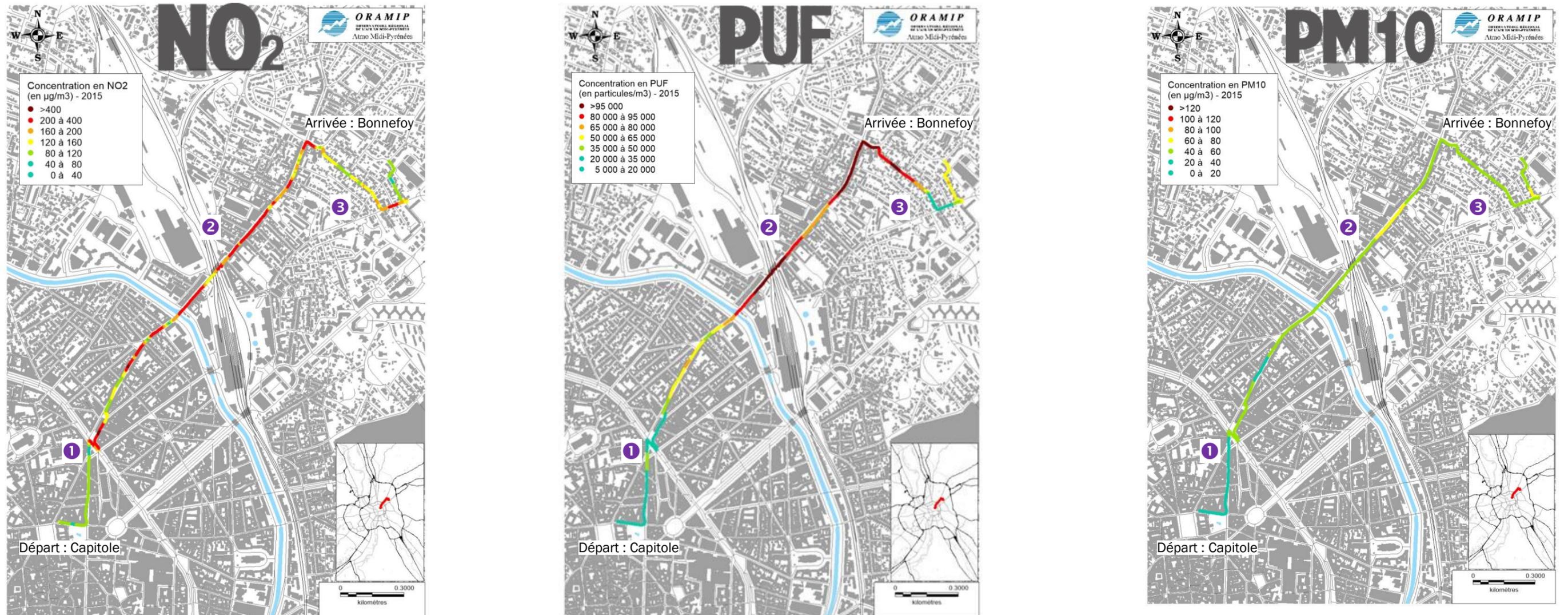
Figure 3 : classement indicatif des moyens de transport du plus exposé au moins exposé aux particules PM10.

Pour le tram et le TER, bien qu'ils soient émetteurs de particules et que leurs portes soient régulièrement ouvertes, les niveaux en particules restent faibles, équivalents au niveau de pollution moyen des quartiers traversés. Ils sont peu impactés par les phénomènes de réenvol de particules du fait de la distance de la voie aux principaux axes de circulation.

Enfin, la pénétration des particules dans l'habitacle des voitures est limitée du fait du maintien des fenêtres fermées et de la présence de filtres sur les entrées d'air.

Une exposition au dioxyde d'azote et aux particules ultra fines liées à la densité de circulation

Le trajet Ve6 reliant la place du Capitole au quartier Bonnefoy a été le trajet vélo le plus fortement exposé.

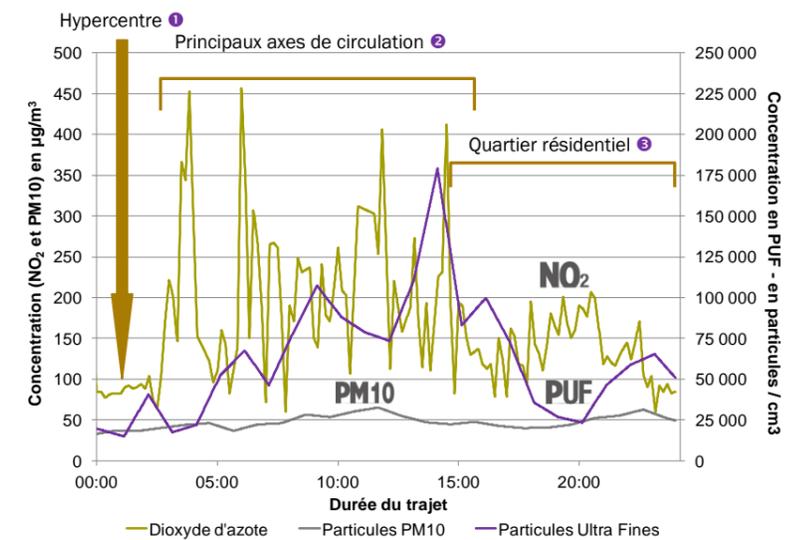


Carte 1 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote, et Particules Ultra Fines (en particules / cm³) particules PM10 (en µg/m³) sur le trajet Place du Capitole - quartier Bonnefoy

L'exposition au dioxyde d'azote et aux particules ultrafines fluctue fortement sur le trajet contrairement à l'exposition aux particules PM10 qui est quasi stable sur l'ensemble du trajet.

Les variations de dioxyde d'azote sont globalement corrélées avec les variations de particules ultrafines. Les niveaux les plus faibles de dioxyde d'azote et de particules ultrafines sont mesurés au départ (hypercentre à dominante piétonnière ①) et à l'arrivée du trajet (quartier résidentiel à circulation faible ③). Sur les principaux axes de circulation ②, les niveaux de concentrations augmentent.

Les plus fortes concentrations en dioxyde d'azote et particules ultrafines sont mesurées lorsque le cycliste roule derrière un véhicule sans possibilité de le doubler.



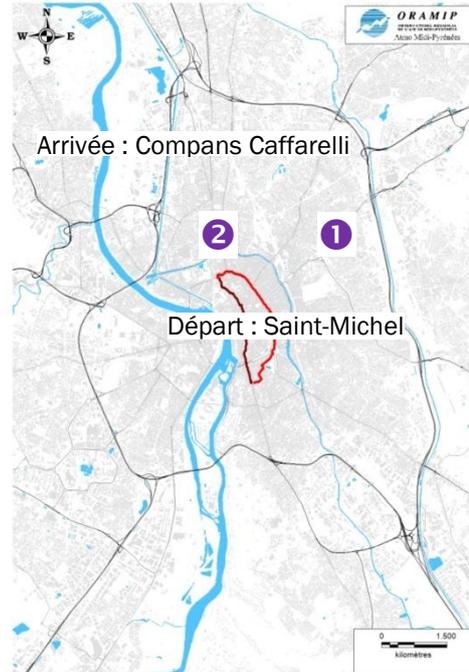
Grphe 1 : Évolution des concentrations en polluants (en µg/m³) sur le trajet Place du Capitole - quartier Bonnefoy

Importance du choix de l'itinéraire pour minimiser son exposition aux polluants

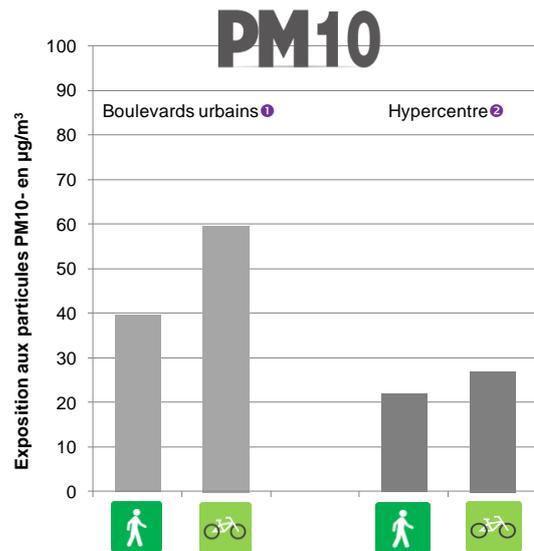
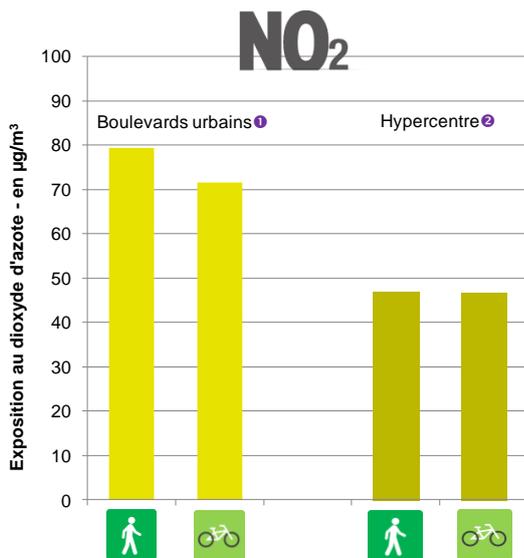
Au cours de cette étude, un trajet a été réalisé entre Saint-Michel et Compans Caffarelli à pied et à vélo selon deux itinéraires ; en longeant les boulevards urbains ❶ et en passant par l'hypercentre ❷.

Le choix d'emprunter un axe avec peu de trafic routier a permis de réduire l'exposition moyenne au dioxyde d'azote du cycliste et du piéton de l'ordre 40%. Quant à leur exposition aux particules PM10, elle a été divisée par 2.

L'exposition des piétons et des cyclistes à ces polluants est donc liée entre autres à l'éloignement au flux de circulation par la possibilité d'emprunter des aménagements dédiés aux cyclistes.



Carte 2 : Itinéraires piétons et cyclistes choisis pour réaliser le trajet Saint-Michel/Compans Caffarelli



Graphes 2 : Exposition moyenne d'un piéton et d'un cycliste sur le trajet Saint-Michel Compans Caffarelli selon deux itinéraires

L'exposition à la pollution atmosphérique dépend fortement du mode de transport utilisé. Mais elle dépend également de deux autres paramètres :

- de l'effort physique fourni pour effectuer le déplacement. Lors d'un exercice musculaire, marche à pied ou vélo, la consommation d'oxygène augmente. Les volumes d'air inspirés sont alors proportionnels à l'effort physique et à son intensité.
- de la durée moyenne du déplacement.

Compte tenu de leur effort physique, le cycliste et dans une moindre mesure le piéton inhalent donc des quantités de polluants plus importantes que les usagers des voitures ou des transports en commun.

Quelques précautions peuvent être prises pour limiter la quantité de polluants inhalés :

- pratiquer le déplacement à un rythme modéré pour ne pas augmenter de façon trop importante sa ventilation,
- choisir son trajet en préférant les axes les moins fréquentés.

Les quantités de particules inhalées par les cyclistes pourraient être réduites en favorisant l'installation d'équipements cyclables à distance du trafic routier en particulier dans les zones où les émissions de véhicules sont les plus élevées (zones régulièrement embouteillées...) ou bien dans les zones où les cyclistes doivent fournir un effort plus intense (dans les zones en pente par exemple)..

NO₂

ANNEXE I : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AU DIOXYDE D'AZOTE DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Principaux paramètres influençant les niveaux de NO₂ mesurés dans les différents modes de transport :

- le niveau de pollution du quartier traversé,
- la position par rapport à la chaussée,
- l'importance du flux de circulation (circulation fluide ou embouteillée)
- les émissions du véhicule précédent

LE DIOXYDE D'AZOTE: SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Les oxydes d'azote sont essentiellement émis lors des phénomènes de combustion. Ils se forment principalement sous l'action de la chaleur et des processus industriels. Les principaux secteurs émetteurs sont : les transports routiers, l'industrie manufacturière, l'agriculture et la transformation d'énergie.

EFFETS SUR LA SANTE

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Dès que sa concentration atteint $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les oxydes d'azote participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.)

LES NIVEAUX D'EXPOSITION AU DIOXYDE D'AZOTE DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI

Les concentrations moyennes mesurées pour chaque trajet ont été comparées à la situation moyenne en milieu urbain ainsi qu'aux concentrations relevées à proximité des principaux axes de circulation.

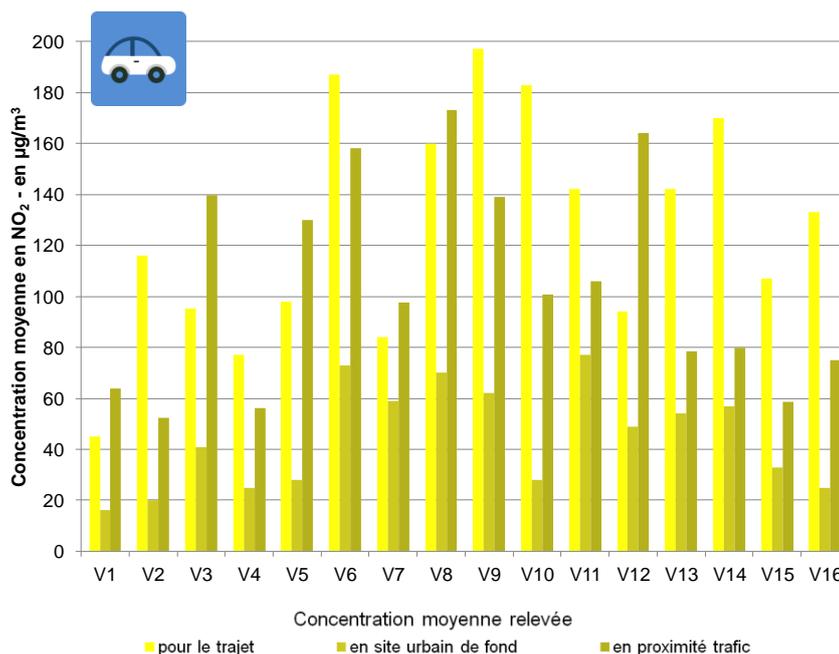
Le seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été pris comme référence pour évaluer l'intensité de l'exposition des usagers des

transports. En effet, l'OMS a établi qu'une exposition sur une courte durée (1 heure) à des concentrations en dioxyde d'azote dépassant ce seuil entraîne une inflammation importante des voies respiratoires.

Des niveaux d'exposition au dioxyde d'azote des usagers de la voiture directement liés aux conditions de circulation

Selon les trajets, l'exposition des usagers de la voiture est de 1,5 à 6,5 fois supérieure au niveau observé en air ambiant extérieur.

L'exposition des usagers de la voiture est également supérieure, pour les 2/3 des trajets, aux concentrations en NO_2 rencontrées à proximité des principaux axes de circulation toulousains. **Les concentrations mesurées lors des trajets en voiture correspondent à une exposition importante du fait de la proximité aux gaz d'échappement.** En outre, les polluants gazeux s'accumulent dans l'habitacle du véhicule.



Graph 3 : Concentration moyenne relevée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote dans la voiture, en site de fond et en proximité trafic

Pour 1/3 des trajets réalisés, le niveau d'exposition en NO_2 est compris entre 80 et $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il correspond, pour ces trajets, au double des niveaux observés en air ambiant de fond.

Ces trajets correspondent à ces déplacements utilisant des axes relativement fréquentés tels que :

- la périphérie éloignée de Toulouse à un pôle d'emploi situé dans la périphérie proche de Toulouse en passant par la rocade arc-en-ciel et le périphérique sud extérieur (V3),
- la périphérie éloignée de Toulouse à un pôle d'emploi situé dans la périphérie proche de Toulouse sans passer par le périphérique (V4 et V12),
- la périphérie proche de Toulouse au centre ville (V5)
- deux sites du centre ville (V7),

1/3 des trajets enregistrent des niveaux compris entre 100 et $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'exposition au NO_2 lors de ces

trajets est ainsi 3 fois plus élevée que les niveaux observés en air ambiant. Ces trajets empruntent le périphérique sur une distance assez importante (V2, V13, V15, V16).

Pour ces trajets, l'exposition à des concentrations supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reste ponctuelle, inférieure à 10% du temps du trajet.

Les niveaux d'exposition des trajets les plus exposés sont compris entre $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en concentration moyenne de dioxyde d'azote. Ces niveaux sont ainsi jusqu'à 5 fois plus élevés que les niveaux rencontrés dans l'air ambiant. Les déplacements réalisés empruntent tous des axes à 2 x 2 voies telles que le périphérique. Certains combinent circulation sur périphérique et zone urbaine toulousaine.

Sur tous ces trajets, la proportion de dépassement du seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est supérieure à 10% du temps de parcours. Pour le trajet le plus exposé, elle atteint 75% du temps de parcours.

Deux trajets (représentés ci-contre) reliant la commune d'Ondes au pôle d'emploi Saint Martin du Touch ont été réalisés sur 2 jours différents:

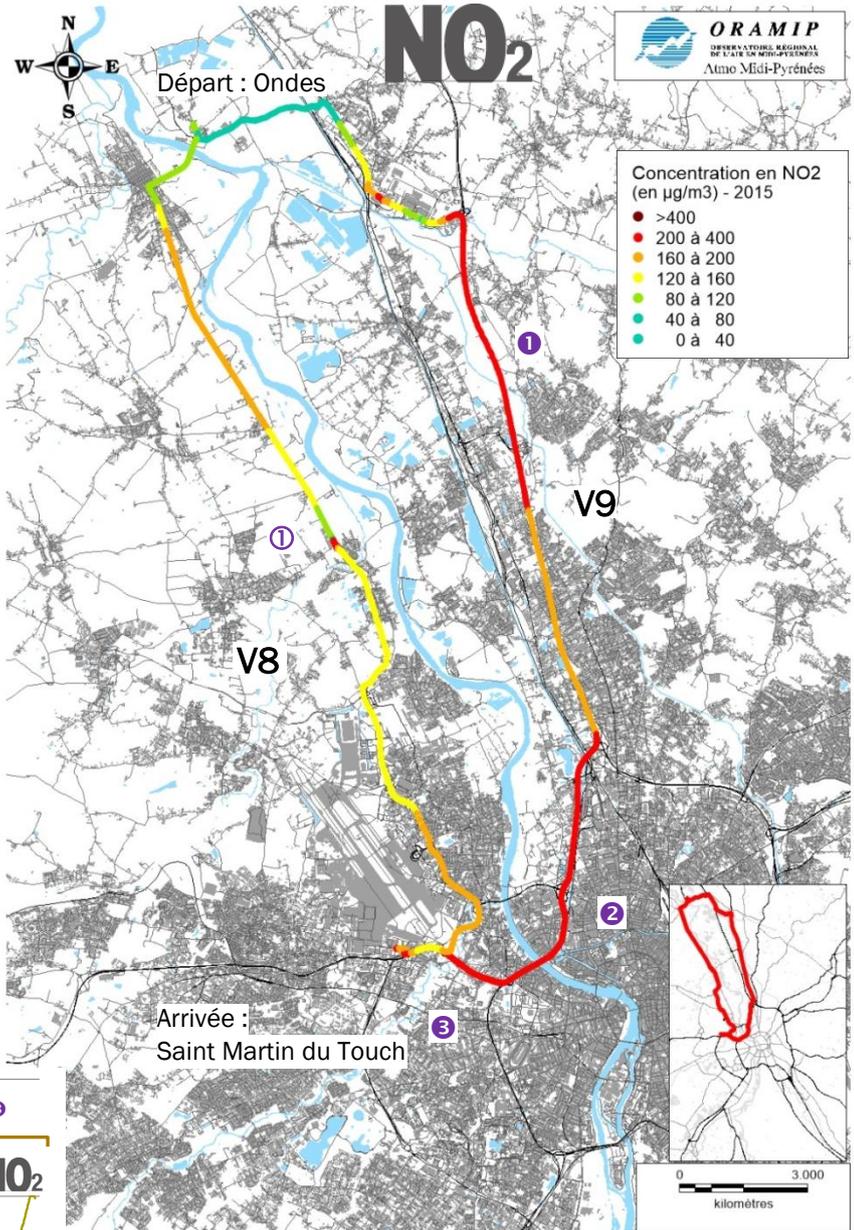
- l'un empruntant la départementale D2 puis le fil d'ariane (V8)
- le second passant par l'autoroute A62, puis le périphérique (V9)

Les deux trajets ont ensuite tous deux empruntés une portion de l'A624.

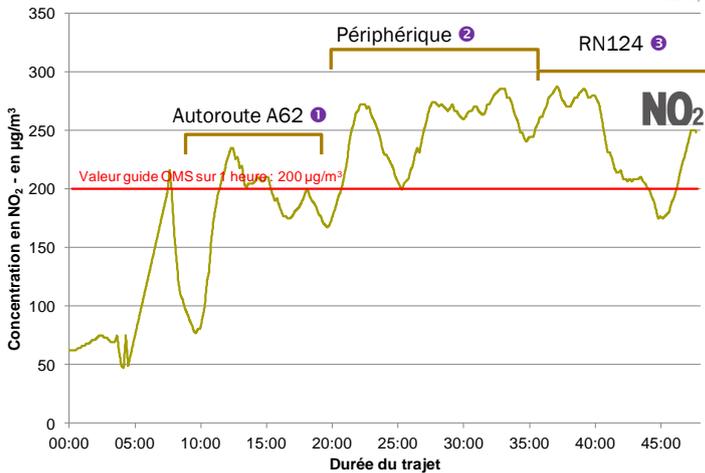
Au départ, les niveaux de dioxyde d'azote sont les plus faibles relevés sur les deux trajets. Ils présentent cependant une différence de niveaux, ils sont $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ plus élevés lors du trajet V8. Les concentrations sont ainsi respectivement de l'ordre de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le trajet V9 et de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le trajet V8. Ces niveaux et cet écart sont similaires à ceux relevés pour les stations fixes de mesures de l'agglomération toulousaine.

Pour les 2 trajets, l'exposition au NO_2 sur la portion de l'A624 empruntée est élevée, 80 à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ plus forte que le niveau de fond de la zone.

Le trajet V9 a été le trajet voiture le plus fortement exposé. Des concentrations supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont mesurées pendant les $3/4$ du trajet, sur une large portion de l'autoroute ① mais également sur l'ensemble de la portion de périphérique empruntée ② et sur une partie de la route nationale 124 ③. L'exposition moyenne au NO_2 sur ce trajet est de $197 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

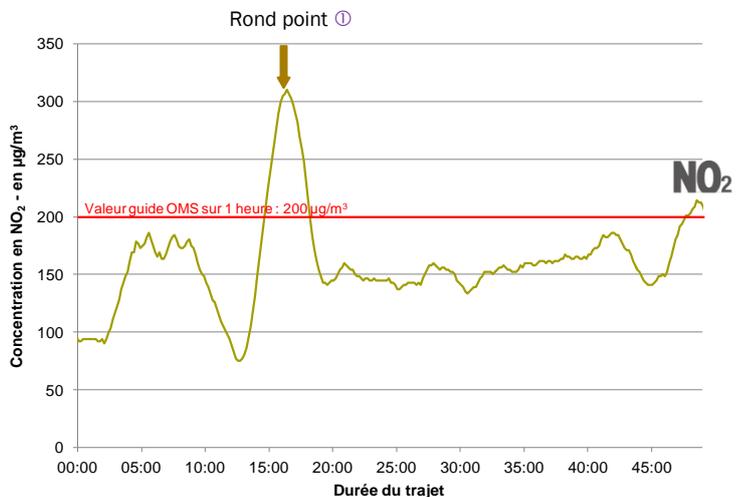


Carte 3 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur les trajets Ondes - Saint Martin du Touch



Graphe 4 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le trajet Ondes - Saint Martin du Touch par l'autoroute A62

Le trajet V8 est exposé à des niveaux de concentration plus faibles. Les concentrations supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne concernent que 10% du trajet. Ces dépassements ont essentiellement été enregistrés lors d'un ralentissement avant l'accès à un rond point ①. Sur le reste du trajet, les niveaux de NO_2 sont relativement homogènes. L'exposition moyenne sur ce trajet est de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Graphe 5 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le trajet Ondes - Saint Martin du Touch par la départementale D2

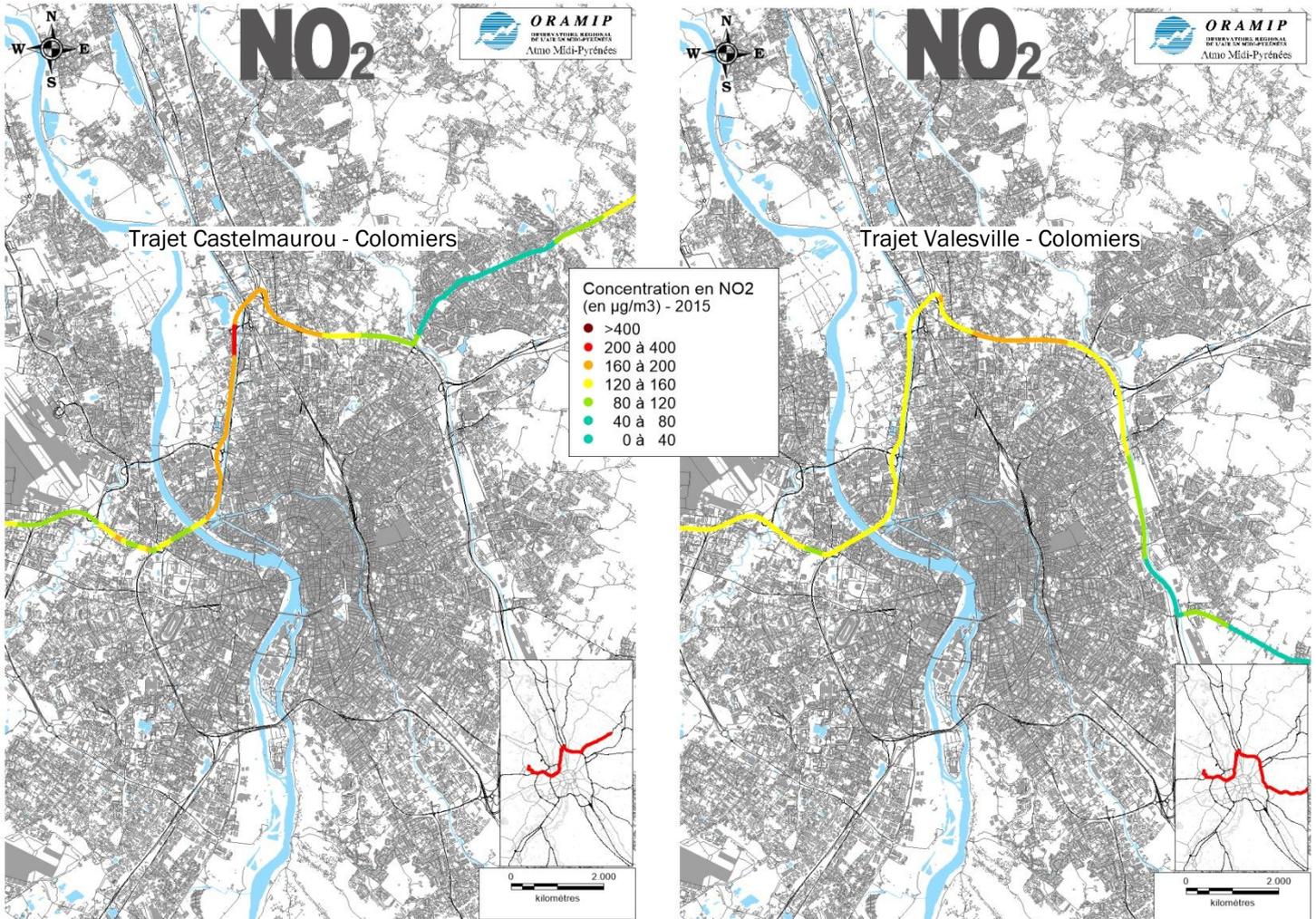
Sur les axes de circulation, la **fluidité du trafic influence fortement les niveaux de dioxyde d'azote mesuré**.

Lorsque la circulation est faible, les niveaux de dioxyde d'azote mesurés dans l'habitacle de la voiture sont du même ordre de grandeur que ceux relevés en fond dans les zones traversées.

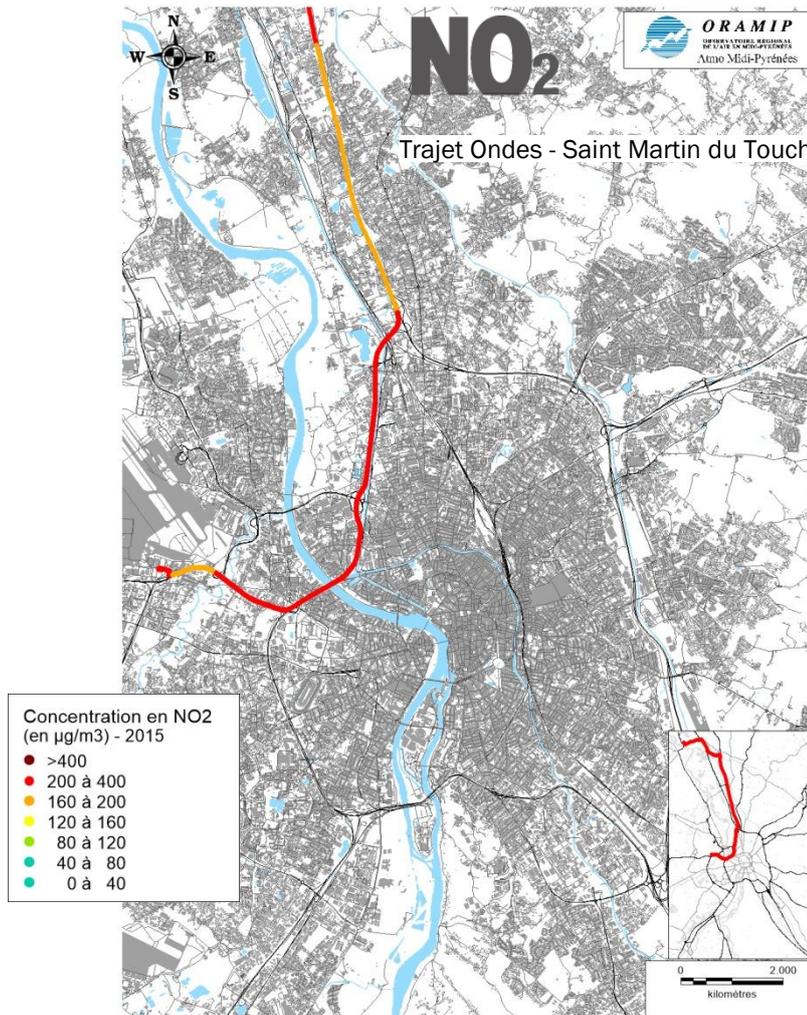
En revanche, sur les secteurs où les véhicules roulent au pas ou sont à l'arrêt tels que les grands axes permettant l'accès aux voies rapides, les boulevards

urbains, les entrées des pôles d'emploi, le périurbain, les niveaux de dioxyde d'azote augmentent fortement et dépassent le seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sur l'ensemble des trajets réalisés, le niveau maximal atteint en dioxyde d'azote a été de $773 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces conditions de circulation fluctuant d'un jour à l'autre, les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote peuvent fortement varier sur une même portion de voie.

Les cartes ci-après permettent de visualiser les variations des niveaux de concentrations mesurés sur le périurbain nord-ouest en fonction de la circulation.



Carte 4 : Evolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le périurbain nord pour trois itinéraires



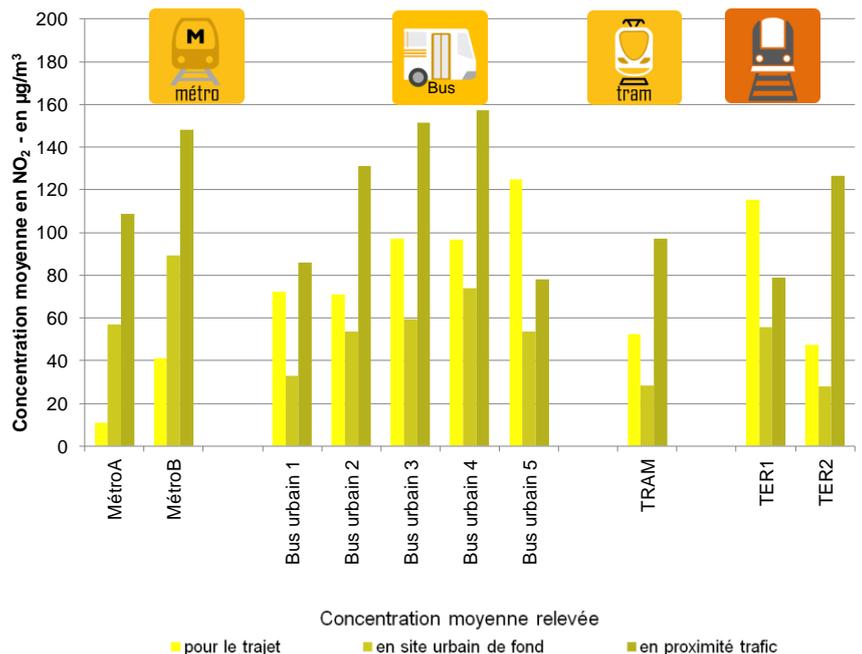
Carte 5 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le périphérique nord pour trois différents trajets

Les usagers des transports en commun moins exposés au dioxyde d'azote qu'en voiture

Les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote des usagers des transports en commun varient selon le type de transport en commun choisi. Mais ils restent systématiquement inférieurs au seuil de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pris comme référence.

Excepté pour le métro, l'exposition des usagers des transports en commun est jusqu'à 2,3 fois supérieure aux concentrations mesurées en air ambiant.

L'activité du métro ne génère pas de dioxyde d'azote. Mais il est introduit dans les enceintes ferroviaires souterraines par la ventilation naturelle et mécanique. En hiver, la ventilation mécanique fonctionne deux heures par jour. Les concentrations rencontrées sont donc faibles. Les débits de ventilation plus importants sur la ligne B entraînent des apports en dioxyde d'azote sur cette ligne plus élevés que sur la ligne A. L'exposition des usagers du métro au dioxyde d'azote est ainsi 2 à 5 fois inférieure au niveau de fond urbain.



Graphe 6 : Concentration moyenne relevée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote dans les différents transports en commun, en site de fond et en proximité trafic

En comparaison des niveaux mesurés dans les voitures, les concentrations mesurées dans les transports en commun sont généralement plus faibles.

Les usagers empruntant les bus circulant dans les rues de Toulouse sont soumis à des niveaux d'exposition au dioxyde d'azote relativement homogènes. En revanche, l'exposition des usagers des bus empruntant les axes à 2x2 voies très fréquentés et souvent embouteillés tels que le périphérique est plus importante. C'est notamment le cas pour la ligne n°63 reliant Tournefeuille à Compans Caffarelli en passant par le périphérique.

Les 2 trajets en TER étudiés présentent des niveaux d'exposition très différents. Le TER1 relie Lisle Jourdain à Matabiau. Il enregistre des concentrations en dioxyde d'azote élevées, supérieures à celles mesurées en proximité trafic. Cette ligne n'est pas une ligne électrifiée. L'utilisation de gas-oil par le TER peut expliquer ce résultat.

Le TER2 relie Matabiau à Muret, les niveaux en dioxyde d'azote mesurés sont les plus faibles relevés pour les transports en commun après ceux du métro. Cette ligne

de TER est une ligne électrifiée, il n'y a donc pas d'émissions de dioxyde d'azote par le train.

Les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote dans le tram sont du même ordre de grandeur que ceux relevés lors du trajet en TER sur une ligne électrifiée.

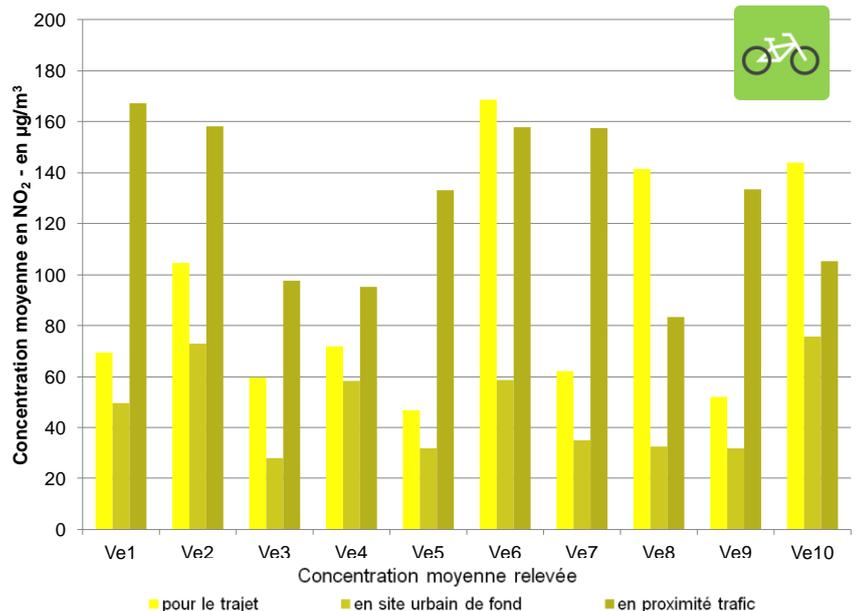
Pour tous les transports en commun, l'exposition au dioxyde d'azote est liée au niveau de pollution moyen dans le quartier.

Puis, selon les transports en commun, des facteurs différents interviennent :

- Pour les bus, l'importance du trafic sur le trajet emprunté.
- Pour les tram et les TER, l'éloignement au flux de circulation.
- Pour le métro, l'intensité et la durée du fonctionnement des ventilations et la position des prises d'air.

Une exposition du cycliste très variable selon le trajet choisi

Les niveaux d'exposition des cyclistes au dioxyde d'azote présentent une forte variabilité : les concentrations moyennes relevées pour les trajets vélo sont ainsi 1,2 à 4,4 fois supérieures aux niveaux mesurés dans l'air ambiant. En outre, selon le trajet, les concentrations supérieures au seuil sanitaire de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont représenté jusqu'à 26% du temps de parcours.



Graphe 7 : Concentration moyenne relevée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote en vélo, en site de fond et en proximité trafic

On distingue deux catégories de trajets :

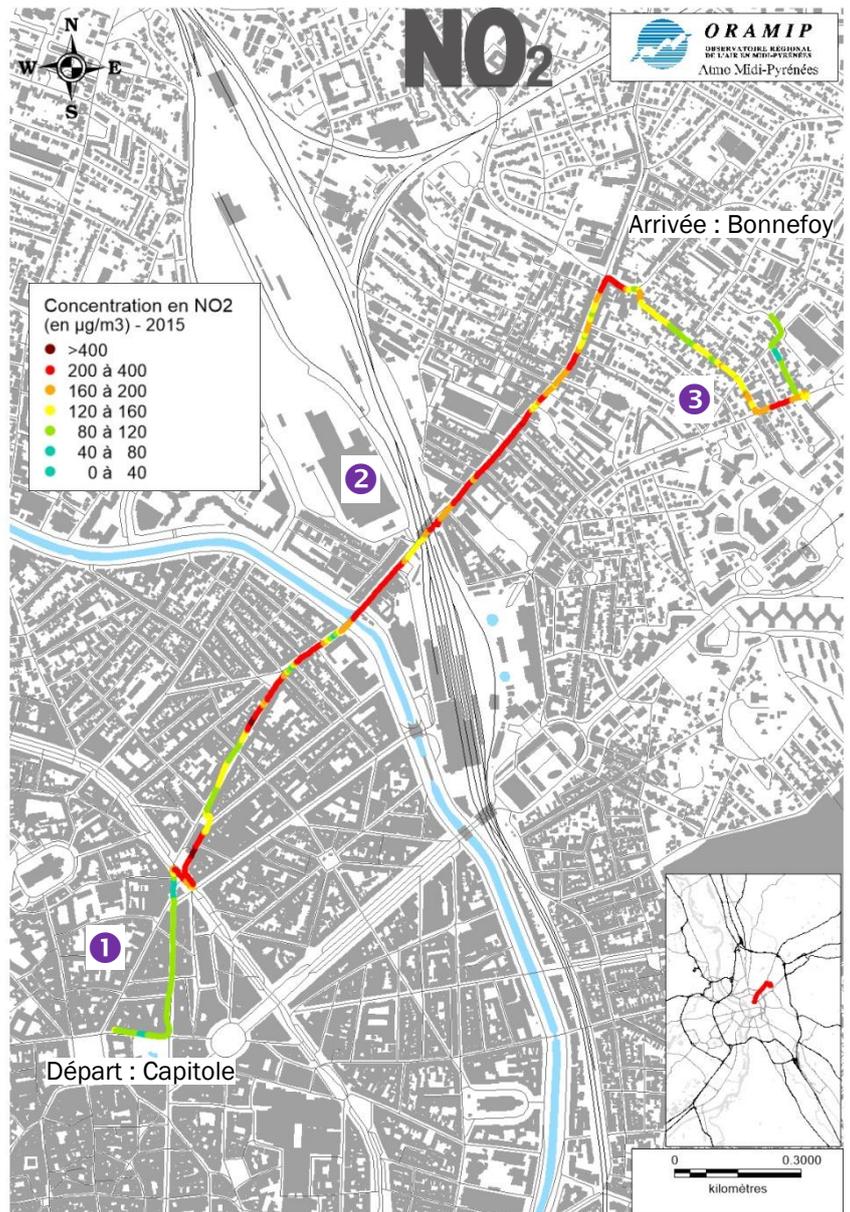
- Les trajets exposés à des niveaux de dioxyde d'azote nettement inférieurs aux concentrations observées à proximité des axes de circulation toulousain. Ils représentent 70% des trajets réalisés dans le cadre de cette étude. Ces trajets ont privilégié les voies à faible trafic ou à dominante piétonne ou les aménagements destinés aux cyclistes (pistes cyclables, voies de bus...) qui les éloignent du flux de circulation. Leur niveau d'exposition est fortement impacté par le niveau ambiant de fond. Ainsi, pour le trajet Ve2 un niveau d'exposition légèrement supérieur à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été observé, avec un niveau urbain de fond de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Les trajets fortement exposés au dioxyde d'azote (Ve6, Ve7 et Ve10). Les niveaux relevés sont jusqu'à 2 fois supérieurs à ceux rencontrés en proximité trafic. Ces trajets ont été réalisés sur des voies sans aménagement pour les cyclistes donc dans le flux de véhicules. Le cycliste avait peu de possibilité de doubler les véhicules à l'arrêt. L'exposition du cycliste est alors du même ordre de grandeur que celle des usagers des voitures. Le cycliste n'est cependant pas soumis aux phénomènes d'accumulations observés dans l'habitacle des voitures.

Le trajet Ve6 reliant la place du Capitole au quartier Bonnefoy (représenté ci-contre) a été le trajet vélo le plus fortement exposé.

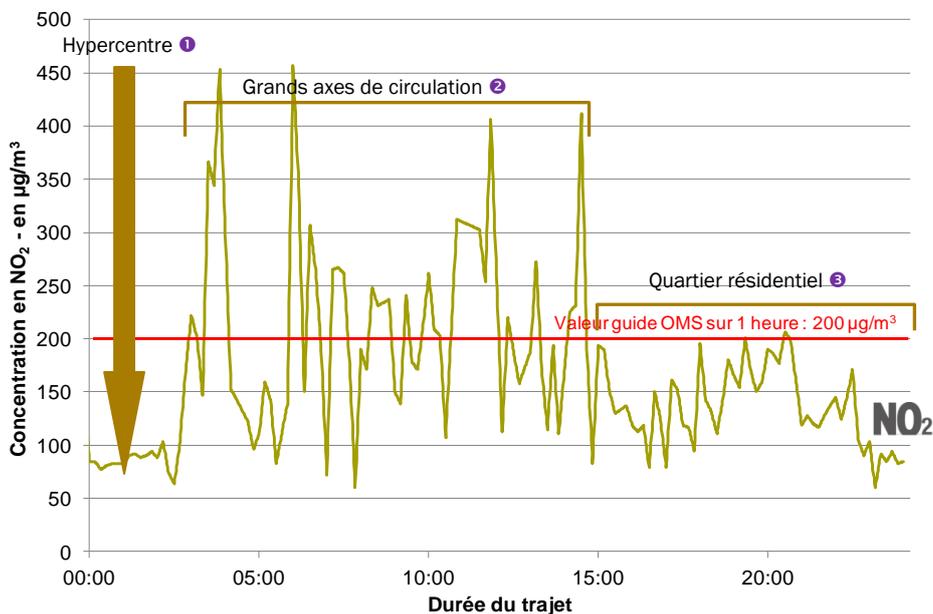
L'exposition du cycliste a fortement fluctué sur ce trajet ; de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne mesurés au départ (hypercentre à dominante piétonnière ❶) et à l'arrivée du trajet (quartier résidentiel à circulation faible ❸) à 456 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au maximum.

Sur les grands axes de circulation empruntés ❷, les niveaux de concentrations augmentent. Sur 26% du parcours, les concentrations mesurées sont ainsi supérieures à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les plus fortes concentrations sont mesurées lorsque le cycliste roule derrière un véhicule sans possibilité de le doubler.



Carte 6 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le trajet Place du Capitole - quartier Bonnefoy



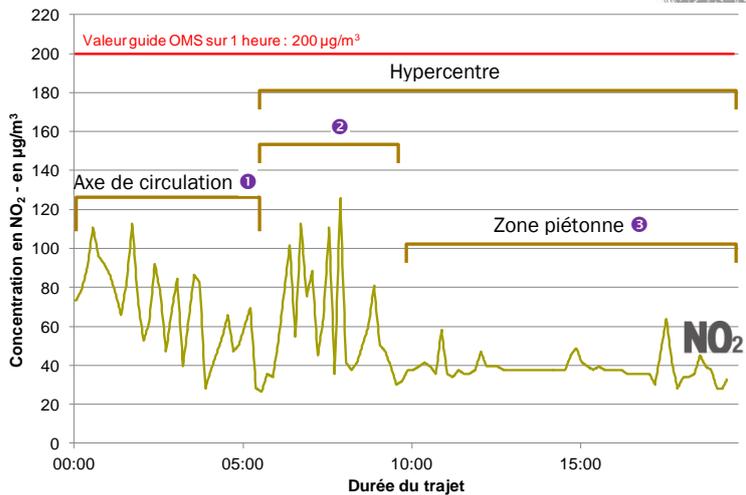
Graphe 8 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur le trajet Place du Capitole - quartier Bonnefoy

Le trajet Ve9 reliant Saint Michel à Compans Caffarelli par l'hypercentre à dominante piétonnière (représenté ci-contre) est l'un des trajets vélo les moins exposés.

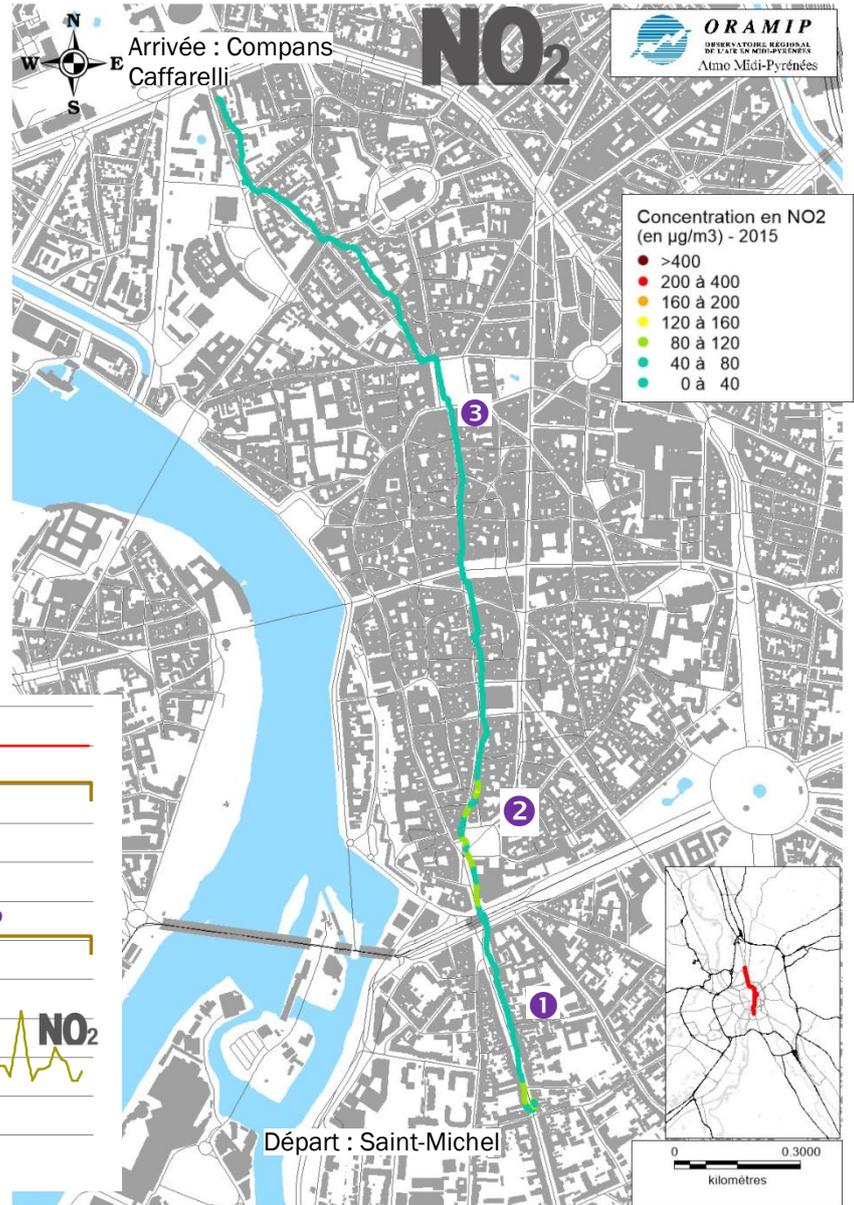
Sur la première partie du trajet ①, le cycliste roule sur un axe routier avec un trafic important. Il est alors exposé à des variations rapides des niveaux de NO₂ liés aux véhicules sur l'axe.

Il entre ensuite dans l'hypercentre ② par une route avec une circulation faible, mais où il n'a aucune possibilité de doubler. Il est à nouveau soumis à des bouffées de NO₂ dues au véhicule qui le précède.

Enfin, dans la zone piétonnière ③, le cycliste est exposé à des niveaux de concentrations en NO₂ proches du niveau de fond urbain. Aucune concentration supérieure au seuil de 200 µg/m³ n'a été enregistrée pour ce trajet.



Graph 9 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en µg/m³) sur le trajet Saint-Michel Compans Caffarelli



Carte 7 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en µg/m³) sur le trajet Saint-Michel Compans Caffarelli

A concentration et à distances égales, les cyclistes sont plus fortement exposés que les occupants des voitures car il leur faut généralement plus de temps pour parcourir la même distance.

Les cyclistes peuvent cependant faire le choix d'emprunter des itinéraires à faible circulation. Dans le cadre de cette étude, deux trajets cyclistes ayant les mêmes origines et destinations ont été réalisés, l'un dans le flux de circulation, le second passant par l'hypercentre toulousain à dominance piétonnier.

Le choix d'emprunter un axe avec peu de trafic routier a permis de réduire l'exposition moyenne du cycliste de 35%. Ces résultats soulignent l'importance du choix de

l'itinéraire sur les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote.

Trois facteurs influencent donc l'exposition du cycliste au dioxyde d'azote :

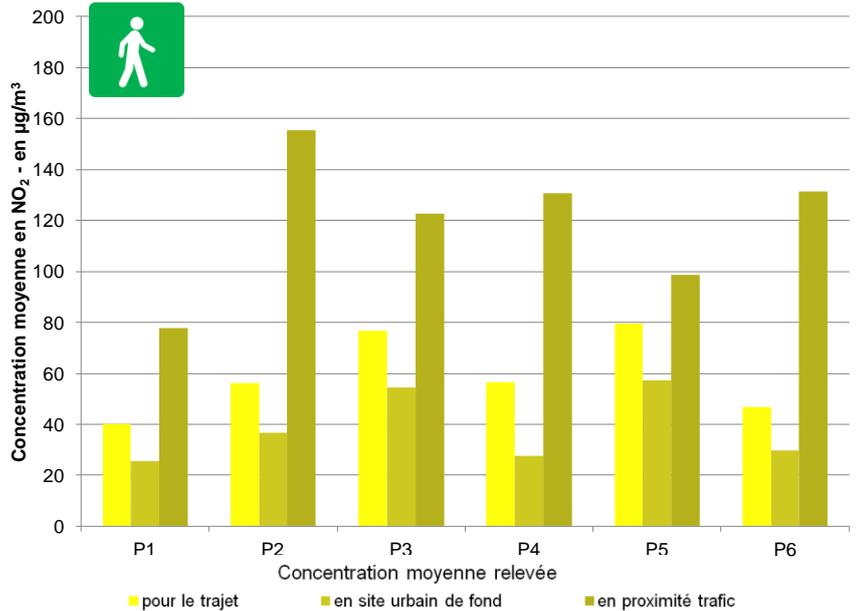
- le niveau de pollution moyen dans le quartier,
- l'importance du trafic sur le trajet emprunté,
- l'éloignement au flux de circulation par la possibilité d'emprunter des aménagements dédiés aux cyclistes.

L'exposition des piétons influencée par le niveau de pollution du quartier traversé

Les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote des piétons présentent une certaine homogénéité. Ils sont 1,4 à 2,1 fois supérieurs aux niveaux mesurés dans l'air ambiant.

Du fait de l'éloignement du piéton au flot de circulation, son niveau d'exposition est inférieur au niveau d'exposition des cyclistes et aux concentrations observées à proximité des principaux axes de circulation toulousains.

Les niveaux d'exposition des piétons sont très influencés par le niveau de pollution moyen relevé dans le quartier. Ainsi, pour les 2 trajets les plus exposés (P2 et P5), le niveau urbain toulousain est également le plus élevé.



Graphe 10 : Concentration moyenne relevée (en µg/m³) en dioxyde d'azote à pied, en site de fond et en proximité trafic

2015, confirmation des conclusions de 2008 : l'automobiliste est le plus exposé au dioxyde d'azote

Le tableau ci-contre présente le classement indicatif des moyens de transport du plus exposé au moins exposé pour le dioxyde d'azote.

Il récapitule les niveaux d'exposition moyens en dioxyde d'azote relevés par mode de transport en 2015 et lors de l'étude faite en 2008.

Il apparait que les niveaux d'exposition en dioxyde d'azote obtenus en 2015 pour les automobilistes et les usagers du métro sont similaires à ceux mesurés en 2008.

En revanche, ces mêmes niveaux d'exposition sont en hausse pour les bus, les cyclistes et les piétons. Pour les bus, l'étude de l'exposition des usagers d'un bus empruntant un axe à 2 x 2 voies (ligne 63) explique en partie cette hausse. Ce type de ligne de bus n'existait pas en 2008.

De même, les trajets en vélo réalisés directement sur les axes de circulation ont contribué à la hausse de l'exposition moyenne en 2015.

Enfin, les nombres de kilomètres parcourus à pied et à vélo ont respectivement été 2 à 3 fois plus importants en 2015 qu'en 2008. Cela a sans doute engendré une plus grande diversité des situations d'exposition.

Une relation entre les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote et la proximité de la voie de circulation est mise en évidence : plus on s'éloigne de la voie de circulation, moins le niveau d'exposition est important.

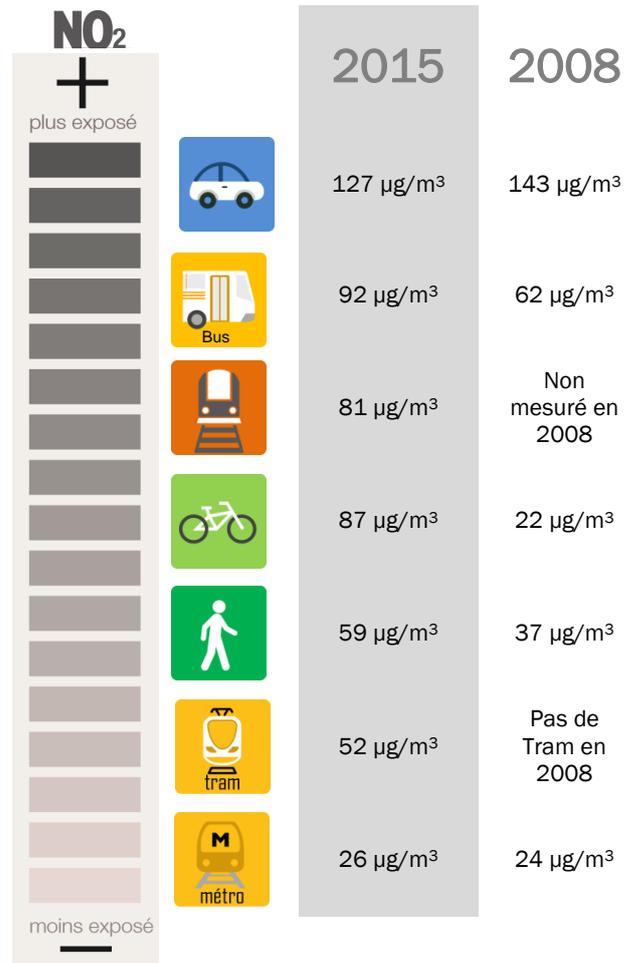


Figure 4 : comparaison des classements des moyens de transport du plus exposé au moins exposé pour le dioxyde d'azote et concentrations moyennes obtenues.

PM10

ANNEXE II : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES PM10 DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Principaux paramètres influençant les niveaux de **particules PM10** mesurés dans les différents modes de transport :

- le niveau de pollution du quartier traversé,
- les phénomènes de réenvol de poussières à l'échelle de la rue qui peuvent engendrer des concentrations différentes de particules dans l'air en fonction de la configuration de la voie empruntée,
- les phénomènes de réenvol dans le moyen de transport dus à aux mouvements des usagers

LES PARTICULES : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Les particules en suspension (PM) sont des éléments solides qui se retrouvent dans l'air ambiant.

Les sources de particules sont très nombreuses et ont des propriétés très variées. On distingue notamment :

- les sources de particules primaires : particules directement émises dans l'atmosphère
- les sources de particules secondaires : particules formées dans l'atmosphère suite à des conversions gaz-particules impliquant le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote ou les composés organiques volatils, ou même des particules primaires.

Les particules "primaires" sont issues de toutes les combustions liées aux activités industrielles ou domestiques, ainsi qu'aux transports. Elles sont aussi émises par l'agriculture (épandage, travail du sol, etc).

Les émissions de particules peuvent également être d'origine naturelle (érosion des sols, pollens, feux de biomasse, etc.)

Dans cette étude, on distingue :

les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM₁₀),

les particules ultrafines ou PUF de diamètre inférieur à 100 nm

Les particules PM₁₀ sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

Les particules ultra fines (PUF) sont quant à elles quantifiées en nombre (exprimées en particules/cm³).

EFFETS SUR LA SANTE

Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée.

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM₁₀ et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardiovasculaires.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les effets de salissures des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES PM10 DES USAGERS SELON LE MODE DE TRANSPORT CHOISI

Les concentrations moyennes mesurées pour chaque trajet ont été comparées à la situation moyenne en milieu urbain ainsi qu'aux concentrations relevées à proximité des principaux axes de circulation.

Il n'existe pas pour les particules PM10 de valeur sanitaire fixée sur un pas de temps court. Rappelons

cependant que même à faibles concentrations, la pollution aux particules à une incidence sanitaire. En effet, aucun seuil n'a été identifié au dessous duquel cette pollution n'impacte pas la santé.

Les automobilistes moins exposés aux particules grâce aux filtres d'entrée d'air

Les niveaux d'exposition des usagers de la voiture aux particules PM10 présentent une variabilité nettement moindre en comparaison de celle observée pour le dioxyde d'azote. Ils sont ainsi de 0.6 à 2.3 fois supérieurs au niveau de fond.

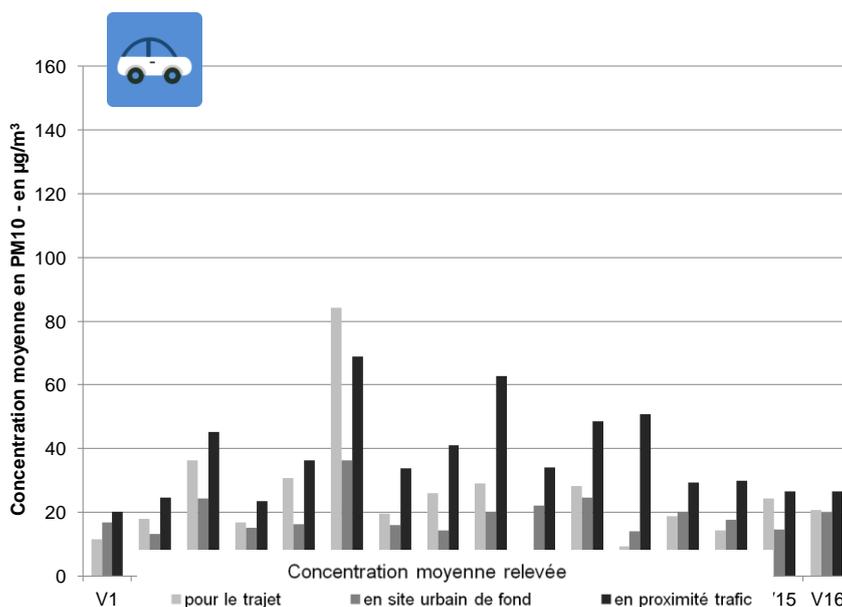
Pour 1/3 des trajets étudiés (V1, V11, V12, V13 et V16), les concentrations moyennes en PM10 mesurées sont 1,1 à 1,5 fois plus faibles que les niveaux observés en air ambiant.

Pour tous les autres trajets excepté V6, les niveaux moyens d'exposition aux particules PM10 sont plus élevés, mais ils restent inférieurs aux concentrations mesurées à proximité des principaux axes de circulation toulousains.

Avec un niveau d'exposition aux PM10 de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le trajet le plus exposé est le trajet V6. La concentration en particules mesurée simultanément en site de fond est également la plus élevée de cette étude.

Aucune relation n'est mise en évidence entre les niveaux de particules PM10 et les niveaux de NO₂ mesurés dans l'habitacle de la voiture.

Les trajets les plus exposés en dioxyde d'azote ne sont pas les plus exposés en particules.

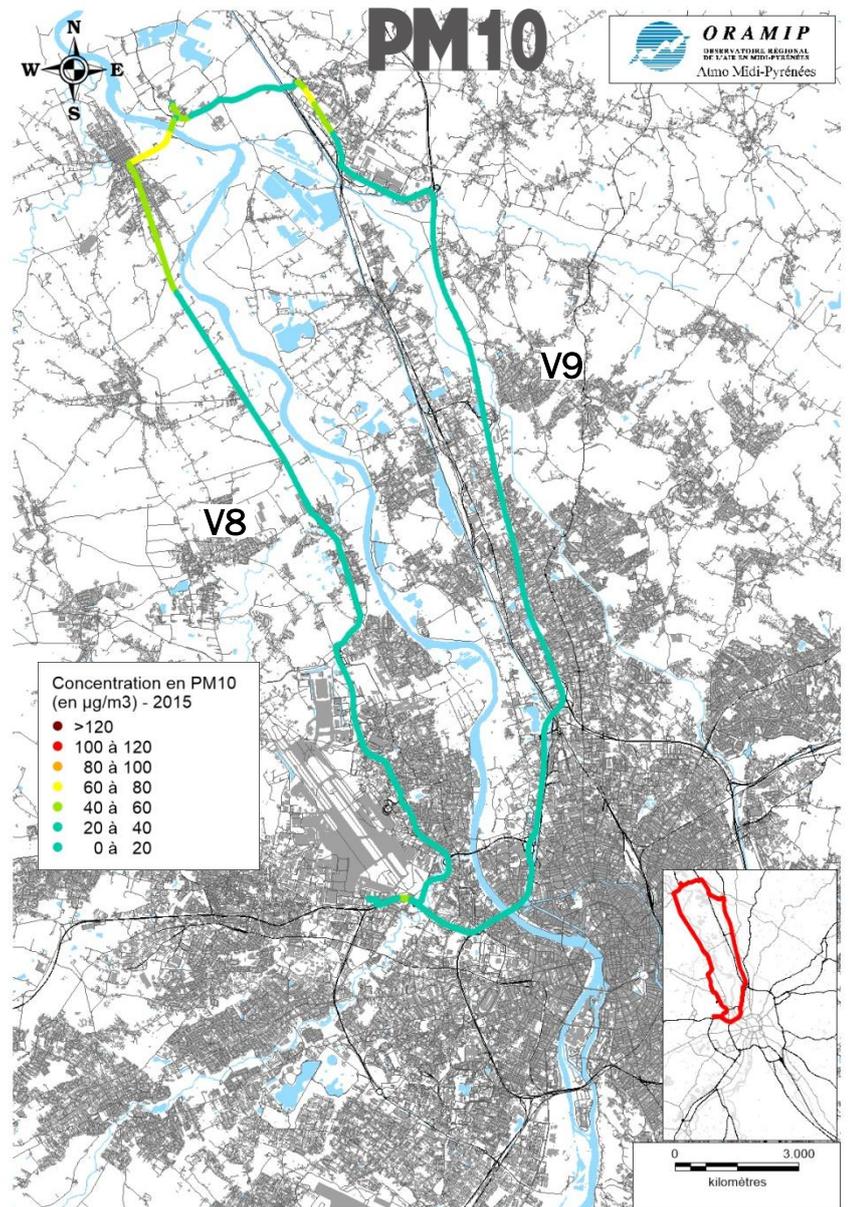


Graphe 11 : Concentration moyenne relevée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en particules PM10 en voiture, en site de fond et en proximité trafic

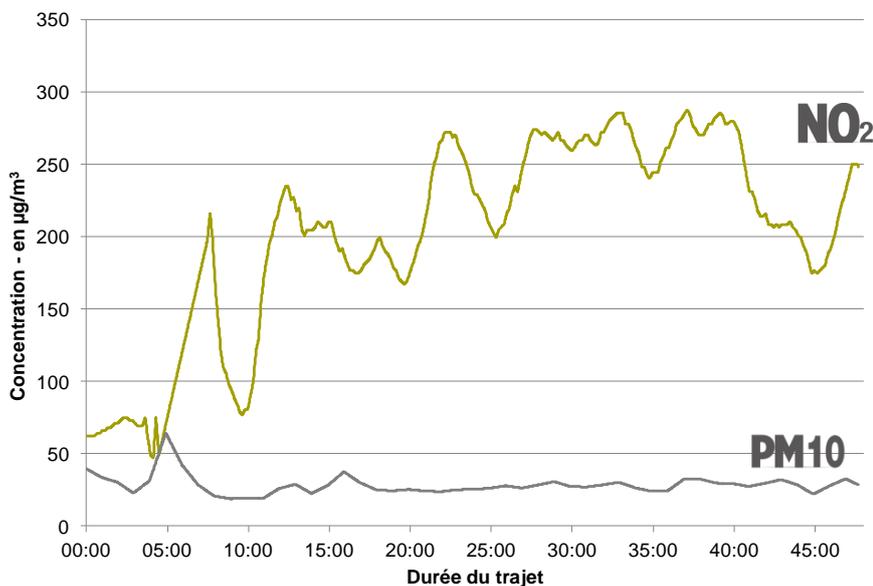
Sur un même trajet, les niveaux en particules fluctuent peu en comparaison de ce qui a été précédemment observé pour le dioxyde d'azote.

Ainsi, pour les trajets Ondes → Saint Martin du Touch par l'autoroute et la départementale, les niveaux de particules PM10 varient de 11 à 72 µg/m³.

En outre, les concentrations les plus élevées sont relevées en début de trajet, lorsque les niveaux de dioxyde d'azote sont les plus faibles.



Carte 8 : Évolution des concentrations en dioxyde d'azote (en µg/m³) sur les trajets Ondes - Saint Martin du Touch



Grphe 12 : Variation des niveaux de particules PM10 et de dioxyde d'azote dans l'habitacle d'une voiture sur le trajet Ondes → Saint Martin du Touch par l'autoroute

Malgré la position du véhicule dans le flux de circulation au plus près des gaz d'échappement, les particules PM10 pénètrent moins dans l'habitacle des voitures que le dioxyde d'azote.

Les niveaux de particules mesurés dans l'habitacle des voitures peuvent être attribués au système de filtration associé à la ventilation qui bloque une partie des particules et notamment la fraction grossière.

De même, les niveaux observés ne mettent pas en évidence d'accumulation des particules dans l'habitacle.

L'utilisateur du métro est le plus exposé aux particules PM10

Les niveaux d'exposition aux particules PM10 des usagers des transports en commun sont jusqu'à 5.8 fois plus élevés que les concentrations en air ambiant selon le mode de transport en commun choisi.

Le métro est le moyen de transport pour lequel les niveaux d'exposition aux particules PM10 sont les plus fortes. Les concentrations relevées lors de trajets dans les enceintes souterraines sont également 2,8 fois plus élevées qu'à proximité des principaux axes de circulation.

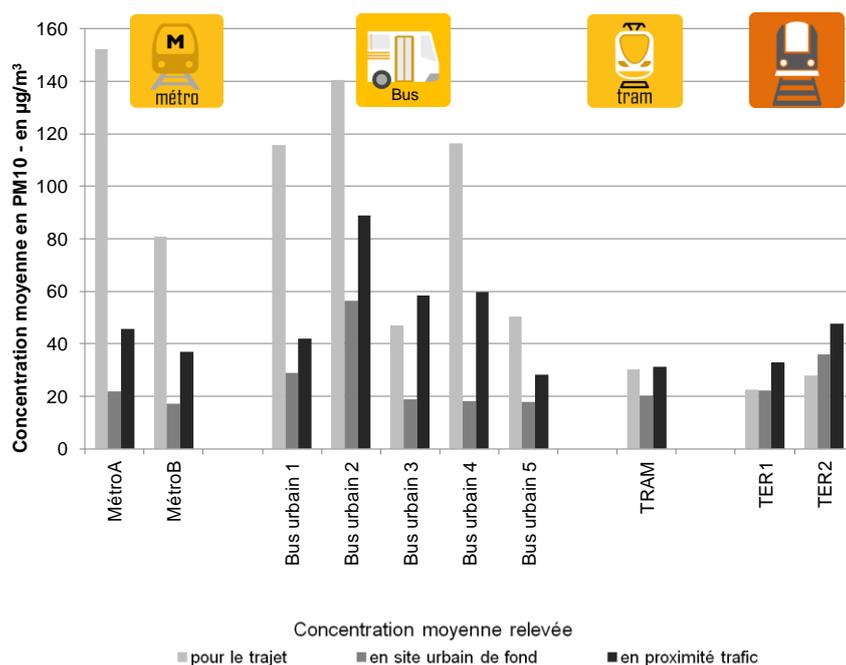
L'activité du métro génère des particules. Elles sont essentiellement produites par le roulement et le freinage des rames. De plus le passage des rames entraîne une remise en suspension dans l'air des particules déposées au sol. La ventilation fonctionnant peu en période hivernale, les particules s'accumulent dans l'enceinte du métro. L'exposition des usagers du métro aux particules est ainsi 4,7 à 6,9 fois supérieure au niveau de fond urbain.

Avec un niveau d'exposition aux particules PM10 en moyenne 3,7 fois plus élevé qu'en air ambiant, le bus urbain est le second type de transport en commun le plus exposé à ce polluant. Pour 80% des trajets, les niveaux d'exposition rencontrés sont supérieurs aux concentrations observées à proximité des principaux axes de circulation.

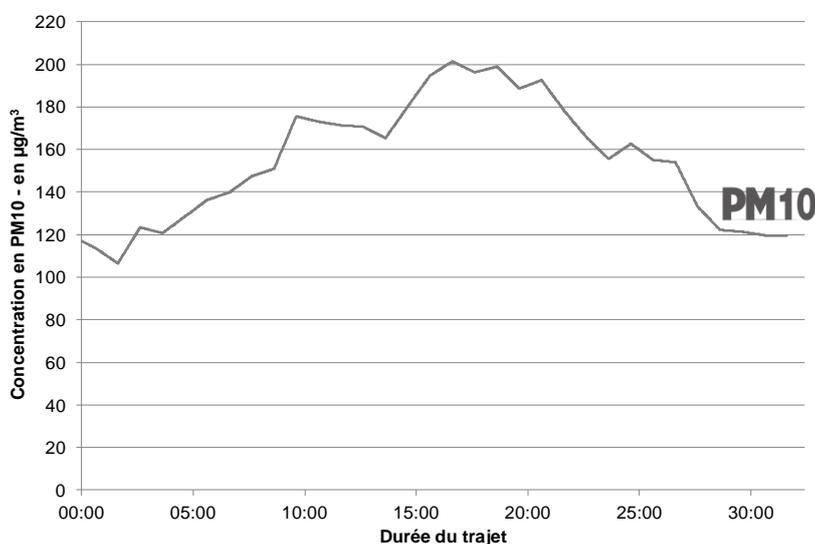
Contrairement au dioxyde d'azote, les niveaux d'exposition aux particules n'apparaissent pas liés au type de voie emprunté. Ainsi, le trajet bus urbain 5 correspondant à la ligne n°63 reliant Tournefeuille à Compans Caffarelli en passant par le périphérique enregistre des niveaux parmi les plus faibles relevés.

L'étude de l'évolution des concentrations en PM10 ne montre pas de phénomènes de bouffée.

Ces éléments suggèrent que des sources de particules PM10 autres que les émissions à l'échappement interviennent dans les niveaux d'exposition aux particules relevés dans les bus.



Graph 13 : Concentration moyenne relevée (en µg/m³) en particules PM10 en transport en commun, en site de fond et en proximité trafic



Graph 14 : Variation des niveaux de particules PM10 dans un bus - ligne 10

Comme pour les autres modes de transport, l'exposition aux particules des usagers dans les bus est, en premier lieu, liée au niveau de pollution moyen dans la zone. Les autres facteurs intervenant sont sans doute le réenvol des particules qui peut engendrer des concentrations différentes de particules dans l'air en fonction de la configuration de la voie empruntée. Ainsi, dans les bus circulant en zone urbaine dans des rues bordées de bâtiments plus ou moins hauts, les niveaux d'exposition aux particules apparaissent plus élevés que dans le bus circulant sur le périphérique plus aéré.

Enfin, les nombreux arrêts avec ouverture des portes, associés au mouvement des passagers se déplaçant ou s'asseyant dans le bus peuvent favoriser des variations de concentrations des particules dans le bus.

Le trajet en tram enregistre un niveau d'exposition aux particules plus faible que ceux observés dans les bus.

Le niveau d'exposition aux particules dans le tram se situe entre le niveau relevé en fond urbain et celui rencontré en bordure des principaux axes de circulation. Au cours du voyage, les niveaux de particules sont relativement stables et proches de ceux

relevés dans l'air ambiant. L'ouverture des portes aux différentes stations ne paraît pas contribuer à une élévation des niveaux de particules dans l'habitacle. De même, les passages du tram sur des portions de voies aménagées en site mixte, partagées avec les voitures telle que la route de Grenade à Blagnac n'induit pas de variations des niveaux de particules.

Les concentrations les plus fortes sont relevées au départ de Saint-Michel. Les mouvements des passagers dans la rame peuvent être à l'origine de ces niveaux élevés.

Enfin, les niveaux d'exposition pour les 2 trajets en TER étudiés sont les plus faibles et similaires. Les concentrations en PM10 au cours du trajet varient peu. L'exposition de l'utilisateur des TER aux particules PM10 apparaît fortement liée au niveau de pollution moyen des quartiers traversés. Elle est peu influencée par des phénomènes de remise en suspension du fait de l'éloignement de la voie ferrée aux grands axes de circulation.

L'exposition des cyclistes liée à des sources autres que les émissions routières

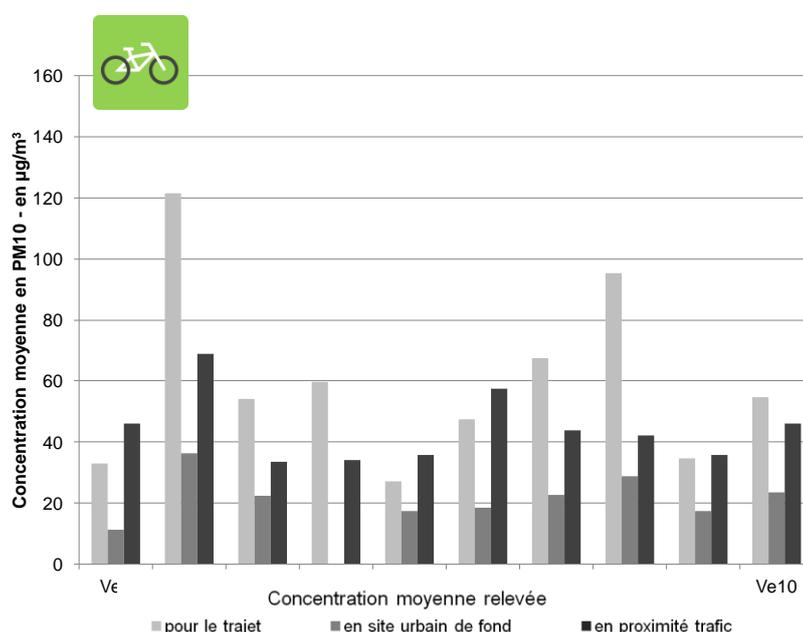
L'exposition du cycliste aux particules PM10 est de 1.6 à 3.4 fois supérieure au niveau de fond urbain.

Contrairement au dioxyde d'azote, les niveaux d'exposition aux particules PM10 du cycliste sont relativement homogènes sur les trajets. Les phénomènes de bouffées liés à des embouteillages, des feux de circulation ou la présence d'un véhicule plus polluant en amont de la circulation ne sont pas mis en évidence.

Pour 70% des trajets réalisés à vélo, les niveaux moyens d'exposition aux particules PM10 sont élevés, du même ordre de grandeur ou supérieurs à ceux relevés à proximité des principaux axes de circulation toulousain.

Les niveaux d'exposition des cyclistes ne paraissent pas uniquement liés aux émissions routières. Ainsi, bien que le cycliste du trajet Ve3 ait longé la Garonne de Saint-Michel à Blagnac via une piste cyclable éloignée des voies de circulation, il a été exposé à des niveaux de particules supérieurs à ceux relevés à proximité des principaux axes de circulation toulousains.

Aux concentrations de fond du quartier traversé s'ajoute sans doute les particules issues de phénomènes de réenvol dus au vélo (piste cyclable non goudronnée), aux autres véhicules, aux piétons... ou de travaux. C'est le cas, par exemple, du trajet Saint-Cyprien - Colomiers (Ve2) qui a été réalisé lors de travaux sur l'avenue de Grande Bretagne.



Graphique 15 : Concentration moyenne relevée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en particules PM10 en vélo, en site de fond et en proximité trafic

Les 30% des trajets réalisés à vélo présentant les niveaux d'exposition aux particules PM10 les plus proches des niveaux de la pollution de fond sont des trajets qui ont majoritairement été réalisés dans le centre piétonnier.

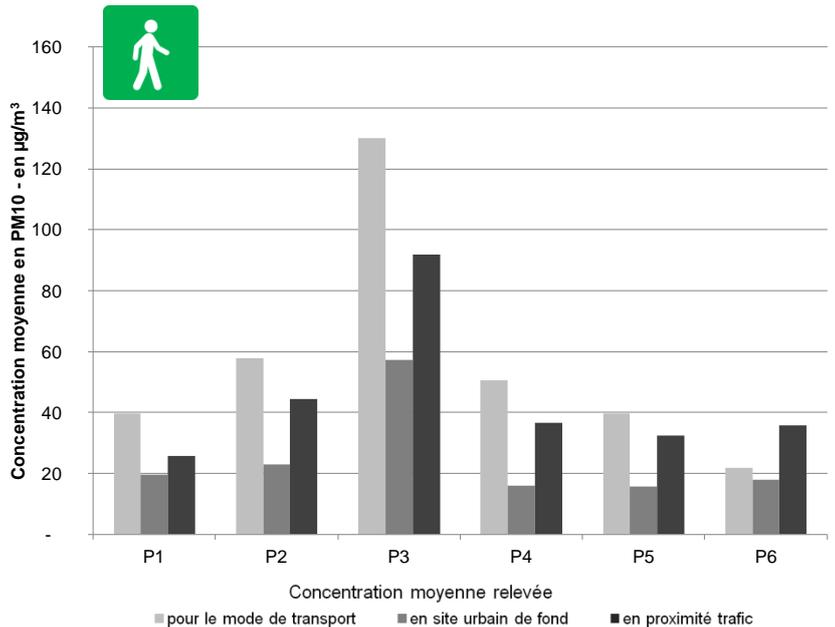
L'exposition du piéton liée au niveau de fond du quartier traversé combiné à des phénomènes de réenvol

L'exposition des piétons aux particules PM10 est de 1.2 à 3.2 fois supérieure au niveau de fond urbain. Elle est ainsi en moyenne inférieure à celle des cyclistes.

Comme pour les autres modes de transport, l'exposition des piétons est fonction du niveau de fond du quartier qu'il traverse combiné à des phénomènes de réenvol dus notamment au passage de véhicules à proximité.

Les trajets les plus exposés, à des niveaux supérieurs à ceux relevés à proximité des axes de circulation, sont ceux qui suivent les voies à fort trafic, (les boulevards urbains, l'avenue de Muret). Les émissions de particules par le trafic routier et les phénomènes de réenvol sont plus importants dans ces rues.

Les trajets les moins exposés, sont ceux passant par des secteurs piétonniers. L'absence de circulation routière induit des phénomènes de réenvol nettement plus faibles. L'exposition des piétons est, pour ces trajets, proche du fond urbain.



Graphe 16 : Concentration moyenne relevée (en µg/m³) en particules PM10 à pied, en site de fond et en proximité trafic

2015, confirmation des conclusions de 2008 : l'utilisateur du métro est le plus exposé aux particules PM10

Le tableau suivant classe chaque mode de transport étudié en fonction de son niveau d'exposition moyen en particules PM10 du moins favorable au plus favorable. Sont également récapitulés les niveaux d'exposition moyens en particules PM10 relevés par mode de transport en 2015 et lors de la précédente étude de 2008.

En 2015, les usagers du métro restent les plus exposés aux particules. La circulation du métro induit la formation de particules qui du fait de l'environnement clos s'accumulent. Cependant, on note une forte diminution de cette exposition. Elle est ainsi divisée par 2,5 entre 2015 et 2008. Elle tend donc à se rapprocher de l'exposition des usagers des bus. Cette diminution a également été observée lors des campagnes de mesures annuelles faites sur les quais des stations de métro.

Comme en 2008, les bus sont les seconds moyens de transports les plus exposés. L'ouverture fréquente des portes, le mouvement des passagers peuvent être la cause de ces niveaux de particules plus élevés.

Les piétons et cyclistes sont exposés de façon similaire aux particules PM10. Ces niveaux de particules élevés paraissent moins liés aux émissions du trafic routier qu'à des phénomènes de réenvol de particules liées entre autre à la circulation routière.

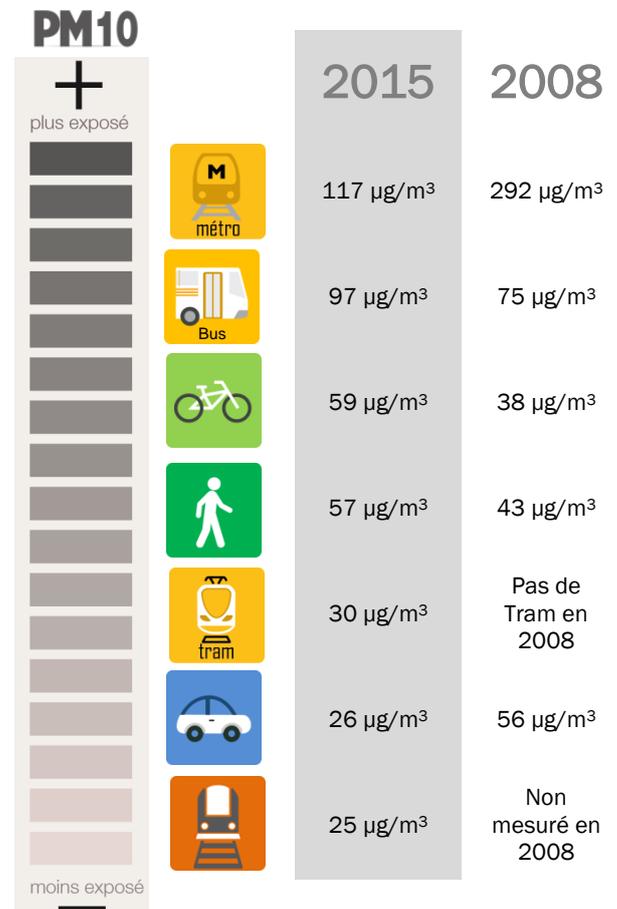


Figure 5 : comparaison des classements de chaque mode de transport étudié en fonction de son niveau d'exposition moyen en particules PM10 du moins favorable au plus favorable.

La voiture est, avec le tram et le TER, le moyen de transport où les niveaux d'exposition aux particules sont les plus faibles. L'exposition des usagers de la voiture a ainsi été divisée par 2 entre les deux campagnes de mesures. Il est à noter que la voiture utilisée dans le cadre de l'étude en 2015 était un modèle récent sans doute doté d'un dispositif de filtration de l'air extérieur plus efficace limitant la pénétration des particules dans l'habitacle.

Pour le tram et le TER, bien que les portes soient régulièrement ouvertes, ils sont peu impactés par les phénomènes de réenvol de particules du fait de la distance de la voie aux grands axes de circulation.

L'exposition des usagers des TER et TRAM aux particules PM10 apparaît fortement liée au niveau de pollution moyen des quartiers traversés. En outre, les mouvements des passagers pour monter ou descendre peuvent également être sources de particules.



ANNEXE III : LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES ULTRAFINES DES USAGERS EN VOITURE ET EN VELO

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Principaux paramètres influençant les niveaux de **particules ultra fines** mesurés dans les différents modes de transport :

- le niveau de pollution du quartier traversé,
- la position par rapport à la chaussée,
- l'importance du flux de circulation (circulation fluide ou embouteillée)
- les émissions du véhicule précédent

LES NIVEAUX D'EXPOSITION AUX PARTICULES ULTRAFINES DES USAGERS EN VOITURE ET EN VELO

En complément des autres polluants, des mesures de particules ultrafines (PUF particules nanométriques de diamètre inférieur à 100 nm) ont été réalisées dans l'habitacle de la voiture et en vélo (trporteur).

Les concentrations de ces particules dans l'air ont été peu étudiées jusqu'à aujourd'hui.

Cependant, du fait de leur très petite taille, elles peuvent pénétrer très profondément dans les poumons. Elles atteignent ainsi les alvéoles par lesquelles s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et le sang. Des études sanitaires ont ainsi mis en évidence leur impact sur le système cardiovasculaire et nerveux.

Elles sont ainsi potentiellement plus nocives que les particules de plus gros diamètre.

Les méthodes de mesure existantes pour les PUF sont des compteurs optiques. Ils indiquent donc un nombre de particules par volume d'air.

Les automobilistes exposés à des niveaux aux particules ultrafines très fluctuants selon le trajet emprunté

Comme le dioxyde d'azote, le nombre de particules PUF mesuré varie fortement selon les trajets ; de 10 000 particules/cm³ à 85 000 particules/cm³ avec une moyenne de 39 000 particules/cm³.

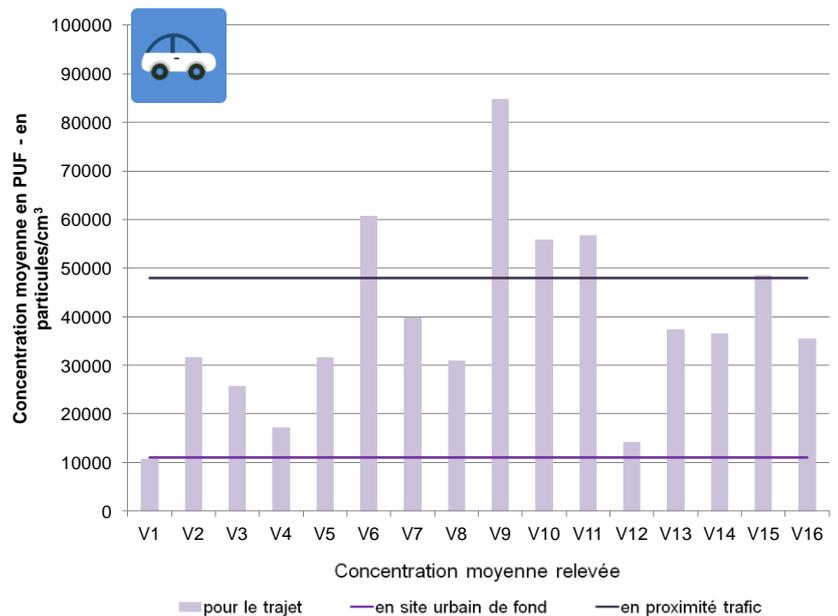
Le nombre de particules relevé dans l'habitacle de la voiture est 1 à 7.7 fois supérieur au niveau moyen en site urbain de fond trouvé dans la littérature.

Pour 1/3 des trajets réalisés, le nombre de particules est supérieur au niveau moyen mesuré en proximité trafic.

Les concentrations moyennes mesurées pour chaque trajet ont été comparées aux concentrations moyennes mesurées en milieu urbain et en proximité trafic trouvées dans la bibliographie (source : ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : characteristics, ambient processing and implications on human exposure » - L. Morawska, Z. Ristovski, E.R. Jayaratne, D.U. Keogh, X.Ling, Atmospheric Environment 42, 8113-8138 (2008) :

- 48 000 particules / cm³ en proximité trafic
- 11 000 particules / cm³ en site urbain

A ce jour, il n'existe pas de valeurs réglementaires pour les particules ultrafines.



Graphie 17 : Concentration moyenne relevée (en particules/cm³) en particules ultrafines (PUF) en voiture, en site de fond et en proximité

Sur un même trajet, les concentrations en particules PUF sont très fluctuantes. En début de trajet, elles sont de 10 900 particules/cm³ en moyenne sur les trajets. Elles sont ainsi similaires au niveau de fond de 11 000 particules/cm³ trouvé dans la bibliographie citée précédemment. Au cours des trajets, les maxima mesurés ont été en moyenne 16 fois plus élevés que le niveau de fond.

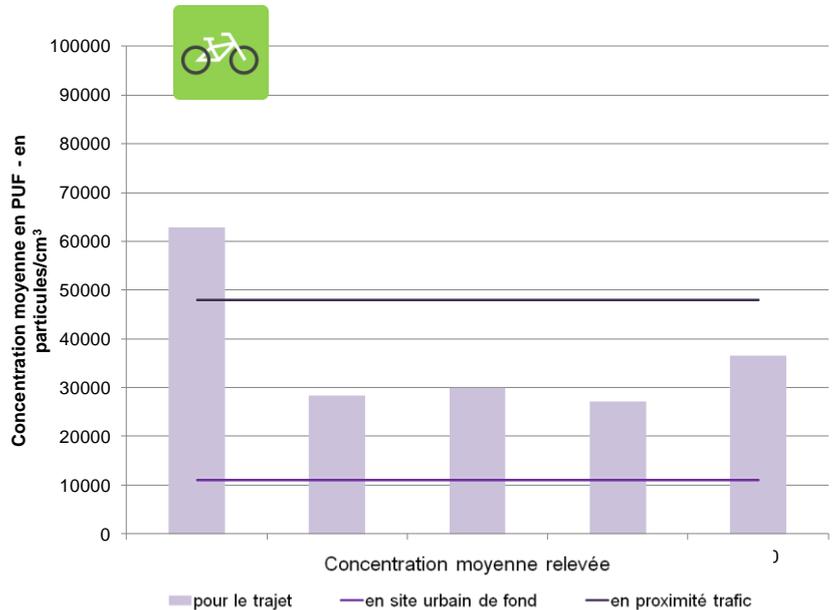
Ces niveaux d'exposition sont en cohérence avec ceux relevés en région parisienne lors de déplacements domicile-travail. Sur l'ensemble des trajets voiture parisiens, le nombre moyen de particules par cm³ était de 75 000 avec une variabilité selon les trajets comprise entre 15 000 et 174 000 particules/cm³. (source : Exposition des automobilistes franciliens à la pollution atmosphérique liée au trafic routier - Airparif - 2009).

En circulant dans le flux de véhicules, exposition des cyclistes similaire aux usagers de la voiture

En raison de contraintes techniques liées au fonctionnement de l'appareil de mesures des particules PUF, la mesure de ce polluant a uniquement été faite sur une partie des trajets. Ceux-ci ont principalement été réalisés dans le flux de véhicules. Le nombre de particules varie de 27 000 à 63 000 particules/cm³ selon le trajet considéré. Le nombre moyen de particules est de 37 000 particules/cm³. Il est du même ordre de grandeur que celui mesuré pour les trajets en voiture.

Les niveaux d'exposition obtenus sont en cohérence avec ceux relevés en région parisienne lors d'une étude sur l'influence des aménagements de voirie sur l'exposition des cyclistes à la pollution atmosphérique. Sur l'ensemble des trajets vélos réalisés, le nombre moyen de particules par cm³ était de 40 000 particules/cm³. (source : Influence des aménagements de voirie sur l'exposition des cyclistes à la pollution atmosphérique - Airparif - 2008).

Le nombre de particules relevé est 2,5 à 5.7 fois supérieur au niveau moyen en site urbain de fond trouvé dans la littérature. Pour 1 trajet sur les cinq réalisés, le nombre de particules est supérieur au niveau moyen mesuré en proximité trafic.



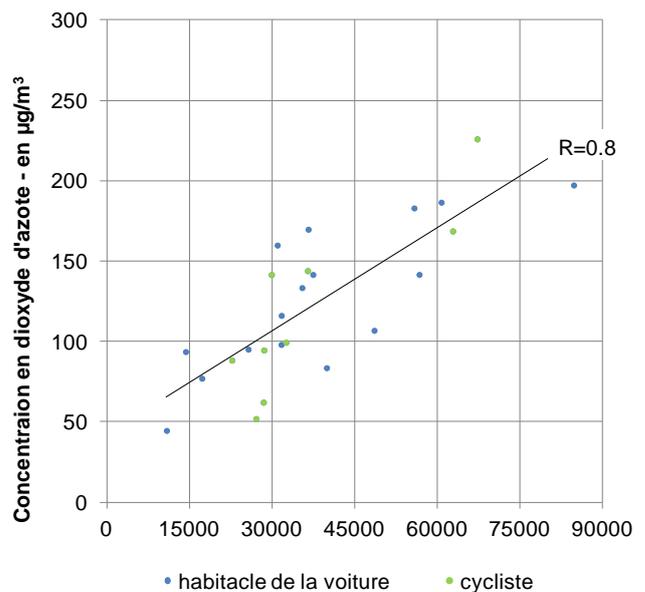
Graphe 18 : Concentration moyenne relevée (en particules/cm³) en triporteur, en site de fond et en proximité trafic

Une exposition élevée au dioxyde d'azote induit une exposition élevée aux PUF

Dans l'habitacle de la voiture comme en vélo, il existe une relation forte entre les niveaux de dioxyde d'azote et de particules PUF mesurés. Ainsi, en moyenne, les concentrations les plus élevées en PUF sont mesurées pour les trajets ayant enregistré les concentrations les plus élevées en dioxyde d'azote.

En outre, la relation liant les niveaux de PUF et ceux de NO₂ apparaît similaire pour les deux moyens de transports envisagés.

Les particules ultrafines, comme le dioxyde d'azote, sont introduites dans l'habitacle de la voiture par la ventilation. Mais, contrairement aux particules PM₁₀, les filtres d'entrée d'air ne limitent pas leur entrée. L'utilisateur de la voiture est ainsi exposé aux mêmes niveaux de particules PUF que le cycliste.

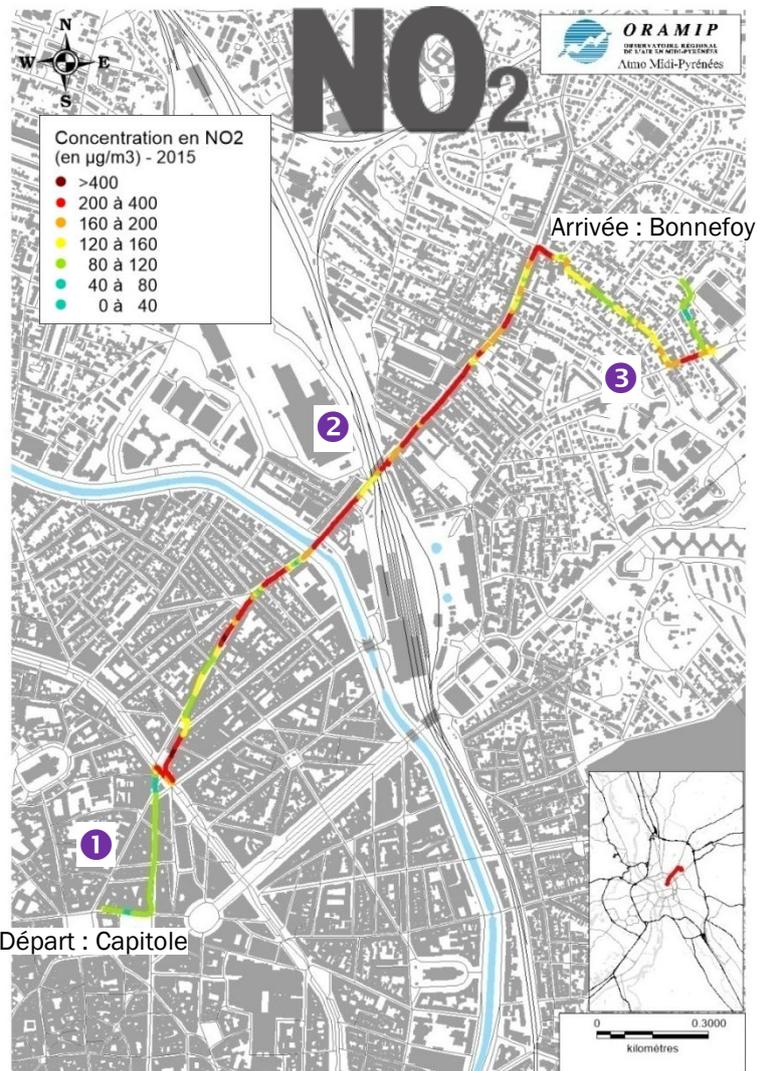
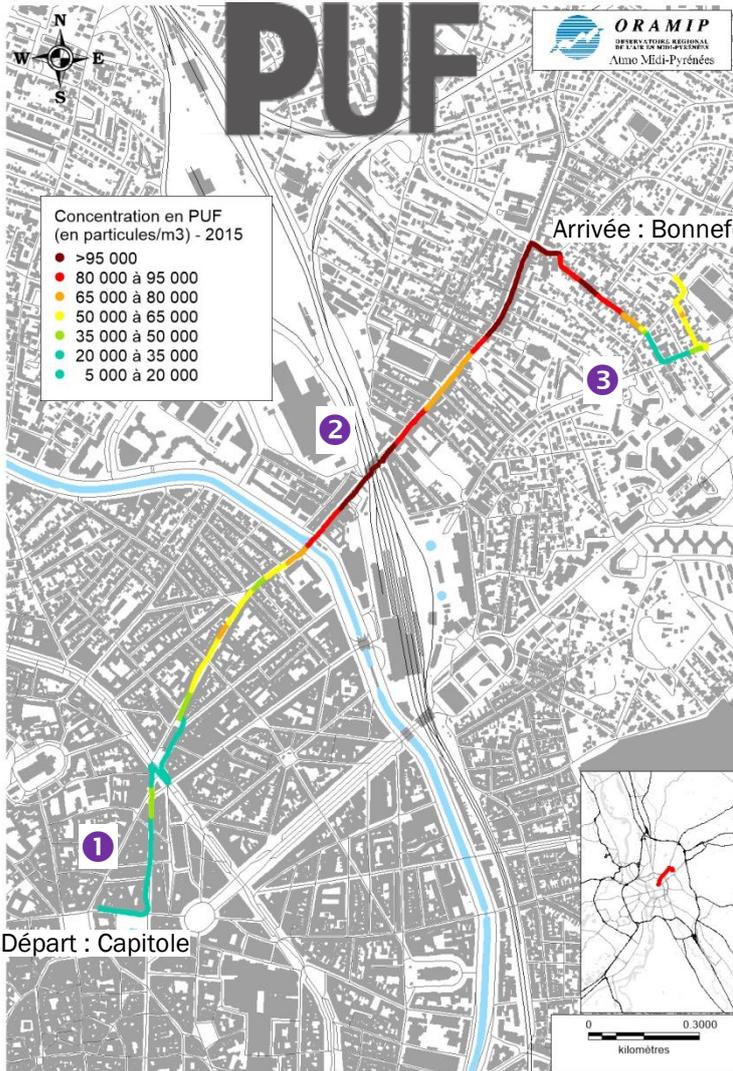


Concentration en Particules Ultra Fines - en particules/cm³

Graphe 19 : Étude de la relation existant entre les concentrations moyennes en dioxyde d'azote et le nombre de particules PUF mesurés dans l'habitacle de la voiture pour chaque trajet

Sur l'ensemble d'un trajet (ci-dessous le trajet Capitole → quartier Bonnefoy - trajet vélo), les niveaux de particules PUF suivent globalement la même tendance que les niveaux de dioxyde d'azote.

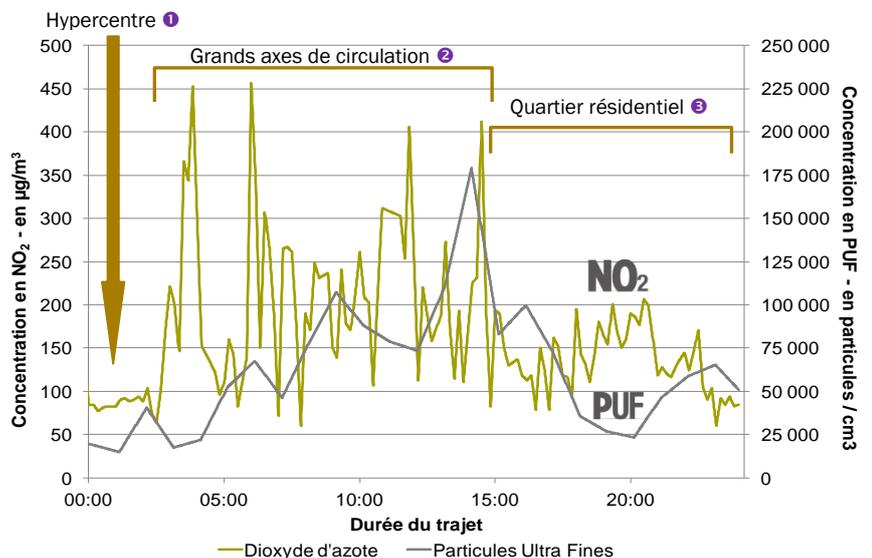
Les plus fortes concentrations sont ainsi mesurées lorsque le cycliste roule derrière un véhicule sans possibilité de le doubler.



Carte 9 : Évolution des concentrations en particules ultrafines (en particules/m³) et en dioxyde d'azote (en µg/m³) sur les trajets Capitole Bonnefoy

Les variations de dioxyde d'azote sont globalement corrélées avec les variations de particules ultrafines. On note cependant des différences d'intensité des pics de concentration pour les deux polluants. Ainsi dès l'arrivée du cycliste sur les grands axes de circulation, la concentration en NO₂ augmente fortement et atteint 450 µg/m³, niveau le plus haut mesuré sur ce trajet alors que les niveaux de particules PUF n'augmentent pas particulièrement.

Vers la 15^{ième} minute, la concentration de PUF atteint 179 000 particules/cm³. Les niveaux en NO₂ augmentent également. Le cycliste circule normalement. Cette hausse est sans doute liée au véhicule précédant le cycliste. Les véhicules en circulation n'ont en effet pas tous le même profil d'émission de polluants. Cela a donc un impact sur l'exposition de l'utilisateur de la voiture ou du cycliste circulant dans le flux de véhicules.



Graphe 20 : Evolution des concentrations moyennes en dioxyde d'azote et en nombre de particules PUF mesurés sur un trajet cycliste

Le trafic routier est une source majeure de particules PUF dans les villes. A vélo ou en voiture, les variations du dioxyde d'azote et des particules ultrafines sont liées :

- au niveau de fond des zones traversées,
- à l'importance du flux de circulation
- aux émissions du véhicule précédent.

L'utilisation d'aménagements dédiés aux cyclistes apparait donc être un moyen efficace de réduire son exposition aux particules ultrafines.

L'automobiliste est le plus exposé aux particules ultrafines

Le tableau ci-contre classe chaque mode de transport étudié en fonction de son niveau d'exposition moyen en particules ultrafines du moins favorable au plus favorable.

Compte tenu de la relation établie entre le dioxyde d'azote et les particules ultrafines pour les deux modes de transports étudiés, nous pouvons émettre l'hypothèse que le classement de chaque mode de transport étudié (hors métro) en fonction de son niveau d'exposition moyen en particules ultrafines est similaire à celui obtenu pour le dioxyde d'azote.

Les niveaux de particules ultrafines n'ont pas été mesurés dans le métro toulousain. Il y a peu d'études concernant les niveaux de particules ultrafines mesurées en nombre dans les métros. Cependant, deux études réalisées concordent à montrer que, contrairement aux concentrations en masse, les concentrations en nombre dans les enceintes souterraines ferroviaires sont inférieures aux concentrations mesurées à l'extérieur en proximité du trafic routier (facteur moyen de 1,5 à 4). Elles sont similaires en moyenne à l'exposition de fond en sites urbains. Source : ANSES - Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs - 2015.

Compte tenu de ces éléments, le métro apparait comme étant le moyen de transport le moins exposé en ce qui concerne les particules ultra fines.

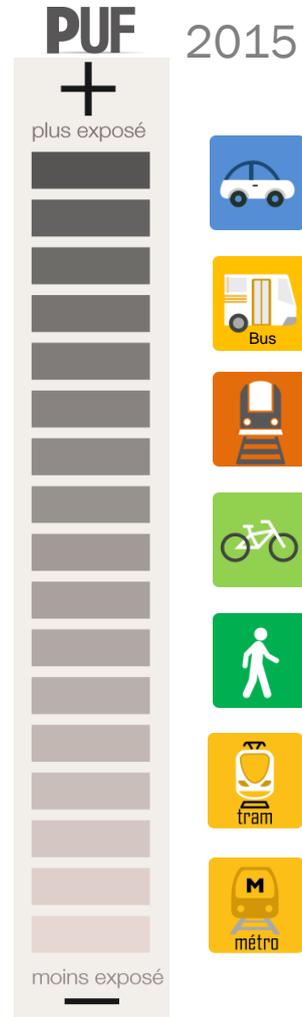


Figure 6 : Classement de chaque mode de transport étudié en fonction de son niveau d'exposition moyen en particules ultrafines du moins favorable au plus favorable.

Bien que la quantité de polluants inhalée soit plus importante pour le vélo que pour la voiture, les études menées montrent qu'il y a plus de bienfaits à pratiquer ce mode de déplacement qu'à rester sédentaire (Source : les avantages sanitaires de la pratique du vélo dans le cadre des déplacements domicile-travail - Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie - décembre 2013).

Il apparait cependant que quelques précautions peuvent être prises pour limiter la quantité de polluants inhalés :

- pratiquer le vélo (et la marche) à un rythme modéré pour ne pas augmenter de façon trop importante sa ventilation,
- choisir son trajet en préférant les axes les moins fréquentés.

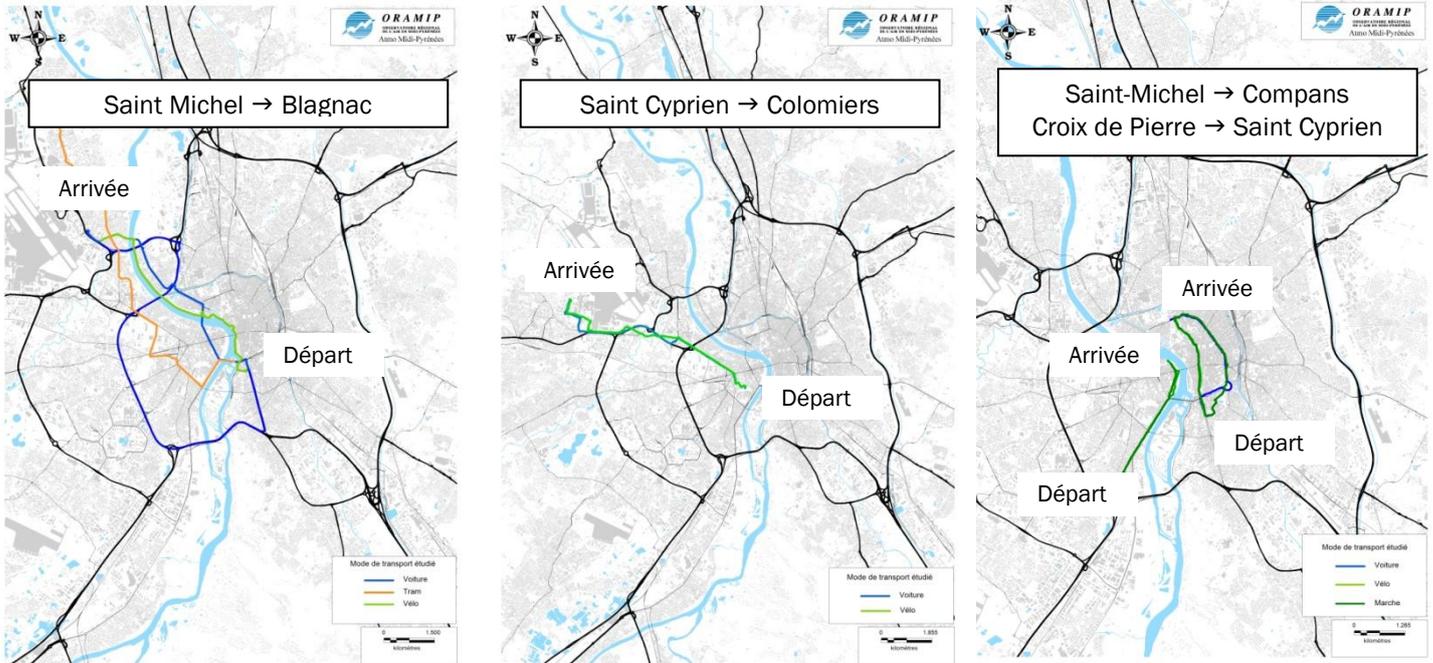
Les quantités de particules inhalées par les cyclistes pourraient être réduites en favorisant l'installation d'équipements cyclables à distance du trafic routier en particulier dans les zones où les émissions des véhicules sont les plus élevées (zones régulièrement embouteillées...) ou bien dans les zones où les cyclistes doivent fournir un effort plus intense (dans les zones en pente par exemple)

Enfin, cette étude a montré que les niveaux de pollution mesurés dans tous les modes de transport utilisés étaient liés pour partie au niveau de fond de l'agglomération. Une diminution de cette pollution atmosphérique de fond permettrait donc une réduction de l'exposition.

ANNEXE IV : COMPARAISON DE L'EXPOSITION AU COURS D'UN MEME TRAJET SELON LE MODE DE TRANSPORT

Au cours de cette étude, plusieurs trajets ont été effectués simultanément avec des modes de transports différents. Les points de départ et d'arrivée étaient

similaires mais les itinéraires dépendaient du mode de déplacement utilisé.



Carte 10 : trajets réalisés avec des moyens de transport différents

Les durées des trajets présentés ci-dessus en voiture et en vélo (et en tram pour le trajet Saint Michel → Blagnac) sont sensiblement identiques.

En revanche, les niveaux d'exposition au dioxyde d'azote et aux particules présentent une grande variabilité.

Ainsi, selon les trajets, les concentrations en dioxyde d'azote dans l'habitacle de la voiture sont 1,2 à 3,1 fois plus élevées que celles relevées en vélo. Cet écart est essentiellement dû au choix du trajet.

Les niveaux de dioxyde d'azote les plus faibles sont mesurés pour les cyclistes les moins exposés aux gaz d'échappement (trajet longeant la Garonne ou traversant le centre piétonnier). Sur ces trajets, malgré des volumes d'air inspirés plus élevés du fait de l'effort physique, le cycliste a inhalé une quantité de dioxyde d'azote moindre ou du même ordre de grandeur que le conducteur de la voiture.

Les cyclistes qui suivent les mêmes voies que les usagers de la voiture sont, quant à eux, exposés à des

niveaux de dioxyde d'azote plus importants. L'écart de concentration avec les niveaux d'exposition des usagers de la voiture est ainsi plus faible.

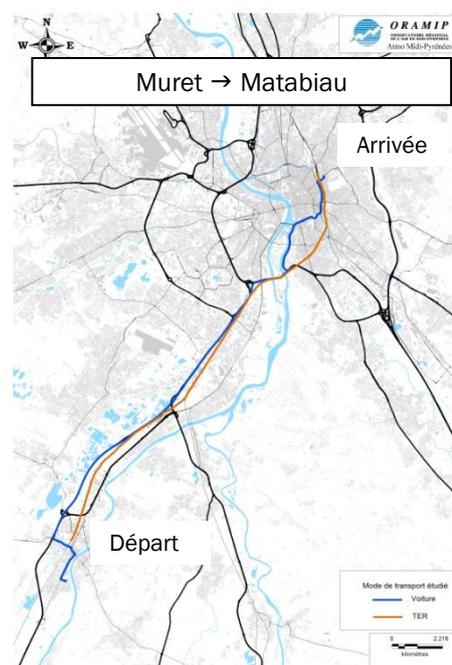
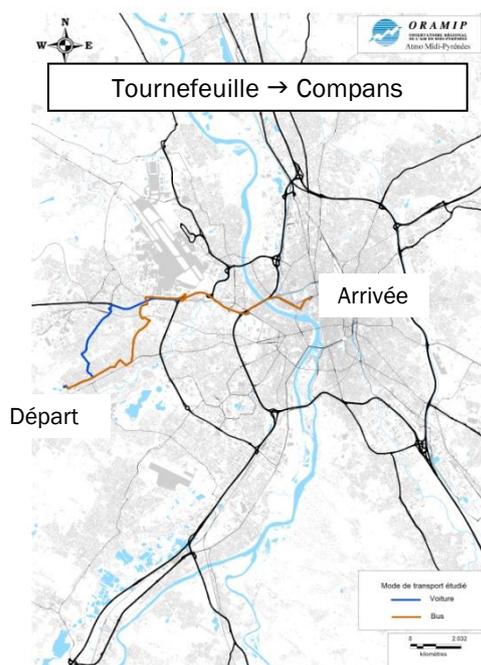
Sur les trajets étudiés, les usagers du tram et les piétons sont exposés à des niveaux de dioxyde d'azote similaires aux cyclistes.

Pour tous les trajets, la voiture est le mode de transport le moins exposé aux particules. Les niveaux d'exposition de l'utilisateur de la voiture sont ainsi 1,3 à 3 fois plus faibles que les cyclistes et les piétons. Contrairement aux usagers de la voiture, les piétons et cyclistes ne sont pas protégés par un filtre à particules.

L'utilisateur du Tram est quant à lui exposé à des niveaux de particules du même ordre de grandeur que l'utilisateur de la voiture. Le tram apparaît donc être le moyen de transport le moins exposé aux particules.

Trajets		Durée du trajet (minutes)	Concentration en µg/m ³	
			NO ₂	PM10
Saint-Michel → Blagnac	Vélo	29	59	54
	TCU - Tram*	27	52	30
	Voiture (par périphérique)	32	183	-
	Voiture (par centre Toulouse)	40	142	28
Saint-Cyprien → Colomiers	Vélo	25	104	121
	voiture	24	187	84
Saint-Michel → Compans Caffarelli	Piéton (par les boulevards)	44	79	40
	Piéton (par le centre piétonnier)	39	47	22
	Vélo (par les boulevards)	16	72	60
	Vélo (par le centre piétonnier)	14	47	27
	Métro	8	41	81
	Voiture	18	84	20
Croix de Pierre → Saint-Cyprien	Piéton	53	56	58
	Triporteur (assimilé à un cycliste)	17	62	67

*Concentrations estimées à partir des concentrations mesurées sur le trajet Saint Michel → Aéroconstellation



Carte 11 : trajets réalisés avec des moyens de transport différents

Les deux trajets réalisés ci-dessus divergent dans leurs résultats : l'utilisation d'un transport en commun ne permet pas systématiquement de réduire le temps de transport et l'exposition aux polluants atmosphériques.

Le bus n°63 reliant Tournefeuille à Compans Caffarelli n'est pas en site propre. Il est donc soumis aux mêmes difficultés d'embouteillage que l'utilisateur de la voiture.

Le TER n'est, quant à lui, pas soumis à ces mêmes problématiques. Il permet ainsi de relier la gare Matabiau et 2 fois moins de temps qu'en voiture.

L'exposition au dioxyde d'azote est d'autant plus faible dans le transport en commun étudié que celui-ci circule loin des axes de circulation fréquentés.

Campagne de mesures de l'exposition des usagers des transports

En revanche, en raison de l'absence de filtration de l'air, l'exposition aux particules en suspension est du même

ordre de grandeur ou plus élevée dans les transports en commun en comparaison de la voiture.

Trajets		Durée du trajet	Concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
			NO₂	PM10
Muret → Matabiau	TER	23	47	28
	voiture	48	98	31
Tournefeuille → Compans Caffarelli	TCU- Bus	42	125	50
	Voiture	30	142	19

ANNEXE V : COMPARAISON DES RESULTATS DES TRAJETS 2008 REALISES EN 2015

Certains trajets réalisés en 2015 avaient été réalisés en 2008. Nous comparons ci-dessous les niveaux rencontrés.

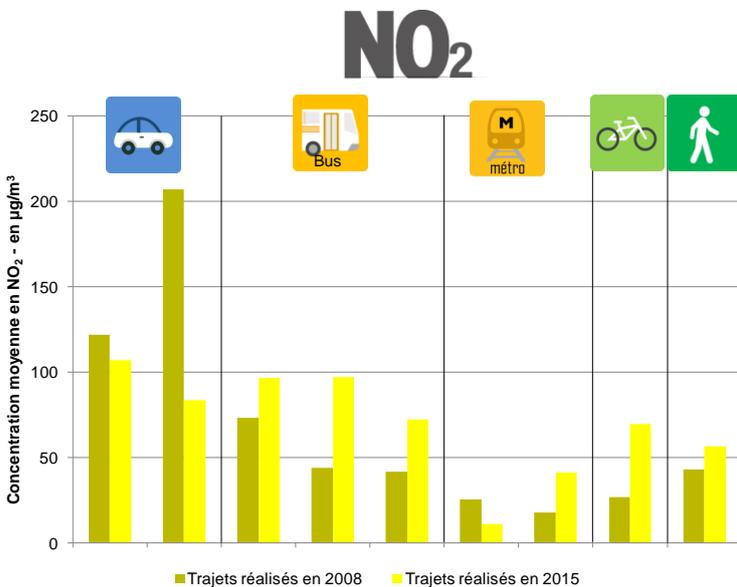
Sur un même trajet, des variations importantes de concentrations en polluants peuvent être constatées. Ces différences sont dues à plusieurs facteurs tels que :

- le niveau de pollution de fond dans le quartier traversé,
- les conditions météorologiques,
- les conditions de circulation,
- les véhicules suivis...

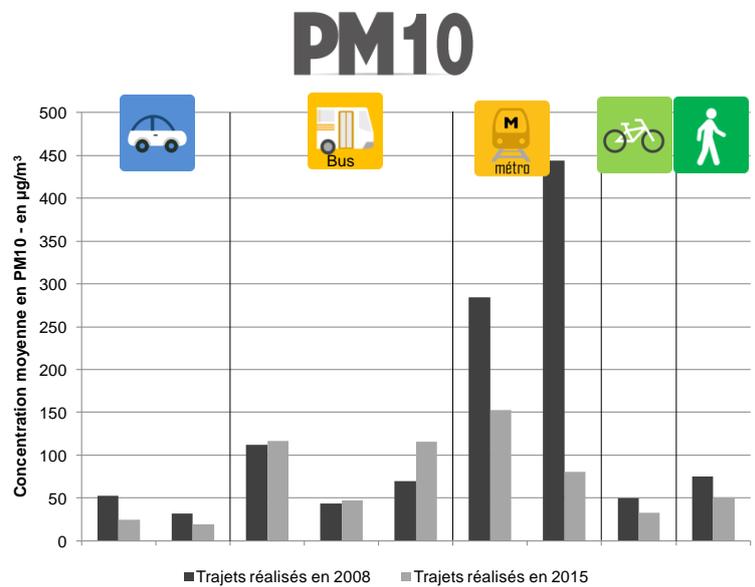
Compte tenu de cette variabilité des concentrations en dioxyde d'azote et particules, il apparaît que les résultats obtenus en 2015 sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en 2008 pour la quasi-totalité des trajets.

Pour les trajets métro, on note en revanche, une forte diminution des concentrations en particules sur les deux lignes.

Les niveaux de particules ont ainsi été divisés par 2 pour le trajet sur la ligne A. Ils sont divisés par 4 pour le trajet sur la ligne B. Les niveaux en particules mesurés en 2015 dans le métro sont maintenant du même ordre de grandeur que ceux relevés dans les bus.



Graphe 21 : Comparaison des concentrations mesurées en dioxyde d'azote sur des trajets similaires en 2008 et 2015



Graphe 22 : Comparaison des concentrations mesurées en particules PM₁₀ sur des trajets similaires en 2008 et 2015

ANNEXE VI : QUANTITES DE POLLUANTS EMISES SELON LE TYPE DE MOYEN DE TRANSPORT CHOISI PAR VOYAGEUR

Les quantités d'oxydes d'azote et de particules PM10 émises par voyageur pour chaque moyen de transport ont été estimées.

Pour les véhicules particuliers et les bus, ces émissions ont été calculées à partir de la vitesse moyenne de déplacement calculée à partir de l'enquête ménage déplacement. La pente, le taux d'embouteillage ou le taux de démarrage à froid, principales variables qui influent sur les émissions des polluants n'ont pas été prises en compte.

Pour les véhicules légers, ces quantités ont été calculées pour un véhicule essence ou diesel ou hybride moyen. Les facteurs d'émission de ces véhicules moyens ont été déterminés en calculant le pourcentage de Véhicules essence ou diesel au sein du parc roulant français de 2015 obéissant à chaque norme euro.

Pour une même norme euro, la méthodologie Copert 4 propose des facteurs d'émission pour 3 classes de véhicules essence et 2 classes de véhicules diesel selon la cylindrée de ces véhicules.

Dans le cadre de notre étude, les émissions calculées sont celles d'un véhicule essence et diesel fictif intégrant la représentation au sein du parc roulant 2015:

- des différentes catégories de cylindrée,
- des différentes normes euros.

Bien que la technologie hybride soit marginale au sein du parc roulant français, nous avons également calculé, à titre de comparaison, les quantités d'oxydes d'azote et de particules PM10 émises par ces véhicules. Les facteurs d'émission utilisés pour les véhicules hybrides sont ceux de la norme euro4.

De même, les émissions calculées pour les bus sont celles d'un véhicule moyen représentatif du parc de bus TISSEO de 2014.

En plus des émissions dues à l'échappement, les véhicules émettent des particules issues de phénomènes d'abrasion (route, pneus, freinage,...) et de la remise en suspension des particules routières. Les quantités de particules émises sont uniquement fonction du type de véhicule (véhicules léger ou bus) et non pas du modèle de véhicule.

Ces particules, non émises à l'échappement ont été également prises en compte.

Les quantités indiquées sont exprimées en mg/personne/km.

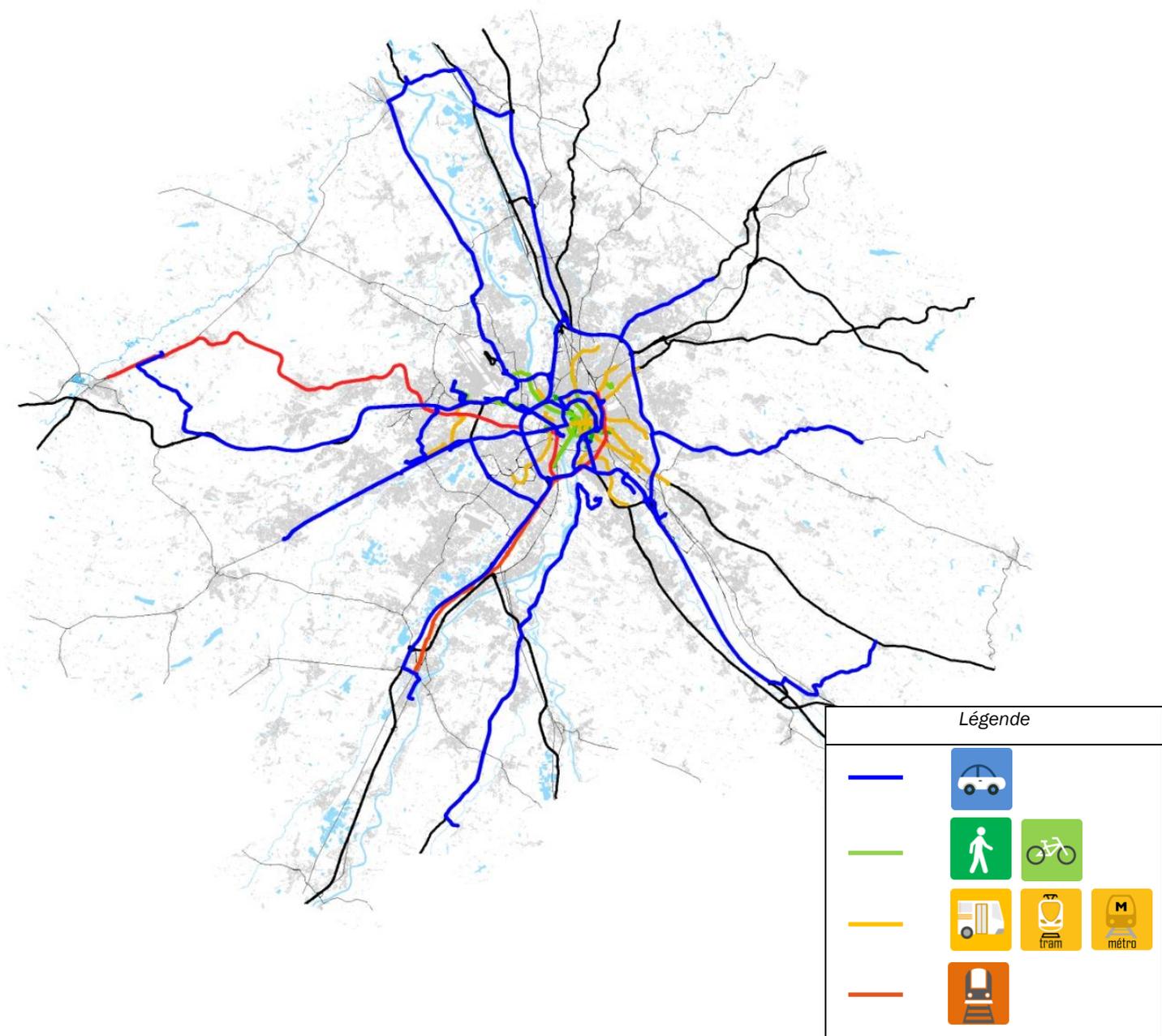
Pour les véhicules légers, nous avons pris en compte le taux d'occupation des véhicules selon la zone d'origine et la zone de destination lors d'un déplacement domicile travail fourni par l'enquête ménage déplacement.

Pour les transports en commun, nous avons considéré qu'ils transportaient un nombre de voyageurs équivalant à la capacité du transport.

Le vélo et la marche à pied sont deux modes de transport qui n'émettent ni particules, ni oxydes d'azote. La distance moyenne d'un déplacement domicile - travail pour un mode de transport (en km) est celle fournie par l'enquête Ménages Déplacements.

		Quantité moyenne émise par moyens de transport - En mg/voyageur/km	
		OXYDES D'AZOTE	PARTICULES PM10
Voiture	Essence	84	54
	Diesel	715	75
	Hybride	5	54
Transport en commun	Bus	86	6
	Tram	0	40
	Métro	0	38
	TER diesel	151	21
	TER électrique	0	17
Vélo		0	0
Marche à pied		0	0

ANNEXE VII : CARTES DES ITINERAIRES ETUDIES

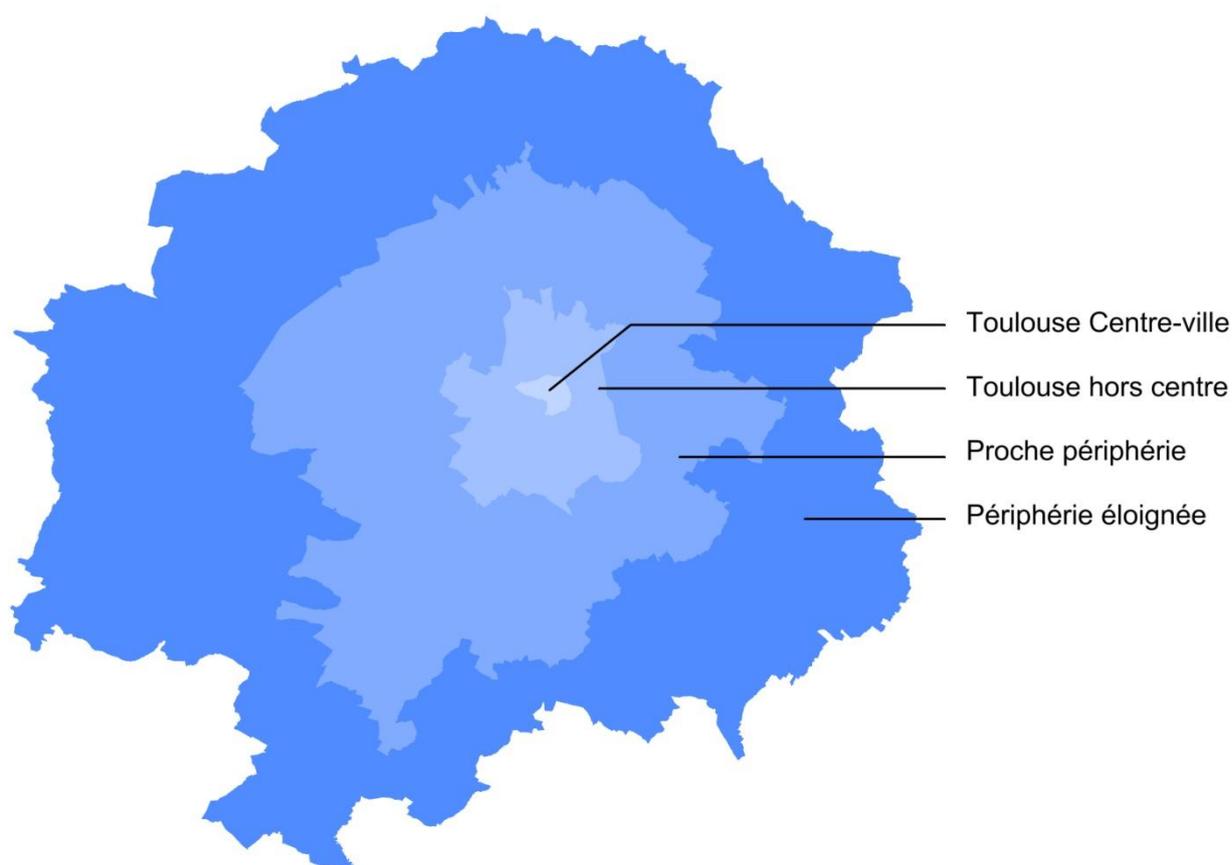


Carte 12 : Itinéraires étudiés

ANNEXE VIII : DES TRAJETS DOMICILE-TRAVAIL REPRESENTATIFS DES USAGES SUR L'AGGLOMERATION TOULOUSAINE

Les trajets domicile-travail ont été choisis à partir des résultats de l'enquête sur "les déplacements dans la Grande Agglomération Toulousaine" en 2013. Cette enquête est une "photographie des déplacements de la population urbaine un jour moyen de la semaine". Elle est la seule source d'information disponible sur les pratiques de déplacements des habitants de la grande agglomération toulousaine.

Le périmètre d'enquête couvre l'ensemble du schéma de cohérence territoriale (SCoT) de la grande agglomération toulousaine. Il comprend 179 communes. Ce territoire a été découpé en 66 secteurs et 4 zones concentriques (du centre ville de Toulouse à la périphérie éloignée).



Carte 13 : périmètre et découpage du territoire en quatre zones - source enquête ménage déplacement 2014

Plusieurs paramètres ont été pris en compte pour déterminer la répartition des trajets étudiés par l'ORAMIP sur la grande agglomération toulousaine. Ainsi, ont été étudiées :

- la part de chaque mode de déplacement pour les trajets domicile travail sur la zone d'études,

La part de chaque mode de déplacement est présentée sur le graphe ci-contre. N'ont été pris en compte dans le calcul de la répartition des modes de déplacements que les trajets domicile - travail internes à la grande agglomération toulousaine.

Ainsi, sur la grande agglomération toulousaine, 72% des déplacements domicile - travail sont réalisés en voiture. Ce mode de transport domine donc largement. D'après TISSEO-SMTC, "les distances plus longues que pour d'autres motifs expliquent en partie le recours à la voiture. En effet, la distance moyenne parcourue en voiture est de 11 kilomètres contre 4 à 5 kilomètres pour les autres motifs de déplacements.

La part des transports en communs (TC) atteint, quant à elle, 13% tandis que 6% des déplacements sont réalisés à pied et 4% à vélo.

Cette répartition moyenne évolue fortement en fonction de la zone étudiée.

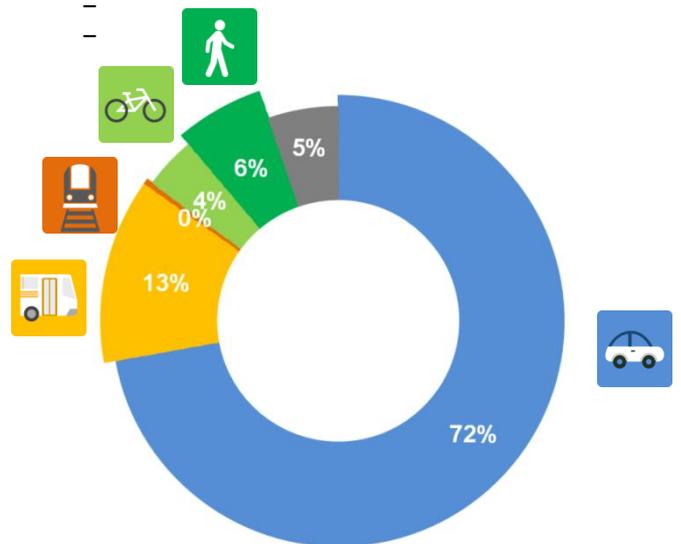
Ainsi, les transports en commun sont les moyens de déplacements domicile - travail privilégiés lorsque le centre ville de Toulouse est la destination du trajet. La part des déplacements à vélo et à pied apparait également élevée avec respectivement 18% et 9% du total des déplacements. La voiture n'est, quant elle, utilisée que pour un déplacement sur trois.

Les déplacements étudiés par l'ORAMIP ayant pour destination Toulouse et plus particulièrement le centre ville sont donc majoritairement des trajets réalisés sans voiture.

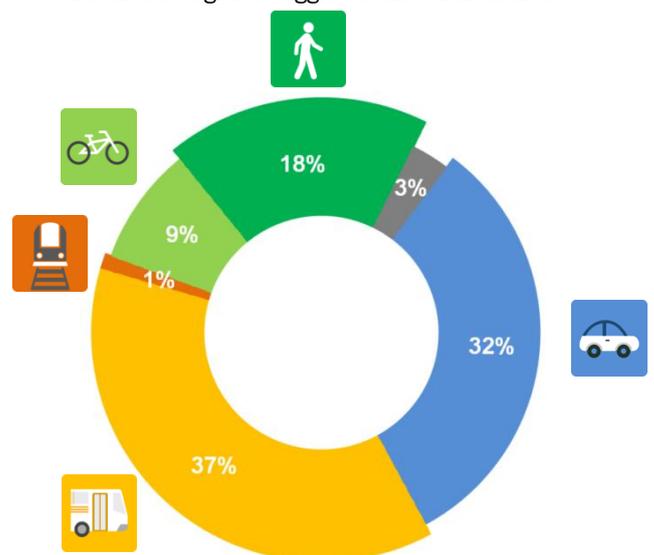
A contrario, si la périphérie éloignée est la destination du trajet, la voiture devient le mode de déplacement utilisé dans plus de 4 déplacements sur 5.

Les déplacements étudiés par l'ORAMIP ayant pour destination la périphérie éloignée sont essentiellement des trajets réalisés en voiture.

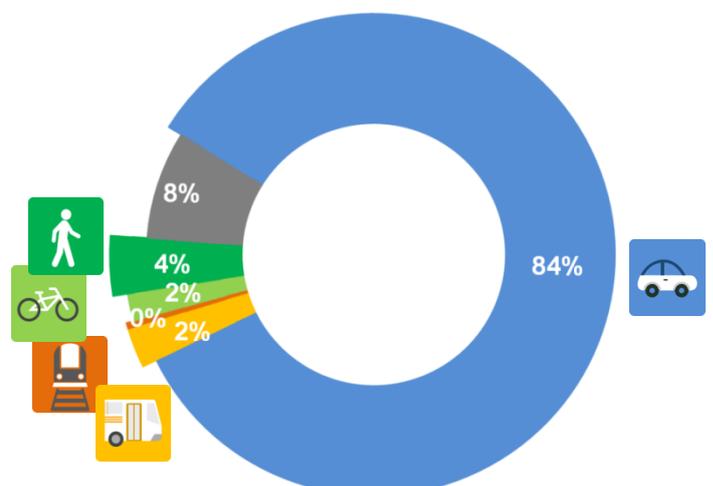
- la longueur moyenne des déplacements en fonction du mode,
- la carte des grandes zones d'emploi sur la grande agglomération toulousaine.



Graphe 23 : Parts modales des déplacements domicile - travail sur la grande agglomération toulousaine



Graphe 24 : Parts modales des déplacements domicile - travail vers le centre ville de Toulouse



Graphe 25 : Parts modales des déplacements domicile - travail vers la périphérie éloignée

La longueur moyenne parcourue lors d'un déplacement en voiture ou en transports en commun est supérieure à 10 km.

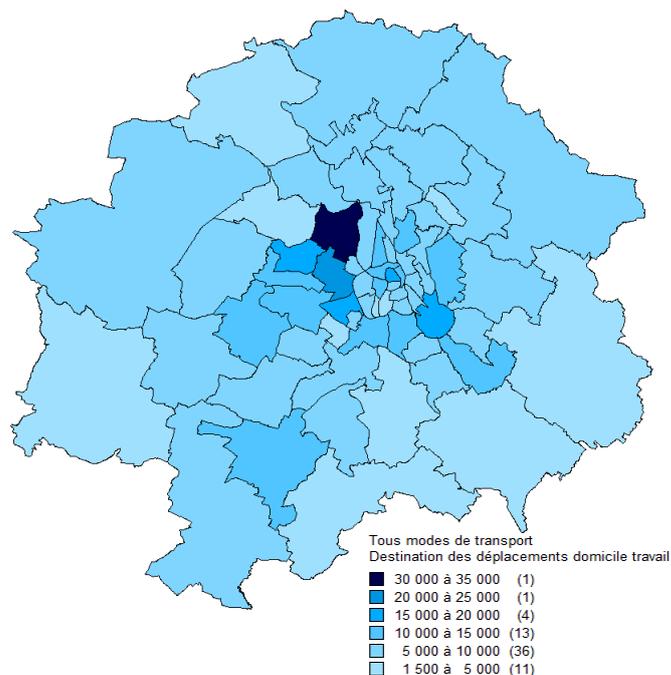
Les trajets réalisés par l'ORAMIP utilisant ces modes de transport ont donc été choisis afin qu'ils couvrent plusieurs zones.

Distance moyenne des déplacements domicile travail (en km)				
Voiture	Transports en commun urbain	Autres transports en commun	Vélo	Marche
11,4	10,5	17,9	5,1	0,8

L'étude de la distribution géographique de la destination des trajets domicile - travail met en évidence une répartition hétérogène des destinations des déplacements sur la grande agglomération toulousaine.

Des zones de destinations des trajets domicile - travail sont ainsi mises en évidence. Ainsi, près de 52 000 déplacements domicile - travail ont pour destination le centre-ville de Toulouse. Pour Toulouse hors centre ville et la proche périphérie, une importante zone de destination des trajets domicile - travail est située sur le secteur ouest, avec Blagnac, Saint Martin du Touch et Colomiers. Cette zone comptabilise ainsi plus de 75 000 déplacements. Vient ensuite la zone de Saint-Exupery Lespinet avec plus de 20 000 déplacements. Sur la périphérie éloignée, les déplacements sont répartis de façon plus homogène.

Le croisement des principales zones de domicile avec les zones de travail définies ci-dessus a ainsi permis de définir les trajets à réaliser. Les trajets ont été choisis de telle sorte qu'ils puissent couvrir l'intégralité de l'agglomération toulousaine.



Carte 14 : Destination des déplacements domicile travail - tous modes de transport exprimé en nombre de déplacements

Répartition des trajets retenus

Afin d'être représentatif de l'exposition de la majorité des habitants de la zone d'étude lors des déplacements domicile/ travail, quatre grands types d'échanges ont été retenus. Il s'agit des trajets :

- internes à Toulouse centre
- internes à Toulouse hors centre

- entre la périphérie (proche ou éloignée) et Toulouse
- internes à la périphérie

39 trajets ont ainsi été identifiés.

Répartition des trajets				
Voiture	Transports en commun urbain	Autres transports en commun	Vélo	Marche
16	8	2	9	6
39%	20%	5%	22%	15%

La part des trajets voiture a volontairement été réduite, en comparaison de la part observée sur la grande agglomération toulousaine afin de couvrir un maximum de situations de déplacements et notamment la diversité du réseau de transports en commun.

Ainsi, les trajets en transports en commun ont été répartis comme suit :

- 5 trajets en bus. Les lignes de bus choisies sont celles qui ont enregistré le plus grand nombre de validations en 2014. Les trajets de ces bus sont soit internes à Toulouse soit entre la proche périphérie et Toulouse
- 1 trajet en tram
- 2 trajets en métro (ligne A et ligne B).

Ces trajets ont été réalisés sur l'ensemble de la ligne étudiée.

Certains trajets ont été réalisés simultanément avec plusieurs moyens de transport. Dans un but de représentativité, ces parcours avaient un lieu de départ et d'arrivée identiques mais des trajets adaptés au moyen de transport étudié.

D'après l'étude sur "les déplacements dans la Grande Agglomération Toulousaine", près de la moitié des déplacements quotidiens sont concentrés dans deux périodes de pointe :

- la période de pointe du matin de 7h à 9h
- la période de pointe du soir de 16h à 19h.

17% des déplacements quotidiens sont réalisés pendant la période de pointe du matin. Une grande partie de ces déplacements ont pour origine le domicile.

Pendant la période de pointe du soir, 30% des déplacements sont réalisés. Les habitants repartent de leur lieu de travail mais réalisent également d'autres motifs (loisirs, achats, visites).

Tous les trajets étudiés ont donc été réalisés pendant la période de pointe du matin. Les départs étaient fixés à 8h00.

ANNEXE IX : PROTOCOLE TECHNIQUE

Trois polluants ont été mesurés dans le cadre de cette étude : le dioxyde d'azote, les particules de taille inférieure à 10µm et les particules ultrafines.

Le suivi de ces polluants n'a pas pu être réalisé avec les techniques habituellement employé à l'ORAMIP. Le

Mesure du dioxyde d'azote (NO₂)

Pour les déplacements réalisés en voiture et en triporteur, ces véhicules ont été équipés d'ACCUS permettant d'alimenter en électricité un analyseur automatique d'oxydes d'azote. Celui-ci a mesuré la concentration en dioxyde d'azote dans l'habitacle de la voiture toutes les 10 secondes. La chimiluminescence est la méthode utilisée par les analyseurs et constitue la méthode de référence européenne pour la mesure des oxydes d'azote. Elle repose sur la mesure d'un rayonnement de chimiluminescence produit par réaction entre les molécules de monoxyde d'azote et de l'ozone formé par un générateur haute tension. Le rayonnement est mesuré par photomultiplicateur et son

intensité est proportionnelle à la quantité de monoxyde d'azote dans l'échantillon. La mesure du dioxyde d'azote est effectuée en le convertissant préalablement en monoxyde d'azote, avant introduction dans la chambre de réaction.

Pour les autres moyens de transports étudiés, le dioxyde d'azote a été mesuré par système de pompage sur filtre imprégné de triéthanolamine (TEA). La TEA fixe le dioxyde d'azote. Le débit de prélèvement des pompes est de 600 ml/min. Le protocole de prélèvement et d'analyse a été mis en œuvre par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police (LCPP).

Mesure des particules de taille inférieure à 10 microns (PM10)

Pour tous les trajets réalisés, les particules PM10 ont été mesurées avec un Pdr. Le Pdr est un néphélomètre qui permet une mesure en temps réel (pas de temps de 10 secondes) de la concentration massique des poussières en suspension. Le choix du débit permet d'effectuer une séparation en taille des particules. Un débit de 1l/min permet de mesurer des particules de taille inférieure à 10µm. Cette séparation est réalisée par cyclone. Les poussières ainsi sélectionnées

pénètrent ensuite dans une cellule de mesure illuminée par une diode émettant dans le proche infrarouge. La lumière diffusée par les poussières est mesurée par un photo détecteur. Le signal de mesure émis par le photo détecteur est proportionnel à la concentration massique en poussières dans l'air ambiant. L'acquisition des données peut se faire par un pas de temps choisi par l'utilisateur. Dans notre cas, il s'agit d'acquisition effectuée toutes les 10 secondes.

Mesure des particules ultrafines (PUF)

Le compteur à particules utilisé est un P-trak. Il détecte les particules comprises entre 0.02 micron et 1 micron. Cet appareil est un compteur à particules à condensation c'est-à-dire que les particules sont saturées d'alcool avant leur mesure par diffraction lumineuse. Il permet la mesure en temps réel du nombre de particules par cm³. Le pas de temps de la mesure était la minute.

Les résultats fournis (en nombre de particules/cm³) ne sont pas comparables aux mesures de

concentration massique réalisées par les analyseurs fixes du réseau de mesures de Midi-Pyrénées. En outre, il n'existe pas de norme applicable sur les concentrations exprimées en nombre.

L'appareil ne fonctionnant qu'en position horizontale, les particules ultrafines n'ont été mesurées que dans l'habitacle de la voiture et pour les trajets en triporteur.

Données GPS

Outre la mesure des polluants décrits précédemment, chaque trajet a fait l'objet d'un relevé via une application GPS installée sur smartphone. Les longitude, latitude et vitesse ont été relevées toutes les

10 secondes pour chaque trajet. Tous les trajets peuvent ainsi être visualisés sur Map Info.

Surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées

24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •



L'information
sur la qualité de l'air
en Midi-Pyrénées :

<http://oramip.atmo-midipyrenees.org>

ÉTUDE RÉALISÉE PAR ATMO MIDI-PYRÉNÉES ORAMIP GRÂCE AU PARTENARIAT AVEC LA RÉGION MIDI-PYRÉNÉES

