

# Surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain - Ligne A

---

## Rapport annuel 2019

ETU-2020-103 - Edition Septembre 2021

[www.atmo-occitanie.org](http://www.atmo-occitanie.org)

[contact@atmo-occitanie.org](mailto:contact@atmo-occitanie.org)

09 69 36 89 53 (Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)



## CONDITIONS DE DIFFUSION

**Atmo Occitanie**, est une association de type loi 1901 agréée pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de l'Occitanie. Atmo Occitanie 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.

Atmo Occitanie 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://atmo-occitanie.org>.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Occitanie.

Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à Atmo Occitanie.

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

Par ailleurs, Atmo Occitanie 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 Atmo Occitanie :

- depuis le formulaire de contact sur le site <http://atmo-occitanie.org>.
- par mail : [contact@atmo-occitanie.org](mailto:contact@atmo-occitanie.org)
- par téléphone : 09.69.36.89.53

## SOMMAIRE

CONDITIONS DE DIFFUSION .....	1
SOMMAIRE .....	2
SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES - ANNÉE 2019.....	3
ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES EN SUSPENSION SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN.....	7
ANNEXE II : RÉSULTATS DES MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN .....	19
ANNEXE III : RÉSULTATS DES MESURES DE BENZÈNE SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN .....	28
ANNEXE IV : RÉSULTATS DES MESURES DU NIVEAU DE CONFINEMENT SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN .....	36
ANNEXE V : ÉTUDE DE FAISABILITE DE LA MESURE DE PM10 / PM2,5 / PM1 DANS LE METRO AVEC UN UNIQUE APPAREIL DE MESURES.....	39
ANNEXE VI : PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC .....	44
ANNEXE VII : DESCRIPTION DE LA METHODE D'ADAPTATION STATISTIQUE UTILISEE .....	47
ANNEXE VIII : CHOIX DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES POUR LE MÉTRO TOULOUSAIN.....	48
ANNEXE IX : ASPECTS DE LA RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL.....	50
ANNEXE X : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MÉTRO TOULOUSAIN .....	51
ANNEXE XI : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DE MÉTRO PARISIEN.....	52

# SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES - ANNÉE 2019

## Contexte

L'Autorité Organisatrice des Transports de l'agglomération toulousaine Tisseo Collectivités a été, en 2004, l'une des premières gestionnaires des transports en commun en France à mettre en place un plan de surveillance de la qualité de l'air dans l'enceinte de son réseau métro. Ainsi, depuis 2004, Atmo Occitanie réalise, en partenariat avec Tisseo Collectivités, et dans le cadre du plan de surveillance de la qualité de l'air du métro toulousain, des mesures d'évaluation de la qualité de l'air sur l'ensemble du réseau métro. Des mesures de particules, dioxyde d'azote et benzène sont réalisées deux fois par an dans deux stations de métro de la ligne A ou de la ligne B (un an sur deux depuis 2007).

Les études précédentes ont montré que les niveaux de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et de benzène relevés dans le métro sont inférieurs ou du même ordre de grandeur que ceux mesurés en air extérieur, ces polluants proviennent de l'extérieur et sont introduits dans le métro par la ventilation. En revanche, les particules sont en grande partie produites par l'activité de transport (roulement, freinage...) : les niveaux de particules rencontrés dans le métro sont plus élevés que ceux mesurés en air extérieur et les concentrations rencontrées dépassent ponctuellement les valeurs guides.

Ces niveaux sont plus faibles sur la ligne B en comparaison de la ligne A. Cette différence de niveaux de concentrations en particules pourrait trouver son explication dans le fait que dans les deux lignes de métro toulousain, inaugurées à 14 ans d'intervalle, circulent des matériels roulants différents. Ainsi, sur la ligne B circulent des rames équipées d'un système de freinage électrique plus performant et donc moins émetteur en particules, et la ligne est équipée d'un système de ventilation plus puissant. En outre, il a été mis en évidence des niveaux de particules variables entre les stations de métro d'une même ligne.

En septembre 2015, l'ANSES a rendu un avis concernant la « Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs ». L'expertise a conclu à l'existence d'un risque sanitaire respiratoire et cardiovasculaire lié à l'exposition chronique des travailleurs aux particules de l'air des enceintes ferroviaires souterraines. Sont concernés les travailleurs exerçant notamment dans les domaines de l'exploitation du transport, l'organisation du transport et des services, les commerces, la police, la sécurité, la prévention et l'action sociale. Les risques sanitaires sont par ailleurs vraisemblablement plus élevés pour les travailleurs en charge de la maintenance des infrastructures (niveaux importants d'exposition aux émissions de motrice diesel), compte tenu de l'intensité et de la diversité de leurs expositions possibles.

L'ANSES indique un manque d'information et préconise des actions permettant une meilleure évaluation des risques des travailleurs.

## Plan de surveillance 2019

Le plan de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain réalisé en 2019 porte sur la **LIGNE A**.

Sur cette ligne, Atmo Occitanie a poursuivi le programme de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain mené depuis plus de quinze années en réalisant les actions suivantes :

- Mesures sur le quai de la station de métro Esquirol,
- Mesures sur le quai de la station de métro Mirail-Université,
- Mesures dans les rames de métro.

En outre, deux actions complémentaires ont été évaluées :

- Étude des concentrations de NO<sub>2</sub> et benzène dans l'ensemble des stations de métro de la ligne,
- Étude de la faisabilité de la mise en place de mesures de particules de diamètre inférieur à 10 µm, 2,5 µm et 1 µm (PM<sub>10</sub> / PM<sub>2,5</sub> / PM<sub>1</sub>) dans la ligne A du métro avec un unique appareil de mesures avec obtention de résultats comparables à ceux obtenus à partir des analyseurs utilisés historiquement pour la mesure de la qualité de l'air dans le métro.
- Évaluation du nombre de particules et mise en perspective des concentrations mesurées en fonction de ces trois classes granulométriques.

Le protocole d'évaluation de la qualité de l'air dans le métro toulousain est indiqué en annexe VI.

## Les particules en suspension

**Valeur guide en PM<sub>10</sub> respectée dans les deux stations de métro étudiées de la ligne A**

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour la qualité de l'air dans le métro. En revanche, le Conseil supérieur d'hygiène public de France (CSHPF) a défini, en 2001, des valeurs de référence de qualité de l'air pour les particules PM<sub>10</sub>, destinées aux usagers des transports. Ces valeurs, déterminées chaque année, sont calculées en fonction des durées quotidiennes de séjour dans le métro et prennent en compte la concentration extérieure (sur une année complète).

Ces valeurs indicatives permettent de situer les concentrations observées dans l'enceinte du métro toulousain.

La concentration horaire maximale en PM<sub>10</sub> mesurée pendant la campagne de mesure est de 484 µg/m<sup>3</sup>. Elle est inférieure à la valeur guide établie à 648 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire pour l'année 2019. **La valeur guide est respectée. Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont relativement peu exposés dans le cadre de leurs trajets quotidiens.**

## Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

La concentration maximale en particules PM10, 348 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures, mesurée dans l'enceinte du métro est nettement inférieure à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) fixée à 5 000 µg/m<sup>3</sup>.

## Les particules PM10 émises par l'activité du métro

Dans le métro, les particules sont produites par l'activité du métro : le roulement et le freinage des rames en circulation ainsi que par la remise en suspension dans l'air des particules déjà présentes. Les niveaux de PM10 sur les quais des stations Mirail Université et Esquirol sont ainsi 5 à 6 fois supérieures à la situation en air extérieur en environnement urbain. Cependant, l'usager du métro est exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.

Les campagnes de mesures réalisées en 2019 confirment ont également confirmé que les concentrations moyennes en particules PM10 ne sont pas uniformes sur la ligne de métro.

## Des concentrations moyennes en particules plus élevées en période chaude

Depuis 2015, les niveaux de particules PM10 mesurés en période froide sur les quais de la station de métro Esquirol étaient du même ordre de grandeur que ceux rencontrés en période chaude. **En 2019, les niveaux de particules PM10, PM2,5 et PM1 mesurés sur les quais de la station Esquirol et Mirail-Université sont plus élevées en période chaude, alors que la ventilation fonctionne de façon plus importante, que ceux mesurés en période froide.**

## Nombre de particules et concentration en forte variation selon la période

L'installation d'un granulomètre optique (FIDAS) sur le quai de la station de métro Esquirol a permis :

- la mesure du nombre de particules de taille supérieure à 180 nm dans l'air du métro toulousain et dans l'air extérieur,
- l'étude de la répartition des particules en fonction de leur taille.

## Le nombre de particules dans l'air du métro est :

- Pendant la période chaude, 1,8 fois plus élevé que celui relevé dans l'air ambiant toulousain tandis que la concentration moyenne massique est 10 fois plus élevée.
- Pendant la période froide, du même ordre de grandeur que celui relevé dans l'air ambiant extérieur alors que la concentration moyenne massique est 5 fois plus élevée sur cette même période.

Les particules présentes dans l'air de la ligne A du métro toulousain sont ainsi beaucoup plus lourdes que celles présentes dans l'air de la ligne B ou dans l'air ambiant. La forte proportion de particules métalliques dans l'air

de la ligne A peut expliquer les concentrations massiques plus élevées dans l'air de la ligne A.

## Une forte prédominance des particules de taille inférieure à 1 µm dans l'enceinte du métro comme dans l'air extérieur

Plus de 99% des particules sont de taille inférieure à 1 µm dans le métro et dans l'air ambiant. Cette fraction des particules représente moins de 6% de la masse de l'ensemble des particules mesurées dans le métro.

Le nombre de particules le plus élevé est relevé essentiellement en fin d'après-midi. Cette situation peut être due à des phénomènes de formation de particules à partir de particules plus petites ou bien à des phénomènes d'accumulation. Pour une meilleure compréhension des phénomènes observés, il serait nécessaire de réaliser des mesures de particules de taille inférieure à 0,02 µm.

## Le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>

### Respect de la valeur guide applicable en air intérieur

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour la qualité de l'air dans le métro. Pour le dioxyde d'azote, l'ANSES a établi une valeur guide de l'air intérieur de 200 µg/m<sup>3</sup> sur une heure pour protéger des effets survenant après une exposition de courte durée. Cette valeur indicative permet de situer les concentrations observées dans l'enceinte du métro toulousain.

**En 2019, la valeur guide horaire de 200 µg/m<sup>3</sup> a été respectée sur le quai de la station de métro Esquirol (66 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire glissante) ainsi que dans les rames de métro (95 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 55 minutes). Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont relativement peu exposés dans le cadre de leurs trajets quotidiens.**

### Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Les concentrations quart-horaires maximales en dioxyde d'azote, 98 µg/m<sup>3</sup> sur les quais et 101 µg/m<sup>3</sup> dans les rames sont nettement inférieures à la Valeur Limite d'Exposition (VLE) de 6 000 µg/m<sup>3</sup>.

## Origine du dioxyde d'azote

### Un polluant venu de l'extérieur

Le dioxyde d'azote présent dans le métro provient du milieu extérieur. Émis par le trafic routier, il est introduit dans le métro toulousain par le biais de la ventilation.

**Les concentrations en NO<sub>2</sub> observées dans l'enceinte de la ligne A du métro de Toulouse sont ainsi, en moyenne, 22% en période froide et 27% en période chaude plus faibles que celles relevées en air extérieur à l'entrée des stations de métro.**

Les concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées dans les différents environnements du métro s'expliquent par plusieurs facteurs :

- La densité du trafic routier dans l'environnement de la station de métro ; les concentrations maximales sont rencontrées sur les stations de métro situées dans le centre-ville de Toulouse,
- La position des prises d'air de ventilation par rapport aux voies de circulation,
- La ventilation des stations de métro visant à maintenir une température de confort qui ne soit pas trop élevée,
- La profondeur de l'environnement étudié.

Les concentrations en NO<sub>2</sub> observées dans l'enceinte de la ligne A du métro de Toulouse sont ainsi 50% plus faibles que celles mesurées dans la ligne B en 2018 dont le tracé suit, sur une large portion, les boulevards toulousains.

#### Des concentrations dans l'enceinte du métro en baisse en lien avec la baisse observée en air extérieur

Entre 2011 et 2019, les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> pendant les campagnes de mesure ont diminué de 42% dans l'air extérieur à l'entrée des stations de métro. **Dans l'enceinte du métro – ligne A, les concentrations ont suivi cette tendance à la baisse. Ainsi, les concentrations moyennes dans les salles de billet ont réduit de 41% sur cette même période tandis que les concentrations moyennes sur les quais ont diminué de 47%.**

## Le benzène

### Respect de la valeur guide applicable en air intérieur

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour la qualité de l'air dans le métro. Une valeur de référence, de 2 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, est fixée pour le benzène dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant du public. Cette valeur indicative permet de situer les concentrations observées dans l'enceinte du métro toulousain.

La concentration moyenne maximale en benzène mesurée sur la ligne A du métro toulousain est de 1,7 µg/m<sup>3</sup> et respecte la valeur guide de qualité de l'air de 2 µg/m<sup>3</sup>. Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont relativement peu exposés dans le cadre de leurs trajets quotidiens.

### Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Les concentrations maximales en benzène mesurées dans l'enceinte du métro, 3,0 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 1h20 dans une rame de métro et 1,7 µg/m<sup>3</sup> pendant 15 jours sur les quais, sont nettement inférieures à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) de 3 250 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures

## Origine du benzène

### Un polluant venu essentiellement de l'extérieur

Dans l'enceinte du métro, en 2020, les niveaux en benzène mesurées à l'intérieur des stations de métro sont du même ordre de grandeur ou légèrement supérieurs à ceux rencontrés à l'extérieur. Le benzène, émis à l'extérieur est introduit dans le métro toulousain par le biais de la ventilation. Des sources internes de benzène sans doute dues aux produits utilisés (entretien et/ou maintenance) s'ajoutent au benzène en provenance de l'extérieur.

Les concentrations en benzène observées dans l'enceinte de la ligne A du métro de Toulouse sont similaires à celles mesurées dans la ligne B en 2018.

### Des concentrations dans l'enceinte du métro en baisse en lien avec la baisse observée en air extérieur

Entre 2011 et 2019, les concentrations moyennes en benzène ont diminué de 18% en air extérieur au niveau de l'entrée des stations de métro – ligne A.

**Dans l'enceinte du métro – ligne A, les concentrations ont suivi cette tendance à la baisse. Elle est cependant plus forte. Ainsi, les concentrations moyennes dans les salles de billet et sur les quais ont réduit de 37% sur la même période.**

## Le niveau de confinement

### Recommandation du règlement sanitaire départemental respecté

Sur les deux périodes de mesures, les niveaux de concentration en CO<sub>2</sub> ont culminé à environ 930 ppm. Ils sont inférieurs au seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm.

### Un niveau de confinement faible dans les stations de métro

Les niveaux de dioxyde de carbone rencontrés dans les stations de métro de la ligne A indiquent un niveau de confinement faible. Le système de ventilation dont sont équipées les stations de métro permet de maintenir le CO<sub>2</sub> à des niveaux satisfaisants.

### Un niveau de confinement plus élevé dans les rames de métro

Dans les rames de métro, les niveaux de CO<sub>2</sub> rencontrés sont généralement plus élevés que sur les quais. La concentration maximale atteinte a été de 1 693 ppm. Les niveaux de CO<sub>2</sub> dans les rames de métro peuvent donc ponctuellement dépasser le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm notamment aux heures de pointe.

## Étude de la faisabilité de mesures des particules à l'aide d'un granulomètre optique

La comparaison des concentrations massiques fournies par le granulomètre optique (FIDAS) avec celles de la méthode de référence (méthode gravimétrique) mettent en évidence une adéquation plus ou moins forte avec les mesures par gravimétrie (TEOM) en fonction de la fraction choisie et de la période de mesures.

Deux méthodes de redressement ont ainsi été étudiées afin de tenter d'améliorer les résultats obtenus :

- Redressement des concentrations à l'aide de la droite de régression,
- Méthode d'adaptation statistique.

Ce nouveau dispositif de mesure a permis, pour la première fois, de quantifier le nombre de particules dans l'air de la ligne A du métro toulousain et d'étudier la répartition de ces particules selon leur taille. Il est préconisé par le guide national de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires afin de réaliser une première classification des niveaux de concentration dans les différentes stations souterraines d'un réseau.

Les concentrations en particules corrigées selon la méthode la plus efficace obtenue sont très encourageantes. Cependant, à l'heure actuelle, il apparaît que la méthode de mesures optique de particules, ne peut se substituer à la méthode de mesures de référence des particules dans les enceintes ferroviaires.



## ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES EN SUSPENSION SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN

### LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- La valeur guide sur une heure fixée pour les particules PM10 est respectée,
- La Valeur Limite de Moyenne Exposition fixée par les ambiances de travail est respectée,
- Les particules PM10 mesurées dans l'enceinte du métro sont émises par l'activité de celui-ci.
- L'utilisateur du métro est exposé à des concentrations 5 à 6 fois supérieures à celles mesurées dans l'air ambiant extérieur mais sur un pas de temps court.
- Les concentrations en période chaude sont supérieures à celles mesurées en période froide contrairement aux précédentes évaluations,
- Les concentrations moyennes mesurées en 2019 sont inférieures ou égales à celles observées lors des précédentes évaluations en 2015 et 2017 dans les deux stations de métro,
- Les niveaux mesurés en moyenne sur les quais des deux stations de la ligne A sont 2.6 fois plus élevés que ceux mesurés sur les quais des deux stations de la ligne B qui font périodiquement l'objet d'une évaluation.
- La répartition des particules par classe de taille est globalement similaire avec la situation moyenne en air extérieur,
- La répartition des particules par classe de taille varie selon les heures et les jours,
- Le nombre de particules très fines est très élevé et le nombre de grosses particules est très faible. 99% des particules mesurées sont de diamètre inférieur à 1 micromètre ( $\mu\text{m}$ ) mais elles en contribuent qu'à hauteur de 5 à 6% de la concentration massique dans l'air,
- Les concentrations moyennes sont du même ordre de grandeur que dans le métro parisien.

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

### SOURCES

L'air extérieur est un vecteur important de particules : poussières naturelles, pollens, moisissures, fumées, particules fines des gaz d'échappement. Ces particules peuvent pénétrer à l'intérieur des bâtiments, notamment par le système de ventilation. D'autres sources de particules sont présentes à l'intérieur en relation avec les activités des occupants : tabagisme, cuisson des aliments, fonctionnement des appareils de chauffage et de combustion (cheminée d'agrément), ménage (remise en suspension de la poussière de maison), bricolage, ... Une partie d'entre elles, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et différents COV (Composés Organiques Volatils).

Dans les réseaux de transport souterrain, (métro par exemple), des émissions de particules liées au matériel roulant (usure des équipements), aux infrastructures et à la remise en suspension s'ajoutent aux particules issues de l'extérieur.

Ces particules restent plus ou moins longtemps en suspension selon leur taille avant de se déposer. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10), à 2,5 microns (PM2,5) et à 1 micron (PM1).

### 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 (PM1) 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.

Ces particules sont quantifiées en masse ou en nombre.

### 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 particules de diamètre inférieur à 10 µm – respect des valeurs guides

La valeur guide (cf. annexe VIII) sur une heure est la plus représentative de l'exposition des usagers du métro toulousain.

Les deux campagnes de mesures ont permis une évaluation sur 1/3 de l'année 2019.

<h1>PM10</h1>		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm			
		Conformité à la valeur guide	Temps d'exposition des usagers	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	<b>Valeur guide calculée à partir de l'avis relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines du 3 mai 2001 du CSHPF</b>	<b>OUI</b>	1 heure	648 µg/m <sup>3</sup>	<b>Maximum sur une heure glissante :</b> <b>Période froide :</b> Esquirol : 268 µg/m <sup>3</sup> Mirail Université : 377 µg/m <sup>3</sup>
					<b>Période chaude :</b> Esquirol : 430 µg/m <sup>3</sup> Mirail Université : 484 µg/m <sup>3</sup>

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

## Des concentrations en particules PM10 mesurées très en deçà de la Valeur Limite de Moyenne d'Exposition fixée pour les ambiances de travail

La valeur limite moyenne d'exposition aux postes de travail (VME) est définie comme la concentration moyenne autorisée dans l'air des postes de travail en un polluant donné qui, en l'état actuel des connaissances, ne met pas en danger la santé des travailleurs sains qui y sont exposés, et ce, pour une durée de 42 heures hebdomadaires à raison de 8 heures par jour, pendant de longues périodes.

Il n'existe pas de VME pour les particules de diamètre inférieur à 10 µm. Nous indiquons ci-dessous la VME fixée pour les particules alvéolaires c'est-à-dire de diamètre inférieur à 4 µm.

Les concentrations en particules en moyenne sur 8 heures mesurées sur les quais des stations de métro Esquirol et Compans Caffarelli sont près de 20 fois inférieures à la Valeur Limite de Moyenne Exposition.

<h1>PM10</h1>		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm		
		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de longue durée	<b>Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)</b>	<b>OUI</b>	5 000 µg/m <sup>3</sup> sur 8 heures	<b>Maximum sur huit heures :</b> Esquirol : 348 µg/m <sup>3</sup> (période chaude) Mirail Université: 335 µg/m <sup>3</sup> (période chaude)

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

## L'activité du métro émettrice de particules

Des niveaux moyens sur la période plus élevés dans le métro qu'à l'extérieur

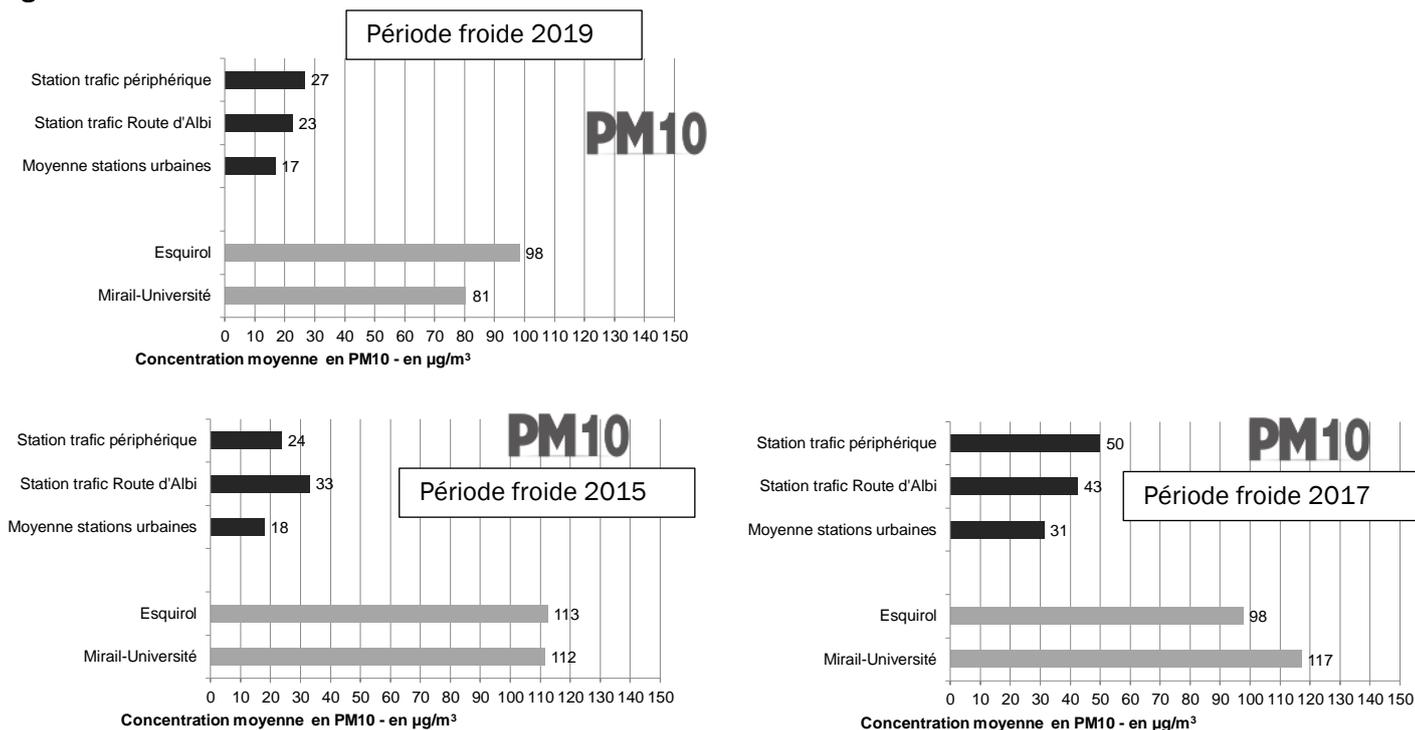
Dans le métro, les particules sont essentiellement produites par le roulement et le freinage des rames en circulation, ainsi que par la remise en suspension dans l'air des particules déjà présentes (cf. rapport "Mesures de qualité de l'air dans le métro toulousain en 2012").

Les précédents suivis de la ligne A ont mis en évidence des niveaux de particules variables en fonction de la station de métro sur cette ligne :

- Les concentrations moyennes en particules PM10 ne sont pas uniformes sur la ligne,

- Les niveaux moyens relevés dans les stations de métro enterrées de la ligne A sont ainsi 2,5 à 4 fois supérieurs à ceux mesurés en air extérieur,
- La station de métro aérienne Jolimont enregistre des niveaux de particules PM10 du même ordre de grandeur que ceux relevés par la station trafic périphérique (35 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur la période).

Ces résultats ont confirmé le caractère confiné de cette ligne de métro.



Graphes 1 : Concentrations moyennes en PM10 dans les stations de métro et comparaison aux concentrations mesurées dans l'air ambiant extérieur

## Des niveaux plus élevés de particules en période chaude

Depuis le début des mesures jusqu'en 2013, une évolution saisonnière des niveaux de particules PM10, liée au mode de fonctionnement de la ventilation, avait été mise en évidence sur les deux lignes du métro toulousain.

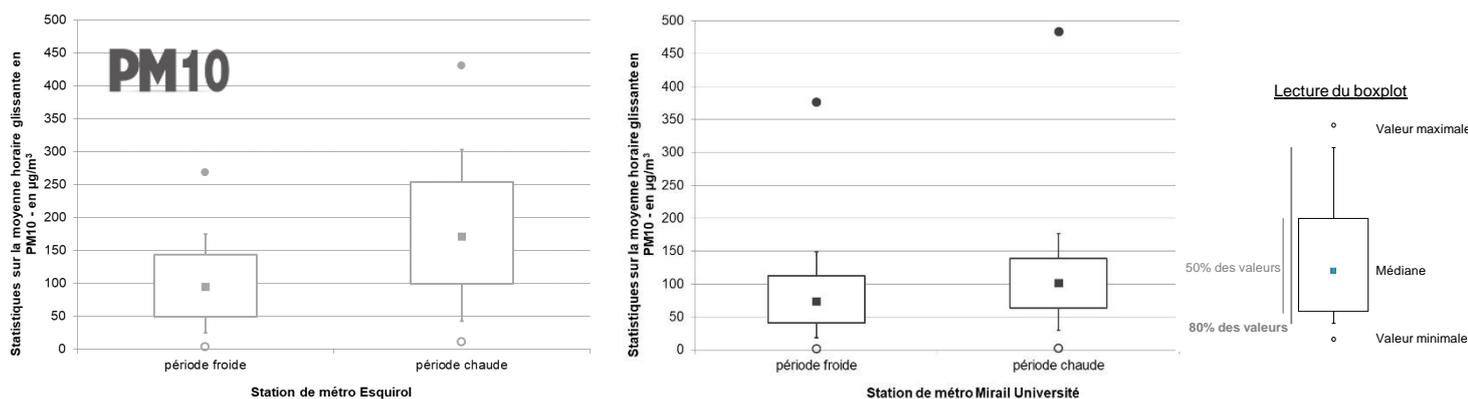
Pendant la période froide, un fonctionnement limité de la ventilation favorisait des niveaux de particules élevés. Pendant la saison chaude, le fonctionnement quasi continu de la ventilation permet la dilution des particules émises par l'activité métro grâce à l'apport d'air extérieur.

Depuis 2015, les concentrations de particules PM10 mesurés sur les quais de la station Esquirol et Mirail-Université - ligne A en période froide ont fortement diminué en comparaison des résultats rencontrés lors des précédentes campagnes de mesures. Les niveaux de particules PM10 mesurés en période froide étaient ainsi du même ordre de grandeur que ceux

rencontrés en période chaude alors que, selon les indications de l'exploitant, les plages horaires de fonctionnement de la ventilation étaient plus importantes en période chaude.

**En 2019, les concentrations de particules PM10, PM2,5 et PM1 mesurés sur les quais de la station Esquirol et Mirail-Université - ligne A sont plus élevées en période chaude, alors que la ventilation fonctionne davantage, que ceux mesurés en période froide. Il s'agit donc d'une situation non observée précédemment et les prochaines campagnes de mesures permettront de vérifier si cette observation se pérennise.**

Les graphiques suivants présentent sous forme de boxplot la répartition des concentrations en PM10 dans les stations de métro station Esquirol et Mirail-Université.



Graphes 2 : Répartition des concentrations horaires en PARTICULES PM10 mesurées dans la station de métro ESQUIROL et dans la station de métro MIRAIL-UNIVERSITÉ en 2019

## Mais un nombre de particules variable selon la période

Depuis 2004, la mesure des particules dans le métro toulousain est réalisée, comme celle menée dans le cadre de la mission de surveillance de la qualité de l'air, par méthode de pesée. Elle fournit donc un résultat en concentration massique ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Cependant, cette approche n'est pas suffisante pour décrire la nature complexe des particules. En effet, les particules sont de plus en plus petites, notamment du fait des évolutions des moteurs automobiles et des nanotechnologies. Or, compte-tenu de leur très faible masse, ces particules, même présentes en très grand nombre, pèsent peu sur une mesure de masse de PM10 ou de PM2.5. Le comptage des particules PM permet donc de quantifier ces particules très fines et de compléter l'évaluation réalisée dans les infrastructures de métro.

Dans le cadre des plans de surveillance 2018 et 2019 de la qualité de l'air dans le métro toulousain, Atmo Occitanie a ainsi mené une étude de faisabilité de la mesure de PM10 / PM2,5 / PM1 dans le métro avec un unique appareil de mesures. Atmo Occitanie a installé, en 2018 sur le quai de la station Compans Caffarelli et en 2019 sur le quai de la station Esquirol, un granulomètre optique (nommé FIDAS) en plus du dispositif habituel de mesures. Cet appareil permet de mesurer en temps réel et en continu la distribution en taille de 72 classes de particules à partir de 0,18  $\mu\text{m}$ , pour des concentrations en nombre allant de  $1 \times 10^6$  à  $20 \times 10^9$  p/m<sup>3</sup>. Cet analyseur fournit également une concentration massique pour les fractions PM1, PM2,5 et PM10 grâce à un algorithme de conversion qui opère un calcul en faisant des hypothèses par classe de taille sur des paramètres physiques des particules. Les résultats des essais d'adéquation de l'analyseur FIDAS à la méthode de référence ont montré un bon accord des mesures de cet appareil avec celles obtenues par la méthode de pesée gravimétrique sur les sites de fond urbain.

Des mesures de particules dans l'air ambiant urbain toulousain ont également été réalisées à l'aide d'un analyseur FIDAS.

Ces mesures permettent de mesurer le nombre de particules de diamètre 0,18 à 15  $\mu\text{m}$  dans l'air du métro toulousain et dans l'air extérieur. Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous le nombre moyen de particules et la concentration massique moyenne mesurés sur le quai de la station de métro Esquirol ainsi que dans l'air ambiant extérieur lors des deux campagnes de mesures. Nous indiquons également le nombre moyen de particules et la concentration massique moyenne mesurés sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli en 2018.

Le nombre moyen de particules dans l'air du métro est :

- Pendant la période chaude, 1,8 fois plus élevé que celui relevé dans l'air ambiant toulousain tandis que la concentration moyenne massique est 10 fois plus élevée.
- Pendant la période froide, du même ordre de grandeur que celui relevé dans l'air ambiant extérieur alors que la concentration moyenne massique est 5 fois plus élevée sur cette même période.

Le nombre moyen de particules dans l'air de la ligne A est plus élevé que celui mesuré dans la ligne B (station Compans Caffarelli) en 2018 sur les deux périodes.

Les particules présentes dans l'air de la ligne A du métro toulousain sont beaucoup plus lourdes que celles présentes dans l'air de la ligne B ou dans l'air ambiant. La forte proportion de particules métalliques dans l'air de la ligne A peut expliquer ces concentrations massiques plus élevées.

		Nbre de particules / m <sup>3</sup> de taille supérieure à 0.18 $\mu\text{m}$	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Période chaude	Station de métro Esquirol – Ligne A	482x10 <sup>6</sup>	175
	Air ambiant toulousain	263x10 <sup>6</sup>	18
	Station de métro Compans Caffarelli – Ligne B (mesures 2018)	318 x10 <sup>6</sup>	23
Période froide	Station de métro Esquirol	367 x10 <sup>6</sup>	98
	Air ambiant toulousain	388 x10 <sup>6</sup>	19
	Station de métro Compans Caffarelli – Ligne B (mesures 2018)	195 x10 <sup>6</sup>	27

## Forte contribution des particules très fines en nombre

Pour l'interprétation des résultats, nous avons étudié la distribution des particules selon 9 classes :

- De 0.18 à 0.3  $\mu\text{m}$ ,
- De 0.3 à 0.4  $\mu\text{m}$ ,
- De 0.4 à 0.5  $\mu\text{m}$ ,
- De 0.5 à 1  $\mu\text{m}$ ,
- De 1 à 2.5  $\mu\text{m}$ ,
- De 2.5 à 5  $\mu\text{m}$ ,
- De 5 à 10  $\mu\text{m}$ ,
- De 10 à 15  $\mu\text{m}$ ,
- > 15  $\mu\text{m}$ .

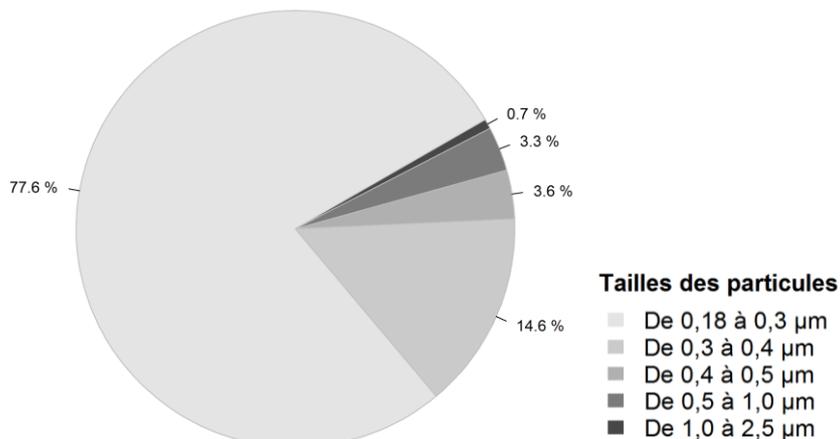
Les quatre classes de taille supérieures à 2,5  $\mu\text{m}$  n'apparaissent pas sur les graphes suivants car elles représentent moins de 0.2% de l'ensemble des particules.

Ci-dessous sont représentées les distributions des particules dans l'air de diamètre inférieure à 2,5 µm :

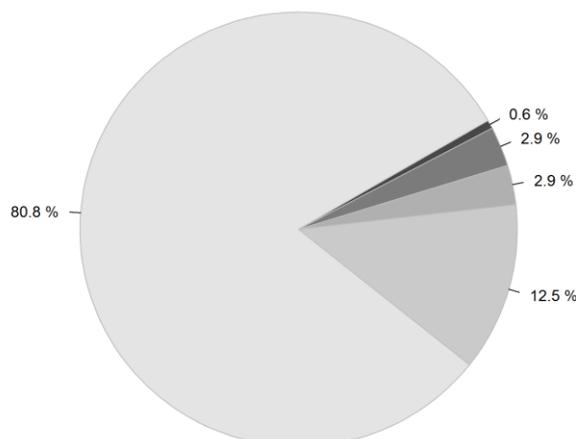
- de la station de métro Esquirol – ligne A,
- de la station Compans Caffarelli – ligne B (mesures réalisées en 2018),
- dans l'air extérieur toulousain.

Pour les deux périodes de mesures, les particules très fines, de l'ordre de quelques centaines de nanomètre

Répartition en nombre des particules  
Station Esquirol – Année 2019 - Période chaude



Répartition en nombre des particules  
Station Esquirol – Année 2019 - Période froide



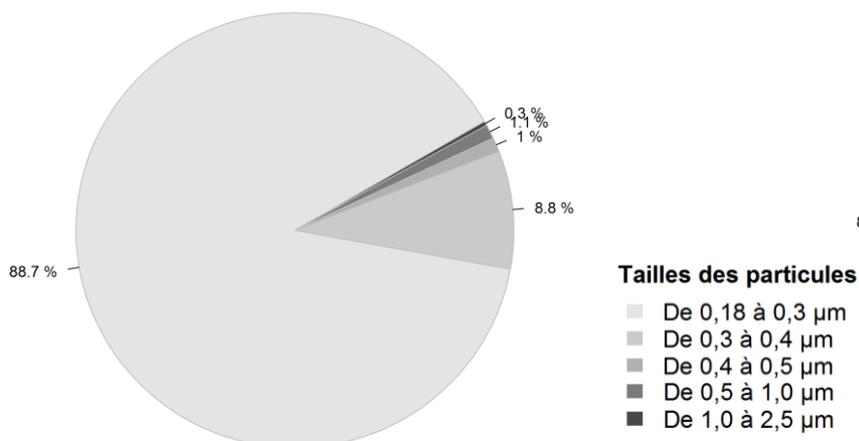
Graphes 3 : Répartition en nombre des particules dans la station de métro Esquirol (ligne A)

La répartition des tailles de particules observée sur le quai de la station de métro Esquirol est différente de celle observée dans l'air ambiant en période chaude. Ainsi, 78% des particules présentes dans le métro sont de taille comprise entre 0,18 et 0,3 µm, contre 89% dans l'air extérieur. Les plus petites particules sont ainsi moins représentées dans l'enceinte du métro au profit des particules de taille comprise entre 0,3 et 1 µm. Dans l'environnement confiné du métro, toutes les classes de

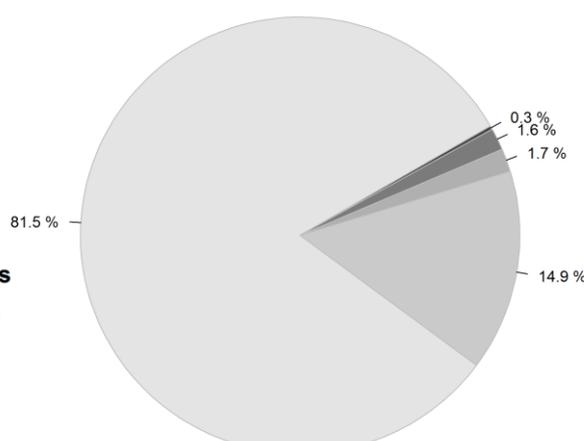
particules sont plus élevées en nombre que dans l'air extérieur exceptée les particules de taille supérieures à 15 µm.

En période froide, la répartition des tailles de particules dans le métro est beaucoup plus proche de celle rencontrée dans l'air extérieur mais le nombre de particules reste plus élevé pour toutes les classes.

Répartition en nombre des particules  
dans l'air ambiant toulousain  
- Année 2019 - Période chaude -



Répartition en nombre des particules  
dans l'air ambiant toulousain  
- Année 2019 - Période froide -

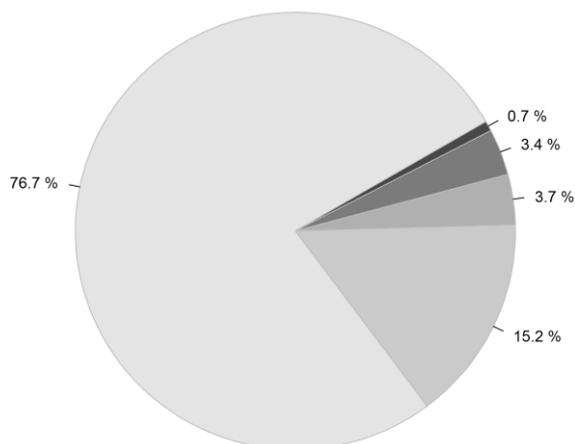


Graphes 4 : Répartition en nombre des particules dans l'air ambiant extérieur de Toulouse

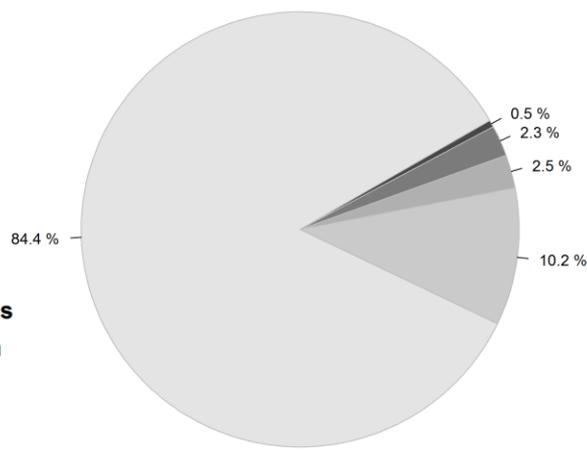
Il est à noter qu'en période chaude, la répartition des tailles de particules varie assez fortement selon l'activité dans l'enceinte du métro. Ainsi, lors du fonctionnement du métro, la part du nombre de particules de taille comprise entre 0,18 et 0,3 µm est plus faible au profit

des particules de taille comprise entre 0,3 et 0,5 µm. La nuit, la distribution des particules se rapproche de celle observée en air extérieur, mais le nombre de particules reste plus élevé.

Répartition en nombre des particules  
Station Esquirol – Année 2019  
- Période chaude ouverture du métro -



Répartition en nombre des particules  
Station Esquirol – Année 2019  
- Période chaude fermeture du métro -

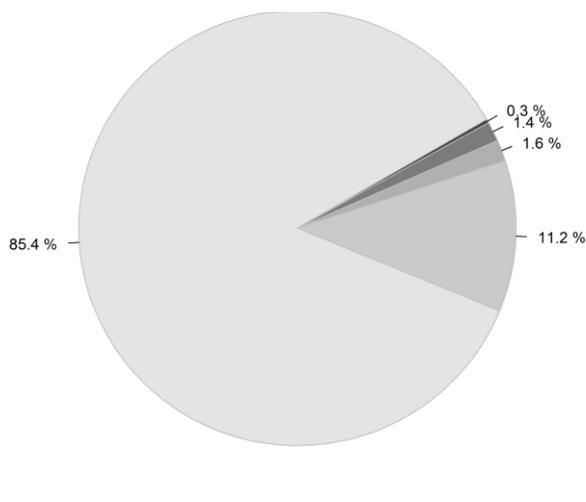


Graphes 5 : Répartition en nombre des particules dans la station de métro Esquirol en fonction du fonctionnement du métro

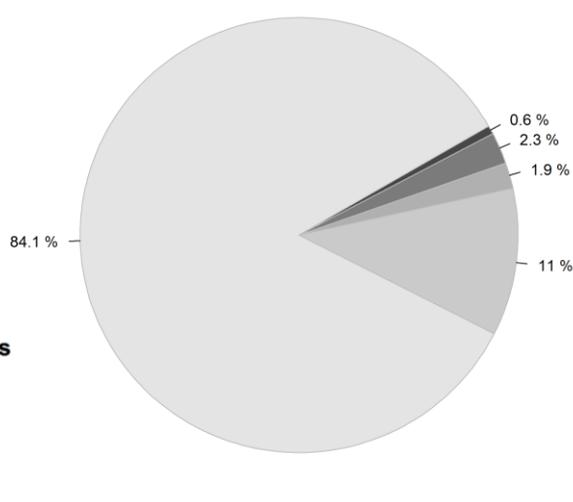
En période froide, en revanche, la répartition des tailles de particules est beaucoup plus homogène au cours de la journée et similaire à celle observée dans l'air ambiant extérieur.

Enfin, on note également que la répartition des tailles de particules observée sur le quai de la station de métro Esquirol est légèrement différente de celle observée sur le quai de la station Compans Caffarelli en 2018 avec globalement une proportion plus importante des particules plus fines.

Répartition en nombre des particules  
Station Compans Caffarelli  
- Année 2018 - Période chaude -



Répartition en nombre des particules  
Station Compans Caffarelli  
- Année 2018 - Période froide -



Graphes 6 : Répartition en nombre des particules dans la station de métro Compans Caffarelli – année 2018

### Forte contribution des plus grosses particules à la concentration massique

Comme vu ci-avant, **plus de 99%** du nombre total de particules présentes dans le métro sont de taille inférieure à 1 µm (nanoparticules) alors qu'elles ne représentent que 5 et 6% de la concentration de l'ensemble des particules.

De même, les particules de diamètre supérieur à 5 µm représentent moins de 0.025% du nombre total de

particules alors qu'elles sont prédominantes en masse. Elles représentent entre 74 et 80% de la concentration des particules sur le quai du métro en fonction de la période de mesures.

## Une répartition en taille variable en fonction de l'heure

Les figures suivantes représentent l'évolution du nombre de particules par taille et par  $\text{cm}^3$  sur une semaine moyenne pour les deux campagnes de mesures. L'axe vertical (axe des ordonnées) correspond à 6 classes de taille de particules et la couleur du graphe indique le nombre de particules (rouge : plus élevé ; bleu : plus faible).

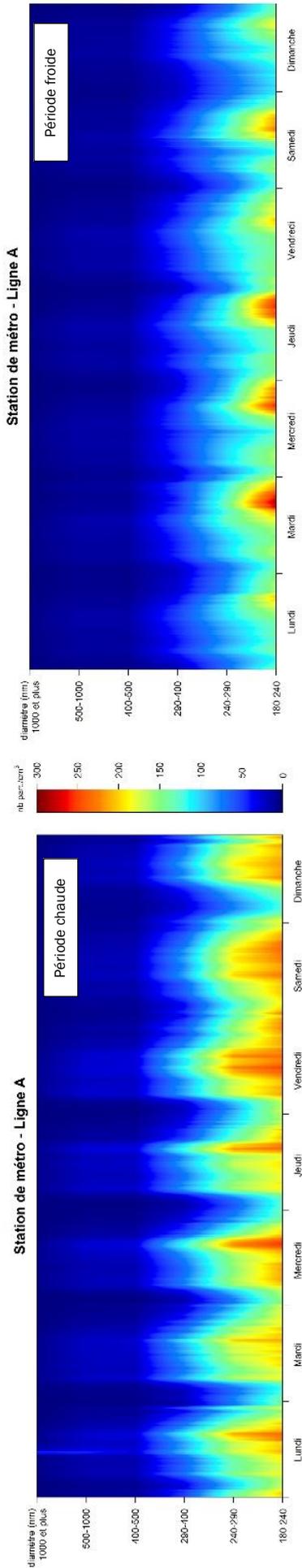
La répartition du nombre moyen de particules dans le métro est différente de celle mesurée dans l'air ambiant extérieur.

Ainsi, dans l'air extérieur, en période froide, une forte hausse des particules de cette même fraction est observée en début de nuit. Les particules entre 0,1 et 0,2  $\mu\text{m}$  sont considérées comme des traceurs de la combustion de biomasse. Les hausses observées sont ainsi sans doute dues à l'utilisation des dispositifs de chauffage. En période chaude, ces variations sont nettement plus faibles.

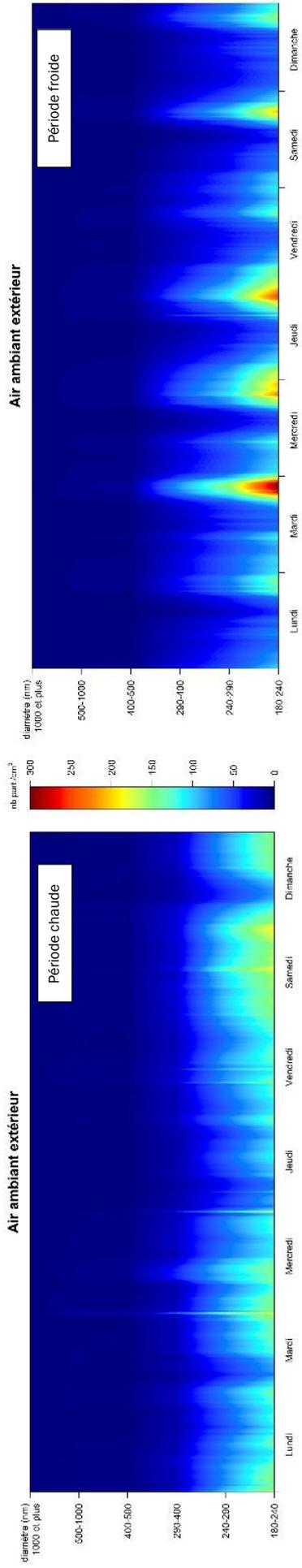
**Dans le métro, pendant sa période de fonctionnement, une forte augmentation du nombre de particules est observée :**

- En période froide dans la fraction la plus petite,
- En période chaude jusqu' à 0,4  $\mu\text{m}$ .

Le nombre de particules le plus élevé est relevé essentiellement en fin d'après-midi. Cette situation peut être due à des phénomènes de formation de particules à partir de particules plus petites ou bien à des phénomènes d'accumulation. Pour une meilleure compréhension des phénomènes observés, il serait nécessaire de réaliser des mesures complémentaires pour étudier les particules de taille inférieures à 0,18  $\mu\text{m}$ . L'étude de la formation et la croissance de particules nécessite la mesure de particules en mode nucléation c'est-à-dire de taille inférieure à 0,02  $\mu\text{m}$ .



Graphes 7 : Profil hebdomadaire du nombre de particules par  $\text{cm}^3$  en fonction de leur taille dans la station de métro Esquirol

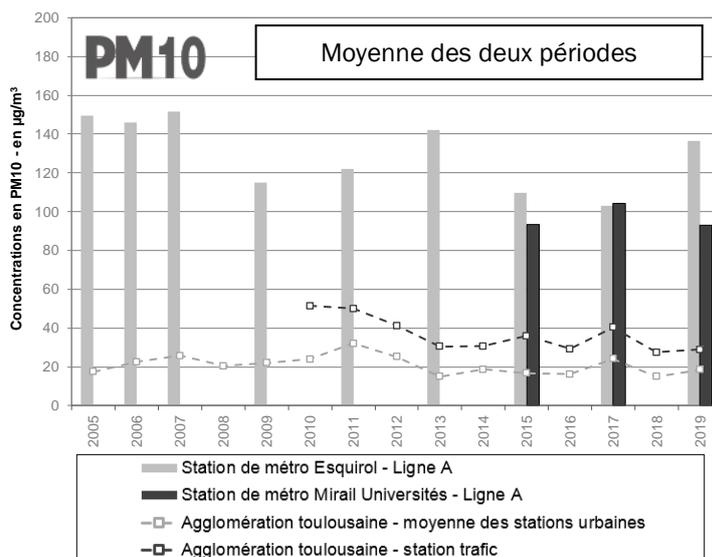


Graphes 8 : Profil hebdomadaire du nombre de particules par  $\text{cm}^3$  en fonction de leur taille en air ambiant extérieur pour une semaine moyenne

## Des concentrations en PM10 variables d'une année sur l'autre

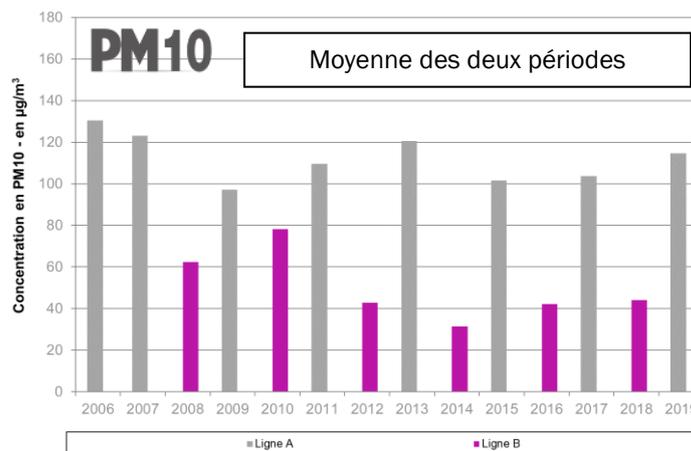
Sur les quais des deux stations de métro de la ligne A, les concentrations moyennées en particules des deux périodes de mesures de l'année 2019 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2015 et en 2017.

Depuis 2005, les niveaux moyens de particules PM10 sur les quais de la station de métro Esquirol varient d'une année sur l'autre sans montrer de réelle tendance. **En moyenne sur les deux périodes, les concentrations relevées dans l'enceinte de la ligne de métro Ligne A sont 4 à 5 fois plus élevées que celles relevées dans l'air ambiant en proximité routière pour l'année 2019.**



Graph 9 : Évolution des concentrations en **PM10** mesurées sur le quai des stations de métro **ESQUIROL** et **MIRAIL UNIVERSITÉ** en **MOYENNE SUR LES DEUX CAMPAGNES DE MESURES** depuis 2005 et comparaison avec les concentrations mesurées dans l'air ambiant.

En 2019, les niveaux mesurés en moyenne sur les quais des deux stations de la ligne A sont 2.6 fois plus élevés que ceux mesurés sur les quais des deux stations de la ligne B.

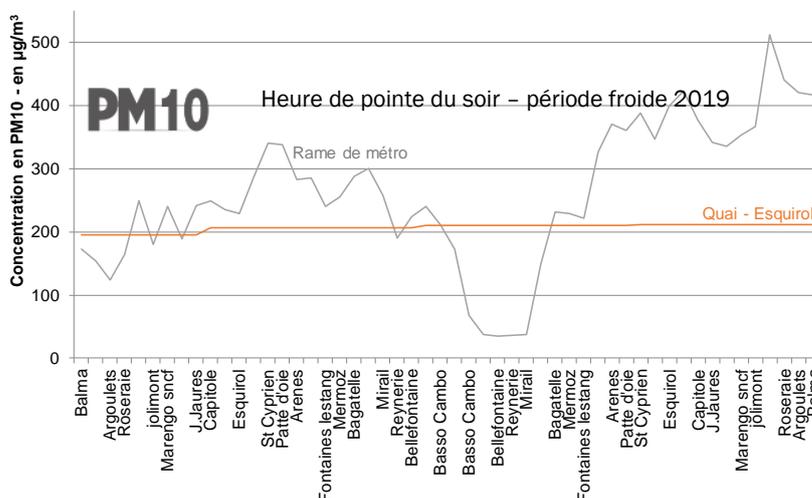


Graph 10 : Évolution des niveaux en **PM10** mesurés dans les deux lignes de métro depuis 2006.

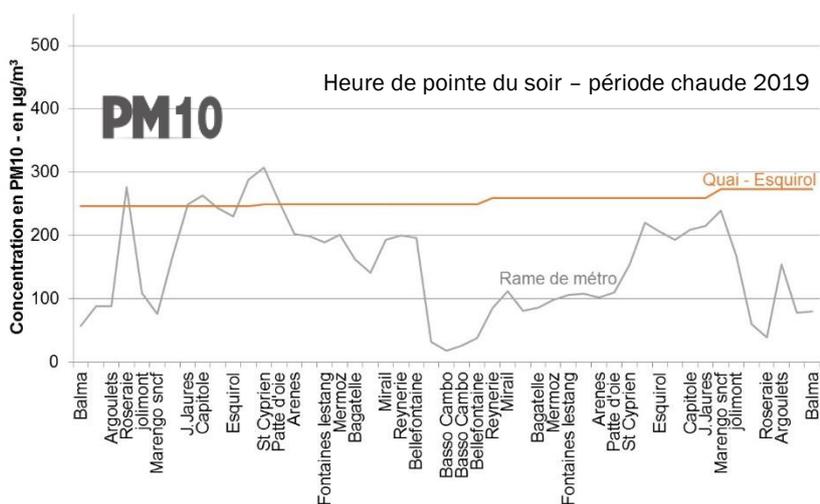
## Des niveaux de PM10 plus élevés dans les rames

Les deux graphes ci-contre et ci-dessous présentent les concentrations en PM10 mesurées dans une rame de métro sur un trajet aller-retour.

Les concentrations en particules PM10 mesurées dans les rames de métro fluctuent fortement le long de la ligne en fonction de l'heure de la journée et de la période de mesures.

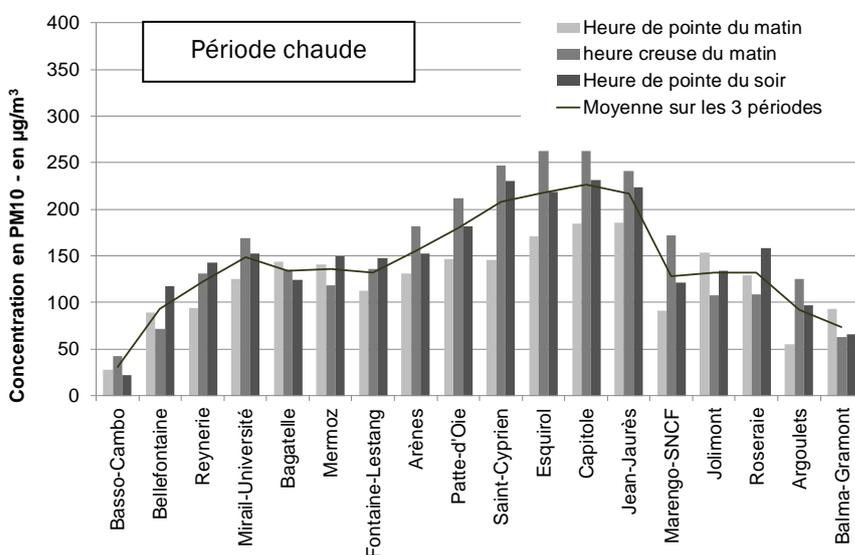


Graph 11 : Évolution des concentrations en **PM10** dans une rame de métro sur un trajet aller-retour à l'heure de pointe du soir - **PÉRIODE FROIDE**



Graphe 12 : Évolution des concentrations en **PM10** dans une rame de métro sur un trajet aller-retour à l'heure de pointe du soir - **PÉRIODE CHAUDE.**

Les niveaux de particules dans les rames de métro varient le long du parcours. En moyenne, elles sont plus faibles en bout de ligne et sont les plus fortes entre les stations Arènes et Marengo-SNCF. La fréquentation plus élevée aux heures de points ne semble pas induire de niveaux de particules plus élevées dans la rame de métro.



Graphe 13 : Évolution des concentrations en **PARTICULES PM10** dans les rames de métro pendant la **PÉRIODE CHAUDE.**

## Des concentrations moyennes du même ordre de grandeur que dans le métro parisien

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Depuis 2017, les données sont mises à disposition des particuliers, des étudiants et des chercheurs sur son site Open Data.

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en PM10 rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien lors de la réalisation des deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Les concentrations mesurées dans le métro parisien montrent une variabilité importante selon les stations. Dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain, les niveaux de particules sont du même ordre de grandeur ou légèrement plus élevés que ceux mesurés sur le réseau de la RATP.

Du 5 juin au 22 juillet 2019		Concentrations en PM10 - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	128	910
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	59	303
	Auber (RER ligne A)	Mesures interrompues suite aux travaux de rénovation de la gare	
Toulouse	Esquirol- métro ligne A	175	430
	Mirail Université - métro ligne A	104	484

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

Du 16 octobre 2019 au 07 janvier 2020		Concentrations en PM10 - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	60	722
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	34	210
	Auber (RER ligne A)	Mesures interrompues suite aux travaux de rénovation de la gare	
Toulouse	Esquirol- métro ligne A	98	268
	Mirail Université - métro ligne A	81	377

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

# NO<sub>2</sub>

## ANNEXE II : RÉSULTATS DES MESURES DE DIOXYDE D'AZOTE SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN

### LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- La valeur guide fixée sur une heure pour le dioxyde d'azote est respectée,
- La Valeur Limite d'Exposition fixée par les ambiances de travail est respectée,
- Le dioxyde d'azote est d'origine extérieur, il est introduit dans l'enceinte du métro par la ventilation naturelle ou mécanique. Les concentrations mesurées sur les quais des stations de métro sont 25% inférieures à celles mesurées en air extérieur à l'entrée des stations de métro et variables d'une station à l'autre,
- Les concentrations en NO<sub>2</sub> sont 50% plus faibles sur la ligne A que sur la ligne B,
- Entre 2011 et 2019, les concentrations en NO<sub>2</sub> ont diminué dans l'enceinte du métro, de 41% dans les salles de billet et de 47% sur les quais suivant ainsi la baisse observée en air ambiant extérieur (-42% dans l'air extérieur à l'entrée des stations de métro).
- Les concentrations moyennes sont du même ordre de grandeur que dans le métro parisien.

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

### SOURCES

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) sont émis lors des phénomènes de combustion. Le monoxyde d'azote NO s'oxyde rapidement en NO<sub>2</sub>. Leur présence dans les locaux est due à des sources externes (foyers pour l'industrie et le chauffage, trafic automobile) ou internes telles que les appareils fonctionnant au gaz (cuisinières, chaudières, chauffe-eau, poêles à pétrole) et dans une moindre mesure, les poêles à bois ou à essence et la fumée de cigarette.

Les stations de métro de l'agglomération toulousaine ne sont dotées d'aucun appareil de combustion.

En outre, le tabagisme y est interdit et cette interdiction est respectée. Il n'y a donc, dans les stations de métro en période d'activité du métro, aucune source interne de dioxyde d'azote. Ainsi, le dioxyde d'azote rencontré dans les stations de métro est le dioxyde d'azote de l'air extérieur qui pénètre dans les enceintes souterraines par ventilation naturelle et mécanique.

En revanche, du dioxyde d'azote peut être émis la nuit lors de l'utilisation des machines de travaux au diesel.

### 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 µg/m<sup>3</sup>, 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.

## Valeur guide fixée sur une heure respectée dans l'enceinte du métro

Depuis le début des mesures dans le métro toulousain, la valeur guide fixée sur 1 heure n'a jamais été atteinte.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO <sub>2</sub>		
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	OUI	200 µg/m <sup>3</sup> en maximum horaire	Sur le quai de la station de métro Esquirol : 66 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire glissante (période chaude)
		OUI		Dans les rames de métro : 95 µg/m <sup>3</sup> sur 55 minutes (période froide)

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

## Respect de la Valeur Limite d'Exposition

La Valeur Limite d'Exposition (VLE) traduit les concentrations maximales auxquelles peut être exposée une personne à une substance chimique dans l'atmosphère sur une durée de 15 minutes. Ces valeurs sont destinées à protéger les personnes sur les effets toxiques à court terme ou immédiat.

Le dioxyde d'azote étant issu de l'environnement extérieur, les concentrations maximales quart-horaires rencontrées dans les locaux techniques sont sans doute du même ordre de grandeur que celles rencontrées sur le quai de la station de métro Esquirol et donc nettement inférieures à la VLE fixée.

		Dioxyde d'azote - NO <sub>2</sub>		
		Respect de la VLE	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'Exposition (VLE)	OUI	6 000 µg/m <sup>3</sup> sur 15 minutes	Maximum sur 15 minutes : Quai de la station de métro Esquirol : 98 µg/m <sup>3</sup> (période froide)
				Maximum sur 25 minutes : Rames de métro : 101 µg/m <sup>3</sup> (période froide)

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

## Le dioxyde d'azote, un polluant en provenance de l'extérieur

En l'absence de toute source interne, le dioxyde d'azote rencontré dans les stations de métro provient de l'air extérieur qui pénètre dans le métro par ventilation naturelle et mécanique.

Des mesures ont été réalisées dans l'ensemble des stations de métro, dans les salles de billets et sur les quais ainsi que dans l'air ambiant pendant les deux périodes de mesures. Dans les tableaux ci-dessous, nous résumons les concentrations obtenues sous forme de statistiques pendant les deux campagnes de mesures pour les 18 stations de métro de la ligne A ainsi que pour les stations fixes toulousaines.

**Pour les deux périodes de mesure, les concentrations en NO<sub>2</sub> rencontrées sur le quai des stations de métro sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en fond urbain dans l'air extérieur. Elles sont inférieures à celles observées en proximité trafic.**

**Pour les deux campagnes de mesures, les concentrations en dioxyde d'azote tendent à décroître avec la profondeur.** Ainsi, les concentrations en NO<sub>2</sub> rencontrées dans les salles de billet sont plus élevées que celles mesurées sur les quais.

Campagne période froide Du 24/10 au 07/11/2019	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en NO <sub>2</sub> - en µg/m <sup>3</sup>		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	17	10	23	33
Salles de billets	16	16	20	30
Quais	17	10	16	26

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en NO <sub>2</sub> - en µg/m <sup>3</sup>
Stations urbaines toulousaines	21
Station trafic boulevard toulousain	38

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

Campagne période chaude Du 20/06 au 04/07/2019	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en NO <sub>2</sub> - en µg/m <sup>3</sup>		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	18	9	17	31
Salles de billets	18	8	13	21
Quais	17	5	9	16

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en NO <sub>2</sub> - en µg/m <sup>3</sup>
Stations urbaines toulousaines	11
Station trafic boulevard toulousain	36

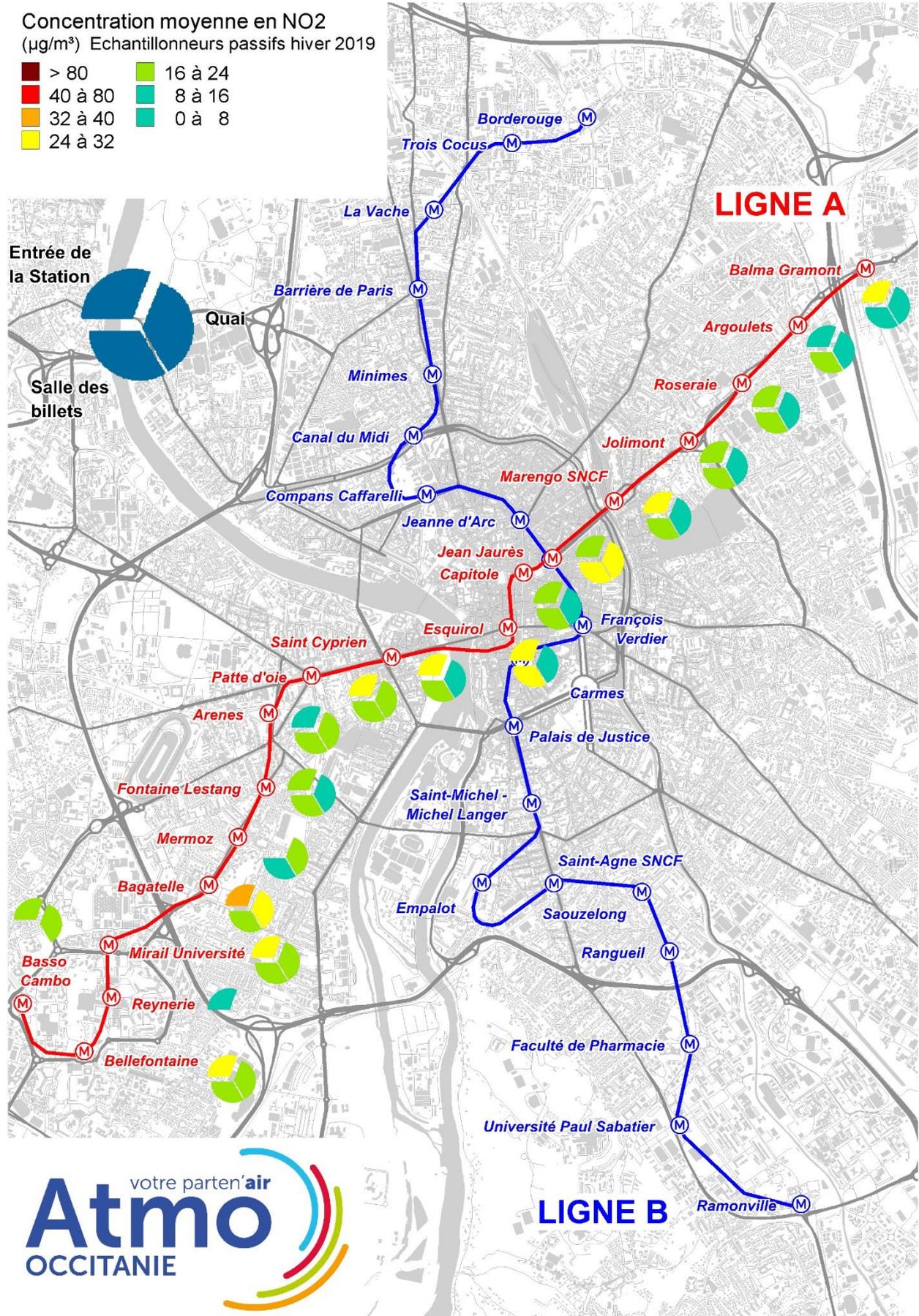
µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

Cette campagne confirme les observations faites lors des campagnes de mesures précédentes :

- Les teneurs élevées en dioxyde d'azote sont mesurées sur les stations de métro situées dans le centre ville de Toulouse et/ou à proximité des boulevards toulousains. Cette constatation est également valable pour les teneurs en NO<sub>2</sub> enregistrées sur les stations fixes du réseau de mesures. L'air du métro provenant de

l'extérieur, il est cohérent d'observer les maxima sur les stations de métro du centre ville.

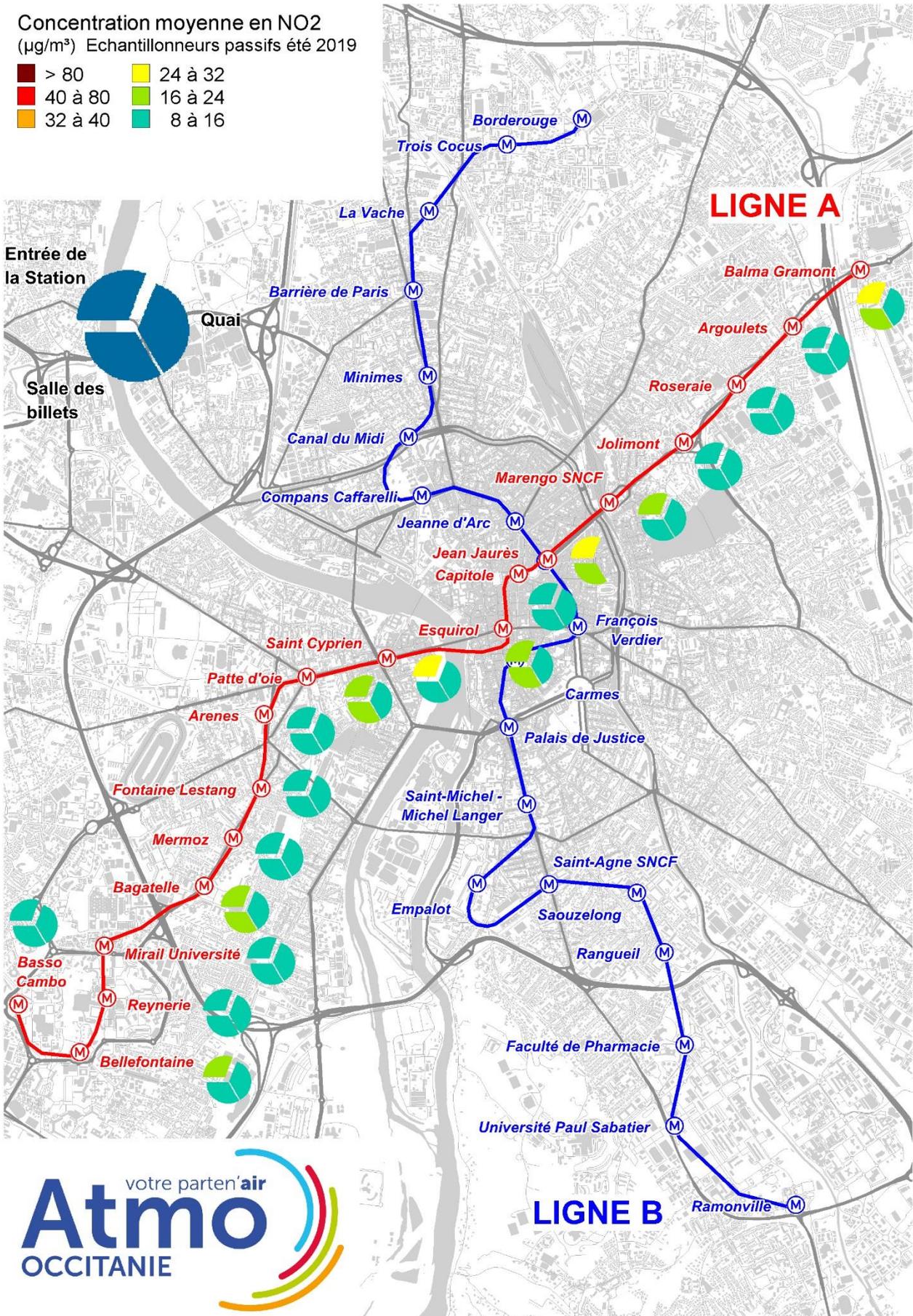
- La répartition du dioxyde d'azote dans les stations de métro est certainement liée à la densité du trafic automobile aux abords des stations ainsi qu'à la position des prises d'air pour leur ventilation et la profondeur de l'environnement étudié.



Carte 1 : Concentrations moyennes en **DIOXYDE D'AZOTE** dans les stations de métro et dans leur environnement extérieur pendant la **PÉRIODE FROIDE**.

Concentration moyenne en NO<sub>2</sub>  
(µg/m<sup>3</sup>) Echantillonneurs passifs été 2019

■ > 80	■ 24 à 32
■ 40 à 80	■ 16 à 24
■ 32 à 40	■ 8 à 16

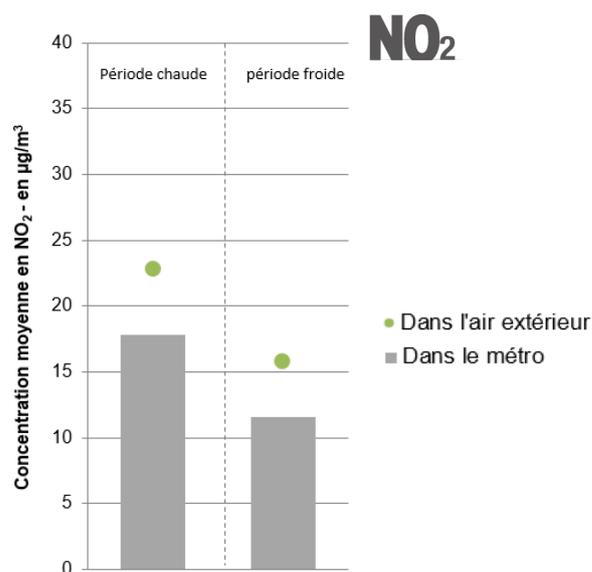


Carte 2 : Concentrations moyennes en DIOXYDE D'AZOTE dans les stations de métro et dans leur environnement extérieur pendant la PÉRIODE CHAUDE.

## Dans l'enceinte de la ligne A, des concentrations inférieures ...

...A CELLES MESUREES A L'EXTERIEUR DEVANT L'ENTREE DES STATIONS DE METRO

Les concentrations en dioxyde d'azote observées dans l'enceinte de la ligne A du métro de Toulouse sont, en moyenne, 22% en période froide et 27% en période chaude plus faibles que celles relevées en air extérieur à l'entrée des stations de métro.

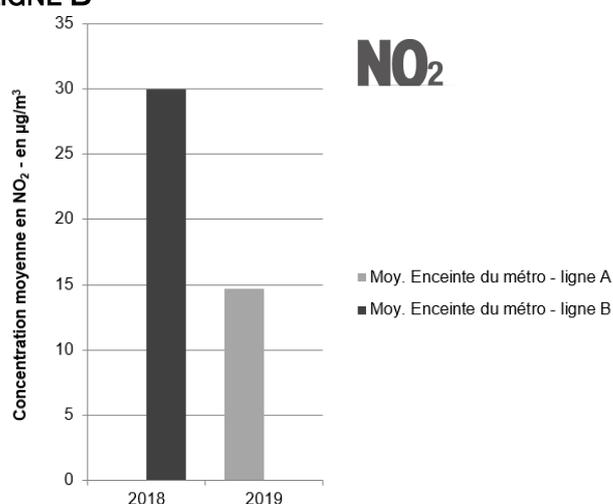


Graphe 14 : Concentrations moyennes en DIOXYDE D'AZOTE sur les deux périodes mesurées sur la LIGNE A et comparaison avec les concentrations en 'air ambiant extérieur'.

...A CELLES MESUREES DANS L'ENCEINTE DE LA LIGNE B

Le même suivi réalisé en 2018 dans l'enceinte de la ligne B du métro avait mis en évidence des concentrations 2 fois plus élevées que les niveaux mesurés dans la ligne A.

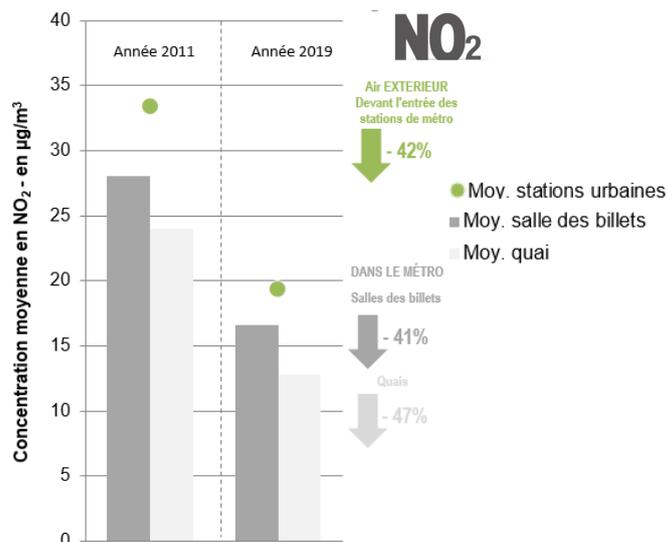
Le tracé de la ligne B suit, sur une large portion, les boulevards toulousains. Le dioxyde d'azote présent dans le métro étant d'origine extérieure, la proximité de voies de circulation fréquentées associées à un débit de ventilation des tunnels plus important sur la ligne B induit des teneurs en NO<sub>2</sub> plus élevées par rapport à la ligne A.



Graphe 15 : Comparaison des concentrations en DIOXYDE D'AZOTE mesurées sur les deux lignes du métro toulousain.

## Forte baisse des concentrations en NO<sub>2</sub> dans le métro en lien avec la diminution des concentrations en air extérieur

Entre 2011 et 2019, les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> pendant les campagnes de mesure ont diminué de 42% dans l'air extérieur à l'entrée des stations de métro. Dans l'enceinte du métro – ligne A, les concentrations ont suivi cette tendance à la baisse. Ainsi, les concentrations moyennes dans les salles de billet ont réduit de 41% entre 2011 et 2019 tandis que les concentrations moyennes sur les quais ont diminué de 47%.

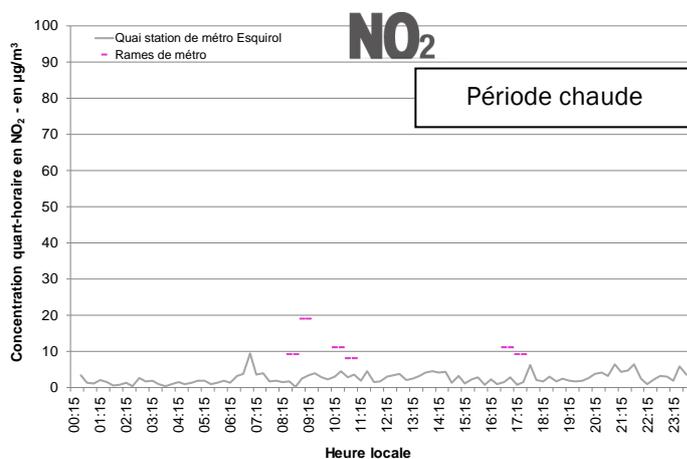
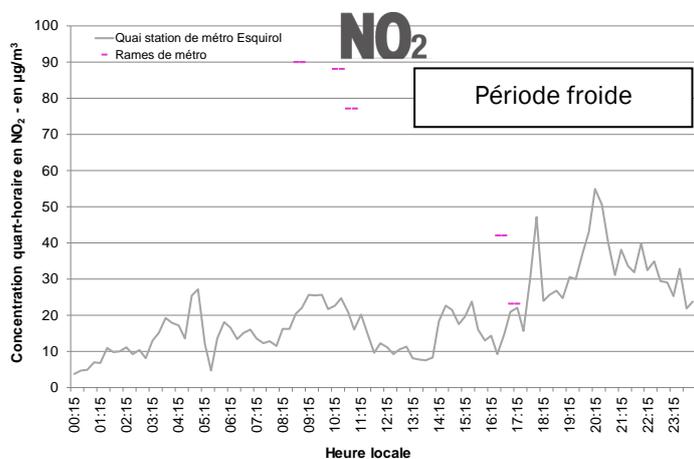


Graph 16 : Évolution des concentrations en DIOXYDE D'AZOTE rencontrées dans les STATIONS DE MÉTRO entre 2011 et 2019.

## Des concentrations plus élevées dans les rames de métro

En période froide comme en période chaude, les concentrations en NO<sub>2</sub> rencontrées dans les rames de

métro sont plus élevées que celles relevées dans la station de métro Esquirol.



Graphes 17 : Comparaison des concentrations en DIOXYDE D'AZOTE rencontrées dans les RAMES DE MÉTRO avec celles mesurées sur le quai de la station de métro ESQUIROL.

## Des concentrations moyennes du même ordre de grandeur que dans le métro parisien

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Depuis 2017, les données sont mises à disposition des particuliers, des étudiants et des chercheurs sur son site Open Data.

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en NO<sub>2</sub> rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien pour les deux campagnes de mesures dans le métro toulousain. Pour les deux périodes de mesures, les teneurs moyennes en NO<sub>2</sub> rencontrées sur les quais de

la station de métro toulousaine Esquirol sont, en moyenne et en maximum horaire, inférieures à celles relevées dans le réseau francilien.

Dans les environnements souterrains parisiens et toulousains, pendant le service voyageur, aucune source de NO<sub>2</sub> n'est imputable à l'activité métro. Le NO<sub>2</sub> présent est issu de l'environnement extérieur. **Les variations de concentration entre les deux réseaux de métro sont imputables aux niveaux de NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant extérieur et à la ventilation des stations de métro.**

Du 5 juin au 22 juillet 2019		Concentrations en NO <sub>2</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	31	84
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	42	90
	Auber (RER ligne A)	Mesures interrompues suite aux travaux de rénovation de la gare	
Toulouse	Esquirol - métro ligne A	7	66

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

Du 16 octobre 2019 au 07 janvier 2020		Concentrations en NO <sub>2</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	36	72
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	45	81
	Auber (RER ligne A)	Mesures interrompues suite aux travaux de rénovation de la gare	
Toulouse	Esquirol - métro ligne A	15	57

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube



## ANNEXE III : RÉSULTATS DES MESURES DE BENZÈNE SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN

### LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect de la valeur guide en vigueur en 2019.
- Respect de la Valeur de Moyenne Exposition fixée pour les ambiances de travail.
- Le benzène provient majoritairement de l'extérieur mais des sources internes peuvent ponctuellement engendrer une hausse des concentrations. Les concentrations mesurées sur les quais des stations de métro sont similaires à celles mesurées en air extérieur à l'entrée des stations de métro
- Les concentrations en benzène sont similaires sur les lignes A et B,
- Entre 2011 et 2019, les concentrations en benzène ont diminué de 37%.dans l'enceinte du métro suivant ainsi la baisse observée en air ambiant extérieur (-18% dans l'air extérieur à l'entrée des stations de métro).

## LE BENZÈNE : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

### SOURCES

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques et le tabagisme mais on ne peut exclure, dans certaines situations, une contribution des produits de construction, de décoration, d'ameublement ainsi que d'entretien ou de bricolage (diluants, solvants...). La contamination de l'air extérieur résulte, quant à elle, des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

Le benzène présent dans les stations de métro provient pour beaucoup de sources extérieures (circulation automobile), et est introduit dans le métro par la ventilation. Il y a probablement dans l'enceinte du métro d'autres sources internes de benzène telles que les produits d'entretien et/ou de maintenance qui s'ajoutent au benzène en provenance de l'extérieur.

### EFFETS SUR LA SANTE

Le benzène est un hydrocarbure aromatique monocyclique dont les propriétés cancérigènes sont connues depuis longtemps. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le benzène cancérigène certain pour l'homme (groupe 1) sur la base d'excès de leucémies observés lors d'expositions professionnelles. Ce composé est également classé cancérigène de catégorie 1 par l'Union européenne et par l'Agence américaine de l'environnement (US-EPA). A ce titre, il est soumis à d'importantes restrictions d'usage.

## La valeur guide de la qualité de l'air respectée pour les deux stations de métro étudiées

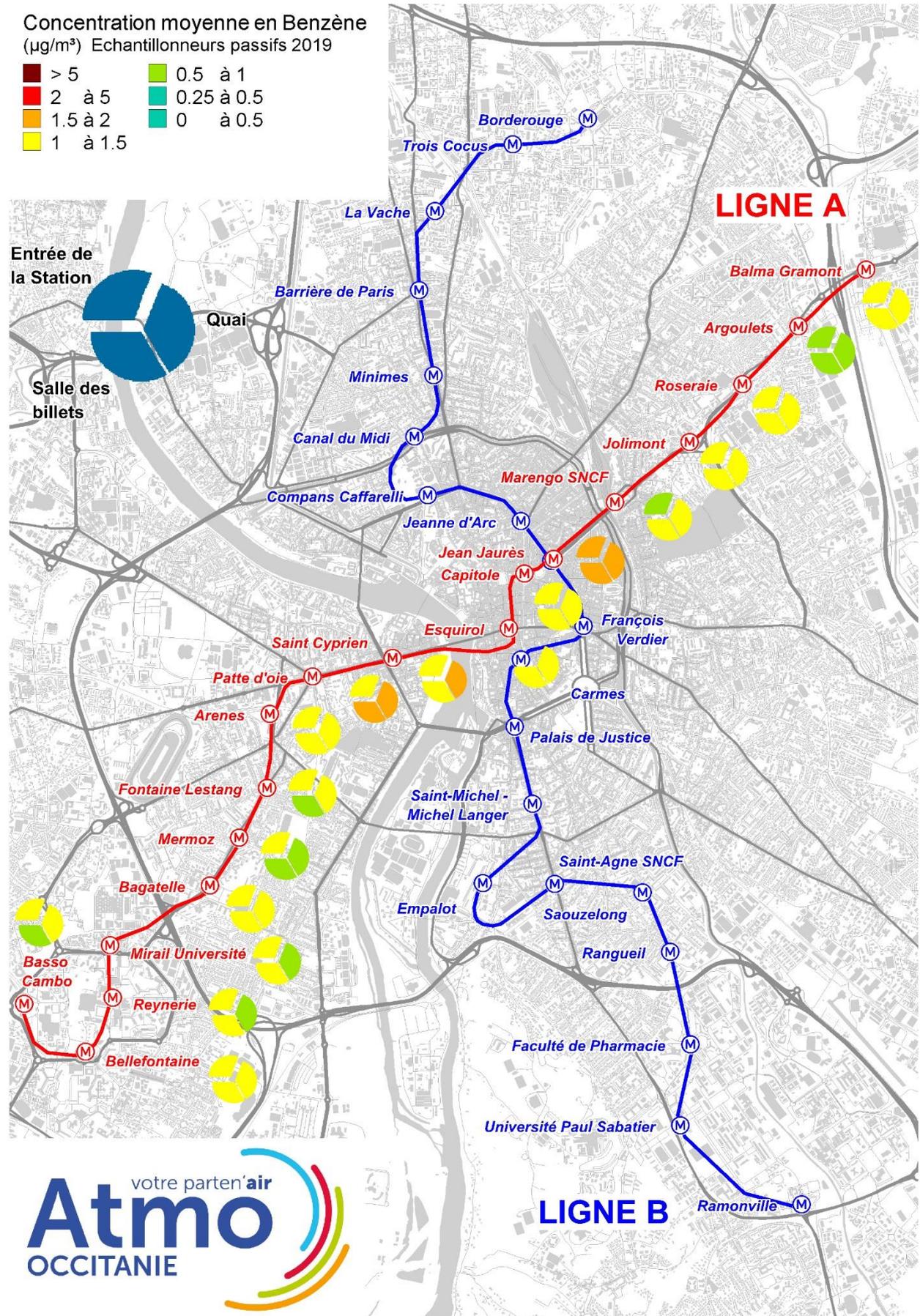
En moyenne sur les deux périodes de mesures, les niveaux de benzène mesurés dans le métro respectent la valeur guide de la qualité de l'air intérieur en vigueur en 2019.

Cette réglementation est fixée pour une année d'exposition or, les usagers du métro toulousain sont présents dans l'enceinte du métro pendant un laps de temps assez court estimé à 1 heure maximum par jour.

		BENZÈNE		
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période
Exposition de longue durée	<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>			
	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	OUI	2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	Moyenne maximale sur les deux périodes de mesures : Patte d'Oie : 1,7 µg/m <sup>3</sup>

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

Les concentrations en benzène mesurées sont assez homogènes dans l'enceinte de la ligne A de métro et entre les deux périodes de mesures.



Carte 3 : Concentrations moyennes en **BENZÈNE** dans les stations de métro et dans leur environnement extérieur en moyenne sur les **DEUX PÉRIODES**

## Respect de la Valeur de Moyenne Exposition

Les mesures en moyenne sur 15 jours ou sur 1h20 dans les rames ne sont pas comparables à la réglementation du travail. Cependant, aux vues des teneurs maximales en benzène rencontrées dans le

métro nous pouvons considérer que les teneurs maximales quart-horaires dans les locaux techniques auraient été nettement inférieures aux valeurs fixées par le code du travail.

		Benzène		
		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de longue durée	<p><b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b></p> <p><b>Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)</b></p>	OUI	3 250 µg/m <sup>3</sup> sur 8 heures	<p><b>Maximum sur 1 heure et 20 minutes :</b>                      Rames de métro : 3.0 µg/m<sup>3</sup>                      Quai de la station de métro Esquirol : 3.8 µg/m<sup>3</sup></p>
				<p><b>Maximum sur 15 jours :</b>                      Salle des billets de la station de métro Jean Jaurès : 2.3 µg/m<sup>3</sup>                      Quai de la station de métro Jean Jaurès : 1,9 µg/m<sup>3</sup></p>

µg/m<sup>3</sup> : microgramme par mètre cube

## Le benzène majoritairement en provenance de l'extérieur, mais de possibles sources ponctuelles internes

Dans l'air extérieur, le benzène est rejeté lors de la combustion de combustibles pétroliers comme les fiouls et l'essence ou par simple évaporation sous l'effet de la chaleur (réservoirs automobiles). Il est donc principalement émis par le transport routier et les chauffages résidentiel/tertiaire.

Étant principalement émis par la circulation routière, les concentrations en benzène les plus élevées sont mesurées dans le centre-ville. Introduit majoritairement par la ventilation, les concentrations maximales en benzène sont également mesurées dans les stations de métro du centre ville.

Pour les deux périodes de mesures, les concentrations mesurées dans l'enceinte du métro sont du même ordre

de grandeur ou légèrement supérieures à celles mesurées dans l'environnement extérieur.

Il y a dans l'enceinte du métro des sources internes de benzène sans doute dues aux produits utilisés (entretien et/ou maintenance) qui s'ajoutent au benzène en provenance de l'extérieur. L'hypothèse émise pour expliquer ces **concentrations en benzène plus élevées dans le métro qu'à l'extérieur est la présence de benzène dans les produits nettoyants utilisés dans le métro. L'étude réalisée en 2012 sur la composition des produits d'entretien utilisés dans le métro a confirmé la présence de Composés Organiques Volatils dans leur composition chimique.**

Campagne période froide Du 24/10 au 07/11/2019	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	15	0.9	1.1	1.5
Salles de billets	16	1.0	1.3	2.3
Quais	15	1.0	1.4	1.9

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Station de fond toulousaine	0.7
Station trafic périphérique toulousain	1.0

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

Campagne période chaude Du 20/06 au 04/07/2019	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	13	0.7	1.3	1.9
Salles de billets	16	0.7	1.1	1.8
Quais	16	0.8	1.0	1.7

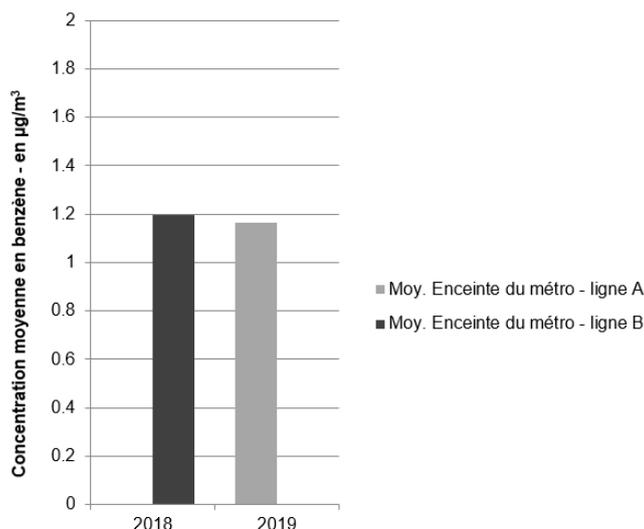
$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyennes en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Station de fond toulousaine	0.5
Station trafic périphérique toulousain	1.1

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

## Des niveaux similaires dans les deux lignes de métro

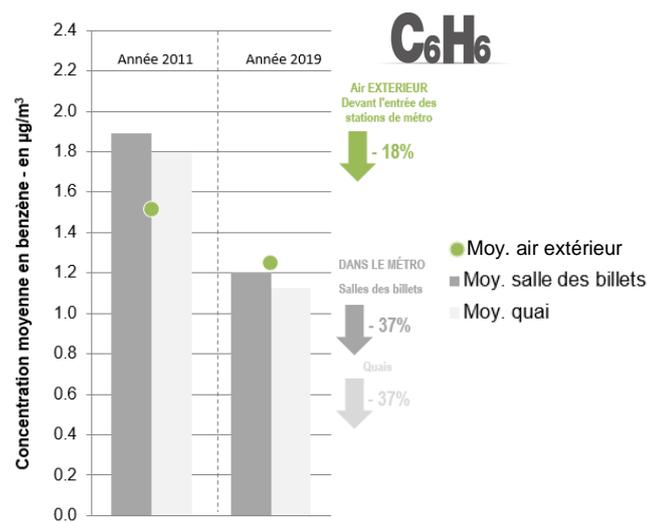
Le même suivi réalisé en 2018 sur la ligne B de métro avait mis en évidence des concentrations en benzène similaires à celles mesurées dans la ligne A.



Graphe 18 : Comparaison des concentrations en **BENZÈNE** mesurées sur les deux lignes du métro toulousain.

## Des niveaux en baisse en 2019 dans l'enceinte du métro comme dans l'air extérieur

Entre 2011 et 2019, les concentrations moyennes en benzène ont diminué de 18% en air extérieur au niveau de l'entrée des stations de métro – ligne A. Dans l'enceinte du métro – ligne A, les concentrations ont suivi cette tendance à la baisse. Elle est cependant plus forte. Ainsi, les concentrations moyennes dans les salles de billet et sur les quais ont réduit de 37% entre 2011 et 2019.



Graphe 19 : Évolution des concentrations en **BENZÈNE** rencontrées dans les **STATIONS DE MÉTRO** entre 2011 et 2019.

## Des concentrations dans les rames similaires à celles sur le quai

Pour les deux campagnes de mesures, les concentrations en benzène enregistrées dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que

celles relevées sur le quai de la station de métro Esquirol pendant la même période de prélèvement.

		Concentrations en benzène sur une heure - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période chaude	Rames	2.2	1.8	3.0
	Quai de la station de métro Esquirol	2.1	2.1	1.6
Période froide	Rames	2.4	2.9	2.2
	Quai de la station de métro Esquirol	3.8	2.4	2.5

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

# CONFINEMENT

## ANNEXE IV : RÉSULTATS DES MESURES DU NIVEAU DE CONFINEMENT SUR LA LIGNE A DU MÉTRO TOULOUSAIN

### LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- ➔ Respect de la recommandation du règlement sanitaire départemental dans les deux stations de métro.
- ➔ Un niveau de confinement globalement satisfaisant dans les stations de métro.
- ➔ Des dépassements ponctuels de la recommandation du règlement sanitaire départemental dans les rames sur une minute, notamment aux heures de pointe.

## LE NIVEAU DE CONFINEMENT : DEFINITION ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

### DEFINITION

Le dioxyde de carbone, est un composé chimique de formule CO<sub>2</sub>. Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante. Le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre bien connu, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine infrarouge, de sorte qu'il tend à bloquer la réémission de l'énergie thermique reçue du soleil.

Dans l'environnement extérieur, les concentrations en CO<sub>2</sub> sont relativement stables et avoisinent les 400 ppm. En air intérieur, son suivi est intéressant car il s'agit d'un très bon indicateur de l'efficacité de ventilation d'un bâtiment et de son niveau de confinement.

En effet, à l'intérieur et en l'absence de sources de combustions, ce sont essentiellement les rejets de gaz carbonique par les occupants lorsqu'ils respirent qui sont à l'origine de l'augmentation des niveaux de CO<sub>2</sub>. Le gaz carbonique est donc un indicateur du taux de renouvellement d'air pour l'air intérieur. Ainsi, dans un local mal ventilé, le CO<sub>2</sub> émis voit sa concentration augmenter rapidement.

La recommandation du règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser 1000 ppm dans les locaux, avec une tolérance de 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer.

"Art. 64.-Ventilation mécanique ou naturelle des conduits" du règlement sanitaire départemental "(...) Dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone ne doit pas dépasser 1 p.1000 avec tolérance de 1,3 p.1000 dans les locaux où il est interdit de fumer."

### EFFETS SUR LA SANTE

L'analyse des études épidémiologiques et toxicologiques disponibles a conduit à identifier plusieurs impacts sanitaires liés au confinement :

- Dans les écoles, une augmentation de la fréquence de symptômes liés à l'asthme chez l'enfant peut être associée à des concentrations de CO<sub>2</sub> supérieures à 1000 ppm en moyenne sur une journée d'école,
- Dans les bureaux, une augmentation de la fréquence de symptômes du syndrome des bâtiments malsains (ou SBS) peut être associée à des concentrations de CO<sub>2</sub> supérieures à 850 ppm en moyenne sur une journée de travail.

Concernant les effets intrinsèques du CO<sub>2</sub>, il est observé qu'une récente étude expérimentale sur 22 sujets humains adultes suggère un effet propre du CO<sub>2</sub> sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) à partir de 1000 ppm.

## Recommandation du règlement sanitaire départemental respectée

<b>CONFINEMENT</b>		NIVEAU DE CONFINEMENT		
		Respect de la valeur de référence	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	Recommandation du règlement sanitaire départemental	OUI	1300 ppm	Niveau maximal sur 10 minutes : Esquirol : 927 ppm (période chaude) Mirail Université : 910 ppm (période froide)

ppm : partie par million.

### Un niveau de confinement satisfaisant dans le métro

Sur l'ensemble des mesures réalisées en 2019, les niveaux de CO<sub>2</sub> ont respectivement culminé à 927 ppm pour la station de métro Esquirol et 910 ppm pour la station de métro Mirail Université. Les niveaux atteints sont donc inférieurs au seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs.

Ces niveaux de dioxyde de carbone indiquent un niveau de confinement faible dans les deux stations de métro

instrumentées. Le système de ventilation dont sont équipées les stations de métro et les tunnels permet de maintenir le CO<sub>2</sub> à des niveaux satisfaisants.

En dehors des heures de fonctionnement du métro, les concentrations sont restées proches du niveau de fond extérieur.

### Un confinement plus important dans les rames

Lors des mesures de CO<sub>2</sub> dans les rames de métro, les niveaux ont été légèrement supérieurs à ceux mesurés sur les quais pour les deux périodes de mesures.

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes a été de 1 260 ppm pendant la période froide et de 1020 ppm pendant la période chaude.

Sur un pas de temps d'une minute, les variations des concentrations en CO<sub>2</sub> dans les rames de métro sont très importantes. Le maximum rencontré a été de 1 693 ppm pendant la période froide. Les niveaux de CO<sub>2</sub> dans les rames de métro peuvent donc dépasser ponctuellement le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs, notamment aux heures de pointe quand les rames sont bondées.

**Il est à noter que l'ouverture des portes palières ne permet pas un renouvellement de l'air important et donc la diminution des niveaux de CO<sub>2</sub> dans les rames de métro.**

## ANNEXE V : ÉTUDE DE FAISABILITE DE LA MESURE DE PM10 / PM2,5 / PM1 DANS LE METRO AVEC UN UNIQUE APPAREIL DE MESURES

Dans le cadre du plan de surveillance 2019 de la qualité de l'air dans le métro toulousain, Atmo Occitanie a mené une étude de faisabilité de la mesure conjointe et automatique des PM10 / PM2,5 / PM1 dans le métro avec un unique appareil de mesures, le FIDAS, avec obtention de résultats comparables à ceux obtenus à

partir des analyseurs utilisés historiquement pour la mesure de la qualité de l'air dans le métro.

Le dispositif de mesures et le principe de fonctionnement du FIDAS sont décrits en annexe VI.

### Sousestimation des concentrations en particules par le FIDAS pour les deux périodes de mesures

Pour les deux périodes de mesures, les concentrations moyennes sur la période ainsi que les concentrations maximales mesurées par l'analyseur optique FIDAS sont

largement sous-estimées quelle que soit la taille des particules en comparaison de celles mesurées par l'analyseur gravimétrique TEOM.

		Période froide – en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Période chaude – en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Concentration moyenne sur la période	Concentration maximale horaire <sup>1</sup>	Concentration moyenne sur la période	Concentration maximale horaire <sup>1</sup>
PM10	TEOM	98	267	176	429
	FIDAS	34	143	45	92
PM2,5	TEOM	45	105	109	485
	FIDAS	15	26	30	115
PM1	TEOM	19	41	20	46
	FIDAS	13	27	14	31

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

<sup>1</sup> : Concentration maximale horaire mesurée par le TEOM et concentration relevée à la même heure par le FIDAS.

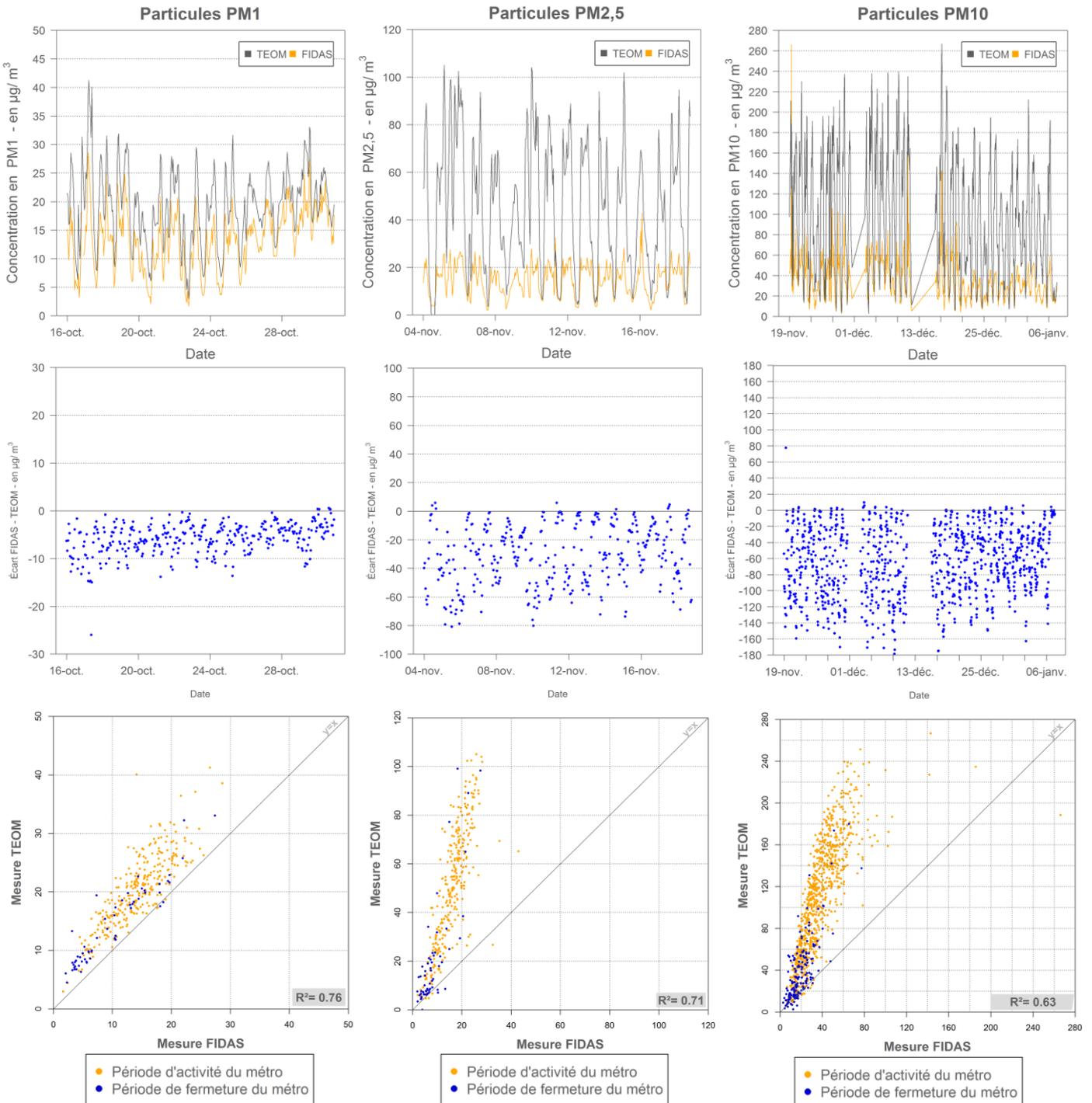
## Sousestimation des concentrations massiques fournies par le FIDAS

La comparaison des concentrations massiques horaires fournies par le FIDAS avec celles équivalentes à la méthode de référence mettent en évidence une adéquation plus ou moins forte avec les mesures par TEOM en fonction de la fraction choisie et de la période de mesures.

### En période froide

Pour les PM1, les concentrations calculées par le FIDAS reproduisent les concentrations mesurées avec une sous-estimation moyenne assez homogène dans toute la gamme des concentrations de près de 4 µg/m<sup>3</sup> du FIDAS.

Pour les PM2,5 et les PM10, toutes les concentrations calculées par le FIDAS sont nettement sous-estimées. Cette sous-estimation est faible pour les plus petites concentrations mesurées. Plus les concentrations augmentent, plus la sous-estimation du FIDAS est forte.

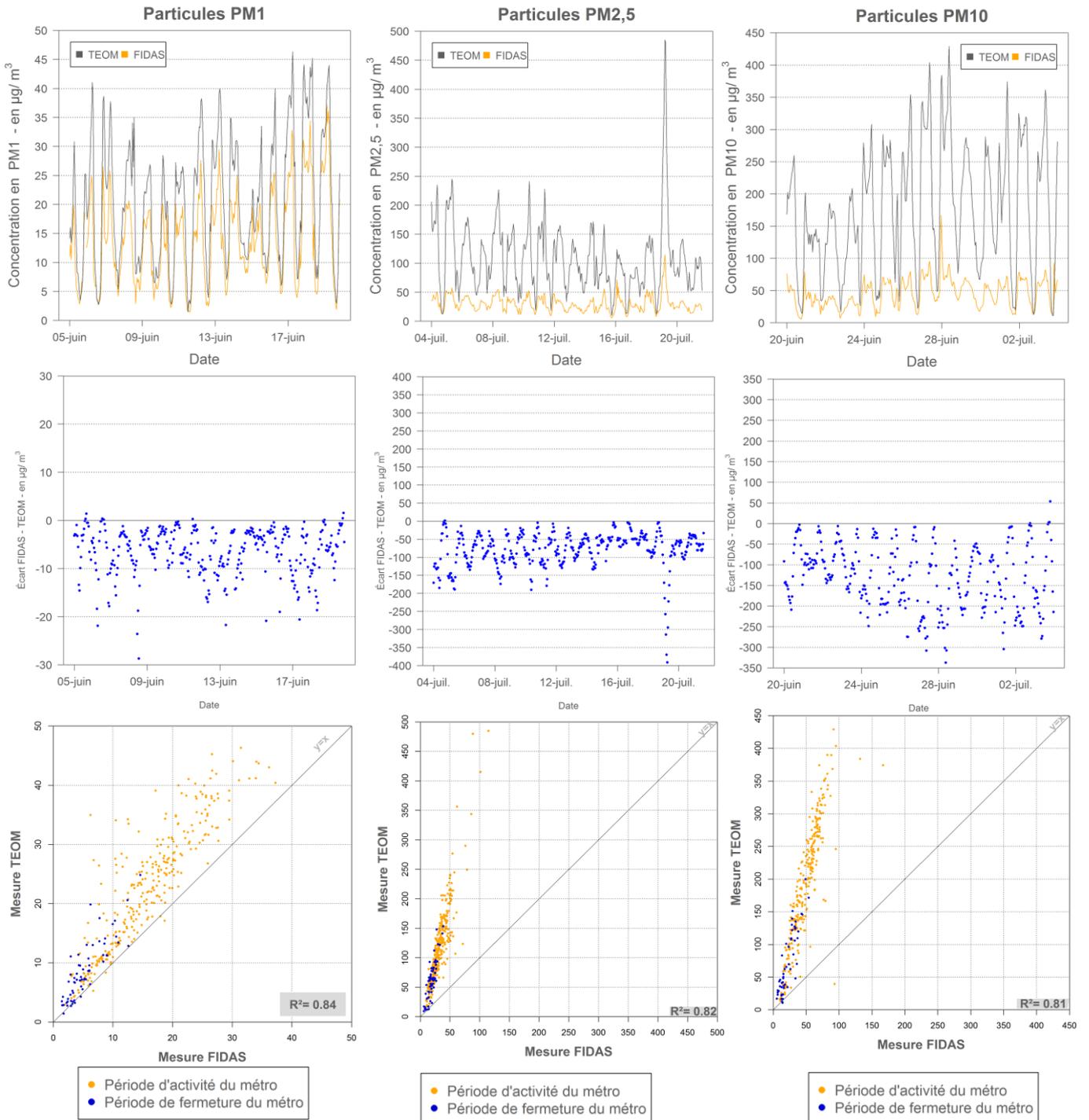


Graphes 20 : Comparaison des mesures horaires du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM - période froide 2019

**En période chaude**

Pour les trois tailles de particules étudiées, toutes les concentrations calculées par le FIDAS sont sous-estimées. Cette sous-estimation est faible pour les concentrations les plus faibles. Plus les concentrations augmentent, plus la sous-estimation du FIDAS est forte. On note que la dispersion des concentrations est

nettement plus faible en période chaude qu'en période froide. Cela semble indiquer une modification de fonctionnement de l'activité du métro entre les deux périodes de mesures, sans doute en lien avec la ventilation.



Graphes 21 : Comparaison des mesures horaires du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM - période chaude 2019

L'activité du métro induit l'émission dans l'air de grosses et lourdes particules principalement d'origine métallique. Elles sont à l'origine des concentrations élevées mesurées par l'analyseur gravimétrique TEOM. C'est lorsque ces particules sont les plus nombreuses que les concentrations estimées par analyseur optique FIDAS sont les plus sous évaluées.

## Tests de correction des concentrations fournies par le FIDAS

La comparaison des mesures faites avec les deux appareils montrent un comportement différent selon la période étudiée sans doute en lien avec le fonctionnement de la ventilation. L'étude de la faisabilité d'améliorer, à l'aide de méthodes mathématiques, les concentrations fournies par le FIDAS a donc été réalisée sur chaque période de mesures.

### Redressement des concentrations à l'aide de la droite de régression

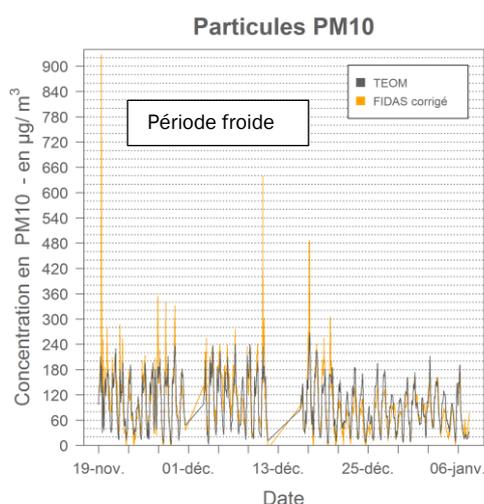
Le redressement à l'aide de la droite de régression améliore nettement les concentrations calculées par le FIDAS pour les deux périodes de mesures et les trois tailles de particules étudiées.

Deux méthodes de redressement ont été étudiées afin de déterminer si la correction des concentrations fournies par le FIDAS pourrait améliorer les résultats :

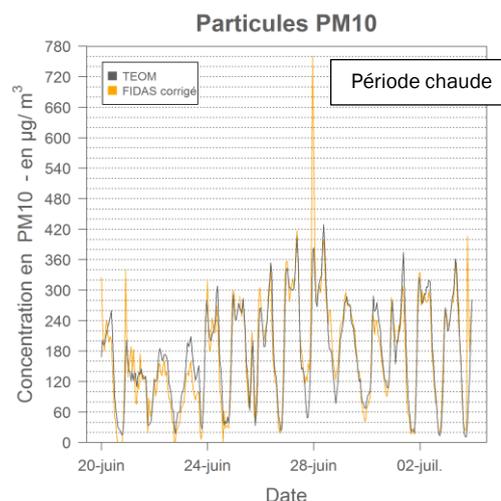
- Redressement des concentrations à l'aide de la droite de régression,
- Méthode d'adaptation statistique.

La méthode d'adaptation statistique utilisée est décrite en annexe VII.

Sont indiquées ci-dessous à titre d'exemple les courbes de concentrations horaires mesurées par le TEOM et celles corrigées pour le FIDAS pour les PM10.



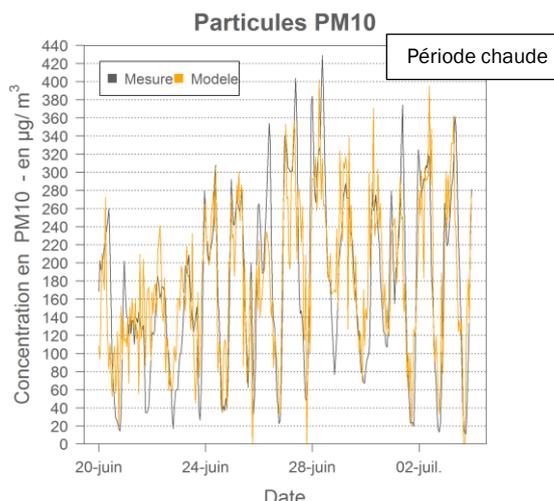
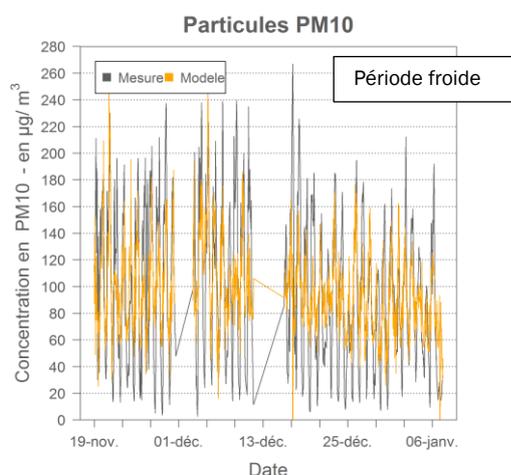
Graphie 22 : Comparaison des mesures corrigées du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM – Particules PM10



### Utilisation de la méthode de l'adaptation statistique

Le modèle d'adaptation statistique permet l'amélioration de l'estimation des concentrations, cependant la comparaison des écarts Fidas TEOM obtenus montre des écarts plus importants qu'avec la méthode de redressement avec la droite de régression.

Sont indiquées ci-dessous à titre d'exemple les courbes de concentrations horaires mesurées par le TEOM et celles corrigées pour le FIDAS pour les PM10.



Graphie 23 : Comparaison des mesures corrigées du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM – Particules PM10

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous la concentration maximale horaire mesurée par le TEOM, la concentration mesurée par le FIDAS et la concentration corrigée à la même heure pour les deux périodes de mesures et les trois polluants étudiés.

L'écart entre les concentrations maximales horaires relevées sur la période et celles obtenues en redressant les concentrations du FIDAS avec la droite de régression est faible. Les concentrations maximales des deux périodes sont donc bien estimées. On note, cependant, après correction, des pics de concentration très élevés, non mesurés par le TEOM.

	Période froide			Période chaude		
	PM1	PM2,5	PM10	PM1	PM2,5	PM10
Date	17/10	05/11	17/12	17/06	19/07	28/06
TEOM	41	105	267	46	485	429
FIDAS	27	26	143	31	115	92
FIDAS-redressé – droite de régression	38	98	209	47	526	398
Fidasn Corrigé – adaptation statistique	34	52	125	42	313	315

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

Après correction des concentrations horaires selon la droite de régression, les résultats obtenus sont très encourageants. Les concentrations de fond mais également les pics mesurés sur le quai de la station de métro Esquirol située sur la ligne A sont bien estimés pour les différentes fractions particulaires et pour les deux périodes de mesures.

L'analyseur gravimétrique est la méthode de mesure de référence gravimétrique pour évaluer les concentrations en particules en suspension dans l'air.

L'analyseur optique FIDAS permet de quantifier le nombre de particules dans l'air et d'étudier la répartition de ces particules selon leur taille. En fournissant une estimation des concentrations massiques, il permet également de réaliser des comparaisons fiables de concentrations entre différents sites de mesure. Il est ainsi préconisé dans le guide national de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires afin de réaliser une première classification des niveaux de concentration dans les différentes stations souterraines d'un réseau.

Les concentrations en particules corrigées selon la méthode la plus efficace obtenue sont très encourageantes. Cependant, à l'heure actuelle, il apparaît que la méthode de mesures optique de particules, ne peut se substituer à la méthode de mesures de référence des particules dans les enceintes ferroviaires.

## ANNEXE VI : PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC

### Actions du plan de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain – année 2019

Les actions prévues dans le cadre du plan de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain – année 2019 étaient :

- De poursuivre la surveillance de la qualité de l'air dans le métro,

D'étudier de la faisabilité de l'utilisation d'un FIDAS dans une station de métro avec résultats comparables à PM10, PM2,5 et PM1 d'un TEOM

- Cartographie des niveaux de NO<sub>2</sub> et benzène dans l'ensemble des stations de métro de la ligne.

### Quais des stations de métro

#### Dispositif de mesures

Dans le cadre du programme de surveillance de la qualité de l'air dans l'enceinte du métro, deux stations de métro sont instrumentées chaque année :

- La station de métro Esquirol a été équipée d'appareils permettant la mesure de NO<sub>2</sub>, particules et CO<sub>2</sub>,
- La station de métro Mirail Université a été équipée d'appareils de mesure de PM10 et CO<sub>2</sub>.

Ces analyseurs permettent la mesure en continu 24h/24 et fournissent des données tous les quarts d'heure. Ces stations ont également été équipées d'un système d'acquisition qui permet de stocker les données.

Le choix de ces sites de mesures repose sur des critères de fréquentation de la station par les usagers ainsi que sur des contraintes techniques inhérentes au fonctionnement et à la sécurité des analyseurs.

Ces mesures ont pour but de connaître la qualité de l'air respiré par les usagers en attente dans le métro.

En 2019, le dispositif de suivi installé sur le quai de la station de métro Esquirol a été complété d'un appareil granulomètre optique : le FIDAS. Les concentrations en PM10, PM2,5 et PM1 fournies par cet appareil ont été comparées aux concentrations mesurées par l'appareil équivalent à la méthode de référence. Ainsi, au cours de

la campagne de mesures, la tête de prélèvement de l'appareil utilisé pour mesurer les particules a été changée pour mesurer successivement les 3 fractions de particules.

Les campagnes de mesures se sont déroulées :

- Du 5 juin au 22 juillet pour la période chaude
- Du 16 octobre 2019 au 7 janvier 2020 pour la période froide.



Photo 1 : Station de mesure provisoire sur le quai d'une station de métro

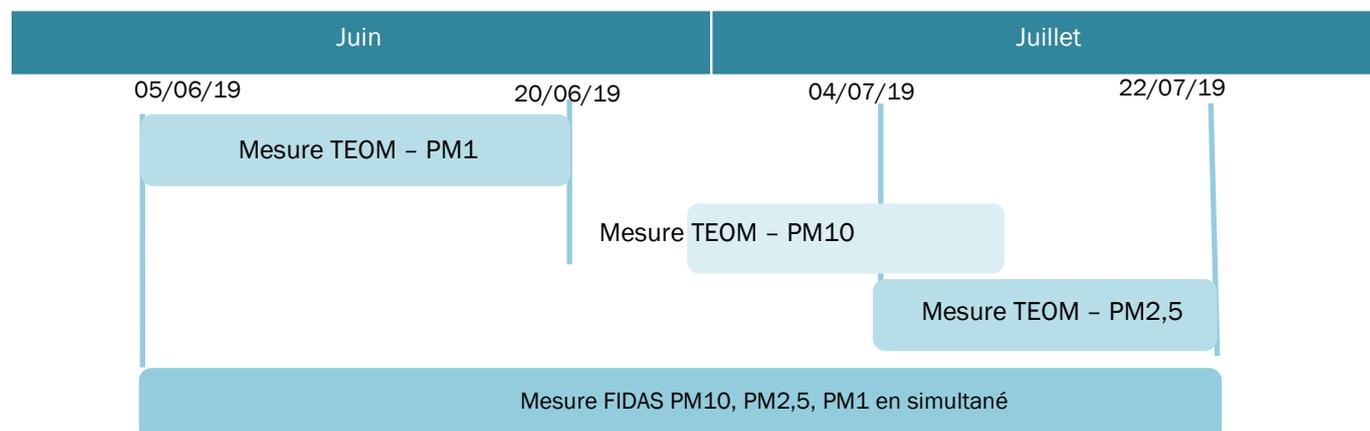


Schéma 1 : Planning de la campagne de mesures - période chaude 2019

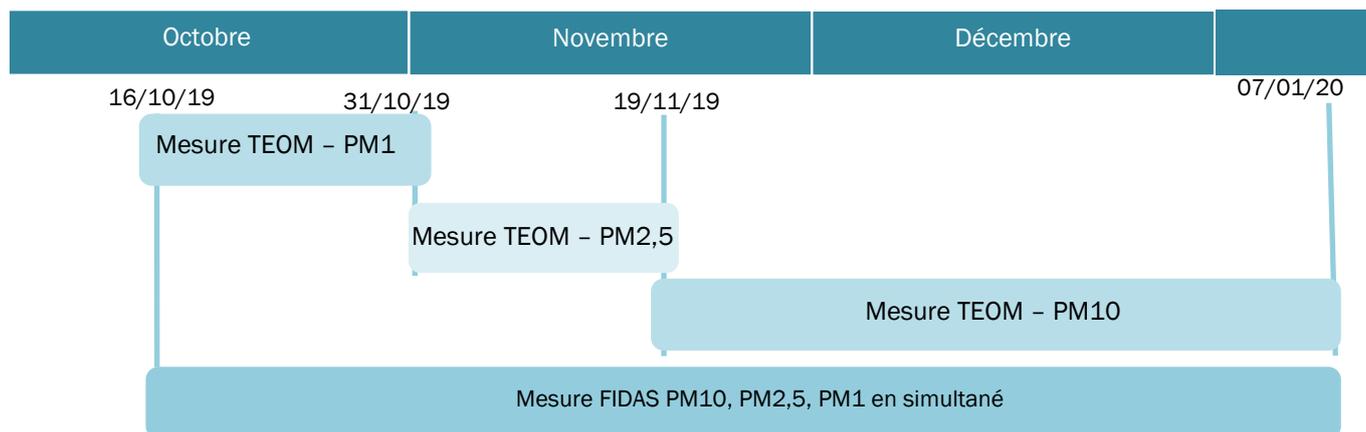


Schéma 2 : Planning de la campagne de mesures - période froide 2019

### Principe de fonctionnement du FIDAS <sup>1</sup>

Le FIDAS est un granulomètre optique qui permet de mesurer en temps réel et en continu la distribution en taille de 72 classes de particules à partir de 0,18 µm, pour des concentrations en nombre allant de  $1 \times 10^6$  à  $20 \times 10^9$  p/m<sup>3</sup>. Son principe de fonctionnement repose sur l'analyse de l'interaction des particules avec une source lumineuse polychromatique. La taille des particules est déterminée en mesurant l'intensité de la lumière diffusée par les particules. La concentration des particules est déterminée, par classe de taille, en mesurant leur fréquence de détection dans la chambre de mesure.

Le FIDAS calcule la concentration massique des particules en convertissant la distribution en taille mesurée. Pour cela, l'instrument utilise un algorithme de conversion qui opère le calcul en faisant des hypothèses par classe de taille sur les paramètres physiques des particules tels que leur indice de réfraction, leur densité ou leur morphologie.

### Rames de métro

Les mesures faites dans les rames de métro ont pour but d'évaluer la quantité de polluants gazeux respirée par les usagers lors des trajets en métro.

L'évaluation des teneurs en dioxyde d'azote dans les rames de métro est réalisée en prélevant l'air de la rame grâce à une pompe dans un sac Tedlar pendant 45 minutes. Ce prélèvement est ensuite analysé en différé sur l'analyseur installé sur le quai de la station de métro.

L'évaluation des teneurs en benzène est réalisés en prélevant l'air de la rame grâce à une pompe pendant une heure. Il est injecté au travers d'une cartouche adsorbante thermodésorbable. Les cartouches

Cet appareil de mesures est ainsi capable de déterminer simultanément, de façon automatique et avec une forte résolution temporelle, la concentration massique des particules pour toutes les fractions de taille mesurées. Cependant cette concentration massique dépend d'hypothèses fortes sur la nature-physico-chimique des particules impliquant de fait des sources d'erreur potentielles.

Les résultats des essais d'adéquation du FIDAS à la méthode de référence ont montré un bon accord des mesures de cet appareil avec celles obtenues par la méthode de pesée gravimétrique sur les sites de fond urbain tandis que, sur les sites trafic, les résultats n'ont pas été satisfaisants. L'utilisation d'un FIDAS sur un site trafic nécessiterait l'utilisation d'une fonction de correction qui serait propre à chaque site et déterminée.

adsorbantes sont constituées d'un tube en verre contenant deux adsorbants des COV séparés par de la laine de quartz.

Sur une journée, plusieurs prélèvements ont été réalisés à l'aide de pompes manuelles sur l'ensemble du trajet de terminus à terminus de la ligne A du métro.

Les BTEX ainsi prélevés sont analysés en différé par un laboratoire spécialisé.

Les teneurs obtenues sont représentatives de l'air respiré par les usagers à l'instant où les prélèvements ont été réalisés.

<sup>1</sup> Note technique LCSQA, Essais d'adéquation du FIDAS 200 à la mesure réglementaire en France – Bilan des essais 2013 – 2015

## Salles des billets, quais et environnement extérieur de l'ensemble des stations de métro

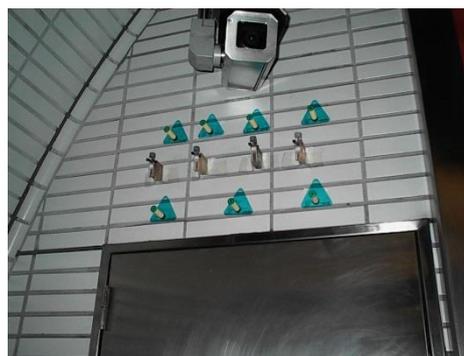
Des mesures de polluants gazeux, par tubes échantillonneurs passifs ont été réalisées dans les salles de billets et sur les quais de l'ensemble des stations de métro de la ligne B.

Ces mesures ont permis d'établir une cartographie de distribution de polluants gazeux. De plus, des tubes échantillonneurs passifs ont été placés à l'entrée de chaque station de métro afin de connaître les niveaux de concentrations à l'extérieur.

Deux types de tubes à diffusion moléculaire ont été utilisés :

- ✓ Un premier pour piéger le dioxyde d'azote,
- ✓ Un second pour piéger les composés de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques : benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX).

Un tube de chaque type, au minimum, a été mis en place dans chacune des 18 stations de la ligne A du métro. Le choix des sites s'est fait en tenant compte de la position des aérations et des risques de vandalisme. L'analyse des polluants a été réalisée en différé, par Atmo Occitanie concernant le dioxyde d'azote et par un laboratoire extérieur spécialisé pour les BTEX. Des tubes NO<sub>2</sub> et BTEX ont servi de « blancs laboratoire » afin de s'assurer qu'il n'y avait pas de traces de polluants sur les tubes avant exposition. Ils ont donc été stockés puis analysés dans les mêmes conditions que les tubes exposés.



Les valeurs obtenues grâce à cette technique sont des concentrations moyennes du polluant mesuré dans l'air ambiant sur une période d'exposition de 15 jours.

Le temps passé dans l'enceinte du métro a été estimé en tenant compte de différentes informations :

- Le temps moyen dans le réseau (depuis la salle des billets jusqu'à la rame et inversement, considérant les échanges lignes A et B) est de 15 minutes dans le réseau
- Le temps moyen dans une rame est de 6 minutes,
- Le temps maximal dans une rame est de 30 minutes (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B).
- Les usagers effectuent au moins un trajet aller/retour dans la journée.

Les mesures par tubes passifs ne sont donc pas représentatives de la qualité de l'air respirée par les usagers mais permettent de définir la répartition des polluants sur le réseau.

## ANNEXE VII : DESCRIPTION DE LA METHODE D'ADAPTATION STATISTIQUE UTILISEE

Nous avons cherché à mettre en avant une relation de dépendance entre les variables  $Y$  et  $X_1, X_2, X_3$ .  $Y$  appelée variable endogène, est la variable que l'on cherche à expliquer (à prédire). Le modèle de régression linéaire simple s'écrit :

$$y_i = a \times x_i + b + \varepsilon_i$$

$a$  et  $b$  sont les paramètres (les coefficients) du modèle. Dans le cas spécifique de la régression simple,  $a$  est la pente,  $b$  est la constante.

Avec le modèle de régression, on cherche à déterminer une droite qui représenterait au mieux la relation existant entre  $X$  et  $Y$ . La droite retenue est celle pour laquelle la somme des carrés des distances verticales de chaque point à la droite est minimale.

La régression linéaire simple permet de résumer la relation entre deux variables, et donc de prédire une variable  $Y$  en fonction d'une variable  $X$ . Mais la prédiction d'une variable donnée peut être plus fine si l'on prend en compte plus de variables prédictives  $X_j$  ( $j = 1, \dots, p$ ). La régression multiple permet de calculer une équation additive de forme :

$$y_i = a_0 + a_1x_{i,1} + \dots + a_px_{i,p} + \varepsilon_i$$

Nous devons estimer les valeurs des  $(p + 1)$  paramètres ( $a_0, a_1, \dots, a_p$ ) à partir d'un échantillon de  $n$  observations. Nous remarquons dans le modèle :

- $i = 1, \dots, n$  correspond au numéro des observations ;
- $y_i$  est la  $i$ -ème observation de la variable  $Y$  ;
- $x_{i,j}$  est la  $i$ -ème observation de la  $j$ -ème variable ;
- $\varepsilon_i$  est l'erreur du modèle, il résume les informations manquantes qui permettrait d'expliquer linéairement les valeurs de  $Y$  à l'aide des  $p$  variables  $X_j$  (ex. valeurs prédictives manquantes, etc.).

Un programme a été créé grâce au logiciel R.

Un modèle linéaire multiple est calculé pour les 3 fractions étudiées à partir de l'ensemble des classes de particules mesurées par le FIDAS (72 classes) et l'ensemble des concentrations mesurées pour chaque période de mesures.

Pour chaque fraction particulière, nous avons obtenu un modèle avec des coefficients pour chaque période de mesures. Ces coefficients sont les valeurs multiplicatives que le modèle estime. Le modèle fournit également l'écart-type, la  $t$ -value et la probabilité de rejeter l'hypothèse  $H_0$  pour laquelle le coefficient est égal à 0 de chacun des coefficients. Cette dernière valeur donne une information sur l'utilité du coefficient dans le modèle.

## ANNEXE VIII : CHOIX DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES POUR LE MÉTRO TOULOUSAIN

### Valeurs de référence calculées à partir d'un avis du CSHPF pour les particules PM10

En se basant sur l'avis relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines du 3 mai 2001 du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF), Atmo Occitanie réévalue chaque année les valeurs de référence préconisées pour le métro parisien afin de les adapter au métro toulousain.

Il est à noter que les concentrations obtenues ont une représentativité limitée en termes d'exposition des personnes à la pollution atmosphérique, puisqu'elles ne tiennent compte ici que de deux types d'exposition : celle à l'air du métro et celle à l'air ambiant extérieur urbain.

La concentration limite dans le métro (Csout) à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro (Tsout), de la concentration extérieure en PM10 (en percentile 90.4 : P90.4).

Compte tenu du temps moyen passé par les usagers dans le métro, la valeur guide sur une heure est de 648  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2019.

Signalons cependant que ces concentrations maximales horaires sont mesurées sur les quais d'une station de métro, elles ne correspondent donc pas exactement à ce que respire un usager dans le métro puisque celui-ci passe par deux ou trois stations de métro et une ou deux rames de métro.

En outre, il faut également prendre en compte les limites de ce mode de calcul liées aux hypothèses qui ont été posées pour permettre cette évaluation :

- Dans tous les milieux, à l'exception du métro, la concentration des PM10 est la même qu'en milieu extérieur.
- Les teneurs en PM10 sont constantes sur une journée (abstraction des pics).

Concentration limite dans le métro (Csout) exprimée en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro (Tsout)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	P90.4ext = 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tsout = 15 mn	1602	905	1602	1950	2045	1950	2520	2138	2604	2519
Tsout = 30 mn	818	473	818	990	1037	990	1272	1083	1314	1272
Tsout = 45 mn	556	329	556	670	701	670	856	731	883	856
Tsout = 1 h	426	257	426	510	533	510	648	556	668	648

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  : microgramme par mètre cube

Le temps passé dans l'enceinte du métro a été estimé en tenant compte de différentes informations :

- Le temps moyen dans le réseau (depuis la salle des billets jusqu'à la rame et inversement, considérant les échanges lignes A et B) est de 15 minutes dans le réseau
- Le temps moyen dans une rame est de 6 minutes,

- Le temps maximal dans une rame est de 30 minutes (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B).
- Les usagers effectuent au moins un trajet aller/retour dans la journée.

**C'est donc la valeur guide sur une heure qui est retenue soit 648  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour 2019.**

La valeur guide 2019 sur une demi-heure est fournie dans le tableau suivant à titre indicatif.

		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm			
		Conformité à la valeur guide	Temps d'exposition des usagers	Valeur guide 2019	Période
Exposition de courte durée	Valeur guide calculée à partir de l'avis relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines du 3 mai 2001 du CSHPF	OUI	1/2 heure	1 272 µg/m <sup>3</sup>	<b>Maximum sur une demi-heure :</b> <b>Période chaude :</b> Esquirol : 437 µg/m <sup>3</sup> Mirail Université : 491 µg/m <sup>3</sup>  <b>Période froide :</b> Esquirol : 271 µg/m <sup>3</sup> Mirail Université : 393 µg/m <sup>3</sup>

## Une valeur guide proposée par l'ANSES pour le dioxyde d'azote

En mars 2013, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié ses propositions de valeurs guides pour le dioxyde d'azote. Ces propositions correspondent aux expositions sur le court (1 heure) et le long terme (1 an).

Le temps passé par un usager dans le métro (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B) est de 1h maximum par jour, à raison de deux voyages par jour de 30 mn. C'est donc la **valeur guide de 200 µg/m<sup>3</sup> fixée sur une heure** qui est utilisée.

## Une valeur guide fixée par la réglementation pour le benzène

Compte tenu des connaissances actuelles sur les effets sur la santé de cet hydrocarbure, l'Agence française de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a proposé plusieurs valeurs guides de qualité d'air intérieur (VQAI), pour protéger la population de ses effets cancérigènes et non cancérigènes.

Ces valeurs guides sont des objectifs à atteindre mais ne sont pas des « valeurs de gestion » : elles n'ont pas été construites pour indiquer un ou des seuils de concentration à partir desquels des actions de protection de la santé doivent être mises en place. C'est pourquoi la direction générale de la santé (DGS) a demandé au Haut Conseil de la santé publique (HCSP) de déterminer des valeurs repères d'aide à la gestion pour différents polluants de l'air intérieur, dont le benzène. Ces valeurs sont nécessaires, d'une part pour fixer dès maintenant des niveaux à ne pas dépasser dans les bâtiments neufs ou rénovés, et d'autre part pour engager des actions

correctives dans les bâtiments existants, avec une modulation de ces actions et de leur délai de mise en œuvre en fonction des concentrations mesurées. Considérant que l'effet cancérigène du benzène est l'effet critique à retenir pour l'établissement des valeurs repères, le HCSP a proposé de fixer trois valeurs pour les expositions chroniques sur le long terme :

- Valeur d'action rapide : 10 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle
- Valeur repère de qualité de l'air : 5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle
- Valeur cible : 2 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle

La valeur de 2 µg/m<sup>3</sup> pour une exposition de longue durée au benzène a été reprise dans le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène avec une mise en application le 1er janvier 2016.

## ANNEXE IX : ASPECTS DE LA RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL

En atmosphère de travail, les normes en vigueur sont fixées par le code du travail et passent par la définition de différentes valeurs limites. A titre d'information voici quelques aspects de cette réglementation<sup>(2)</sup>:

« La prévention des maladies d'origine professionnelle demande que l'exposition des personnes aux polluants présents dans l'air des lieux de travail soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possible. Dans la pratique, il est utile de définir, pour les concentrations atmosphériques, des niveaux à ne pas dépasser. Ces niveaux ou valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) sont :

- Soit des valeurs limites admises (VL) à caractère indicatif dans le cas général ;
- Soit des valeurs limites réglementaires (VR), indicatives (VRI) ou contraignantes (VRC) pour certains composés ;
- Soit des valeurs limites recommandées par la Caisse nationale de l'assurance maladie.

Ces valeurs fournissent des repères chiffrés d'appréciation de la qualité de l'air des lieux de travail mais supposent l'élaboration préalable de méthodes d'échantillonnage et d'analyse ainsi que de la définition de critères pour l'évaluation des risques pour la santé. »

« La valeur limite d'un composé chimique représente sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération pour sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées. Aucune atteinte organique ou fonctionnelle de caractère irréversible ou prolongé n'est raisonnablement prévisible.

Toutefois, l'expérience montre que de nouvelles pathologies continuent d'être découvertes ; c'est pourquoi il convient que les pratiques retenues visent à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi basses que raisonnablement possible : les VL doivent être considérées comme des objectifs minimaux.

Deux types de valeurs limites ont été retenus :

- Des valeurs limites court terme (VLCT), qui sont destinées à protéger des effets des pics d'exposition. Elles se rapportent à une durée de référence de 15 minutes (sauf indication contraire). Rigoureusement, les VLE jusqu'ici utilisées en France et issus des circulaires du ministère chargé du travail sont des valeurs plafonds mesurées sur une durée maximale de 15 minutes en fonction de la nature du risque et

des possibilités de mesurage et ne sont donc pas équivalentes aux valeurs limites court terme définies par la réglementation européenne et reprises depuis 2004 dans les textes français la transposant. Cependant dans la pratique, compte tenu du fait que les mesures d'exposition destinées à vérifier le respect des VLE sont généralement effectuées sur 15 minutes, les VLE et VLCT peuvent être considérées comme équivalentes. [...] On privilégiera désormais le sigle VLCT par rapport à la VLE.

- Des valeurs limites sur 8 heures ou valeur limite de moyenne d'exposition (VME) destinées à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. La VME peut être dépassée sur une courte durée sous réserve de ne pas dépasser la VLCT lorsqu'elle existe. Dans ce cas, les notions de valeur de moyenne d'exposition issues des circulaires du ministère chargé du travail et de valeur limite sur 8 heures issues de réglementation européenne sont strictement identiques, le sigle VME continuera d'être utilisé.

Valeurs limites réglementaires contraignantes pour les poussières : Décret du 7 décembre 1984 (article R.232-5-5 du code du travail)

« Dans les locaux à pollution spécifique (où des substances dangereuses ou gênantes sont émises), les concentrations moyennes en poussières inhalables<sup>(3)</sup> et alvéolaires<sup>(4)</sup> de l'atmosphère inhalé par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m<sup>3</sup> d'air.

La circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 précise que ces valeurs concernent les poussières réputées sans effet spécifique, c'est-à-dire qui ne sont pas en mesure de provoquer seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain d'autre effet que celui de surcharge. D'autres poussières font l'objet de VLEP particulières. [...] Parmi les poussières faisant l'objet d'une VLEP particulière on trouve notamment :

- Les silices cristallines ;
- Les amiantes (pour ce qui se rapporte à l'asbestose) ;
- Les poussières de plomb ;
- Tous les aérosols très fins (fumées), tels ceux de soudage ou de décapage thermique. »

<sup>2</sup> INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984 aide mémoire technique, juin 2006.

<sup>3</sup> Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique).

<sup>4</sup> Poussières dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 4 µm (PM4).

## ANNEXE X : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MÉTRO TOULOUSAIN

### Caractéristiques de la ligne A

- 12,4 km orientés dans l'axe sud-ouest nord-est passant par le centre de Toulouse essentiellement souterrain,
- 18 stations de métro,
- rames type VAL 206 (Véhicule Automatique Léger) : 29 rames,
- rames type VAL 208 : 14 rames,
- 36 rames circulent simultanément aux heures de pointes,
- le parc est constitué de 43 rames au total,
- vitesse commerciale moyenne : 32 km/h,
- 24 minutes pour traverser Toulouse de Basso-Cambo à Balma Gramont,
- fréquence de passage de rame : de 70 secondes au minimum (aux heures de pointes) et jamais plus de 5 minutes (pendant les heures creuses).

### Caractéristiques de la ligne B

- 15.8 km orientés dans l'axe nord/sud passant par le centre de Toulouse entièrement souterrain,
- 20 stations de métro,
- rames type VAL 208 (Véhicule Automatique Léger),
- 36 rames circulent simultanément aux heures de pointes,
- le parc est constitué de 43 rames au total,
- vitesse commerciale moyenne : 36 km/h,
- 26 minutes pour traverser Toulouse de Borderouge à Ramonville,
- fréquence de passage de rame : 1 minute et demie aux heures de pointes.

### Caractéristiques communes aux deux lignes

Le matériel roulant est sur pneumatiques.

La ventilation des rames est assurée par des ventilateurs embarqués qui aspirent l'air du tunnel dans les plafonds des véhicules. Les rames circulent dans des ouvrages souterrains où l'air est renouvelé par ventilation mécanique. La ventilation dans toutes les stations de métro est mise en route à partir des données fournies

par des sondes de températures qui visent à maintenir une température de confort qui ne soit pas trop élevée.

- En période hivernale, les températures diurnes sont plus froides que la température de confort. La ventilation fonctionne peu.
- En période estivale, les températures diurnes sont plus élevées que la température de confort. La ventilation fonctionne.

## ANNEXE XI : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DE MÉTRO PARISIEN

### Station de métro Chatelet (métro ligne 4)

Châtelet est une station des lignes 1, 4, 7, 11 et 14 du métro de Paris ; elle est située à cheval sur les 1er et 4e arrondissements de Paris.

En 2004, elle était la dixième station la plus fréquentée du réseau, avec 12,84 millions d'utilisation soit environ 35 000 voyageurs / jour.

La ligne 4 est entièrement souterraine et située dans Paris intra-muros. La longueur totale de la ligne est de 10,6 kilomètres. Avec 26 stations, la longueur moyenne des interstations est de 424 mètres, ce qui est la plus faible valeur du réseau parisien. Elle est la seule en correspondance avec la totalité des lignes principales de métro et les cinq lignes du RER.

En 2008, le parcours complet de la ligne demande environ 30 minutes. L'intervalle moyen entre les rames les jours ouvrés est de deux à quatre minutes en journée et de cinq à sept minutes le soir.

Le parc de véhicules de la ligne 4 est composé de quarante-six rames en 2008. Les rames en circulation, les MP 59, sont montées sur pneumatique. Les MP59 constituent le plus ancien matériel roulant encore en circulation sur le réseau en 2008.

Le métro sur pneumatiques est un système de métro qui circule sur des roues équipées de pneumatique, par opposition au matériel ferroviaire classique roulant sur des roues en acier. Il nécessite une voie spécialement aménagée.

### Station de métro Franklin D Roosevelt (métro ligne 1)

Franklin D. Roosevelt est une station des lignes 1 et 9 du métro de Paris ; elle est située dans le 8e arrondissement de Paris.

En 2004, elle était la treizième station la plus fréquentée du réseau, avec 12,19 millions d'entrants directs soit environ 33 000 voyageurs / jour.

La ligne 1 du métro de Paris, première ligne française dont le premier tronçon a été ouvert en 1900 lors de l'exposition universelle, relie aujourd'hui la station La Défense à l'ouest, à la station Château de Vincennes, à l'est et traverse 6 communes. Avec une longueur de 16,5 kilomètres, elle constitue une voie de communication est-ouest majeure pour la ville de Paris : c'est historiquement la ligne de métro la plus fréquentée du réseau.

Elle dessert 256 stations, la longueur moyenne des interstations est de 688 mètres.

La ligne 1 est presque entièrement souterraine, à l'exception de la station Bastille et d'un tronçon aérien pour le franchissement de la Seine au milieu du pont de

Les rames sont équipées de bogies dont les essieux conservent les roues en acier classiques et comportent en outre deux roues, de même diamètre, équipées de pneumatiques et situées à l'extérieur des précédentes. Les roues à pneus assurent les fonctions de traction et de freinage, celles en acier servent en cas de secours (crevaisin) ainsi qu'au guidage lors du franchissement des aiguillages et pour le retour du courant électrique de traction. Les bogies comportent également des roues horizontales plus petites assurant le guidage latéral des véhicules.

La voie comporte deux rails en acier, comme toute voie ferrée, et de ce fait autorise la circulation de matériel ferroviaire classique, notamment pour les opérations d'entretien, et deux pistes de roulement dont la largeur est adaptée à celle des pneumatiques. Elle comporte en outre un rail latéral servant à la fois au captage du courant par frotteurs et de piste de roulement pour les roues horizontales. Le retour du courant de traction s'effectue par les rails classiques.

Le système VAL fonctionne également selon ce principe, mais les rames ne disposent pas de roues en acier, les voies n'étant dotées que de pistes pour pneumatiques et non de rails classiques. Les aiguillages sont franchis grâce à un système différent, un appareil de guidage situé dans l'axe de la voie.

Neuilly, entre les stations Esplanade de la Défense et Pont de Neuilly.

En 2008, le parcours complet de la ligne demande trente-cinq minutes. L'intervalle moyen entre les rames les jours ouvrés est de deux à quatre minutes en journée et de cinq à sept minutes le soir.

Le parc de véhicules de la ligne 1 est composé de cinquante-deux rames en 2007. Les rames en circulation, les MP89CC (CC pour Conduite Conducteur (manuelle)), sont montées sur pneumatique.

En 2010, la ligne 1 est devenue la première ligne majeure d'un réseau métropolitain existant dans une capitale à être intégralement automatisée. Dans le cadre de la modernisation de cette ligne, les quais de la station Franklin D Roosevelt ont été entièrement rénovés comme l'ensemble des quais de la ligne. Ils ont été équipés de portes palières.

## Station de RER Auber (RER ligne A)

La gare Auber est une gare ferroviaire du 9<sup>e</sup> arrondissement de Paris.

Elle est desservie à raison :

- de 12 trains par heure le samedi et le dimanche, 18 trains/heure aux heures creuses du lundi au vendredi
- de 24 à 30 trains/heure aux heures de pointe soit un train toutes les 2 minutes sur le sens le plus chargé.
- En soirée, c'est 8 trains par heure.

La ligne A du RER est une ligne du réseau express régional d'Île-de-France qui traverse d'est en ouest l'agglomération parisienne, avec plusieurs embranchements. Elle relie Saint-Germain-en-Laye (branche A1), Cergy (branche A3) et Poissy (branche A5) à l'ouest, à Boissy-Saint-Léger (branche A2) et Marne-la-

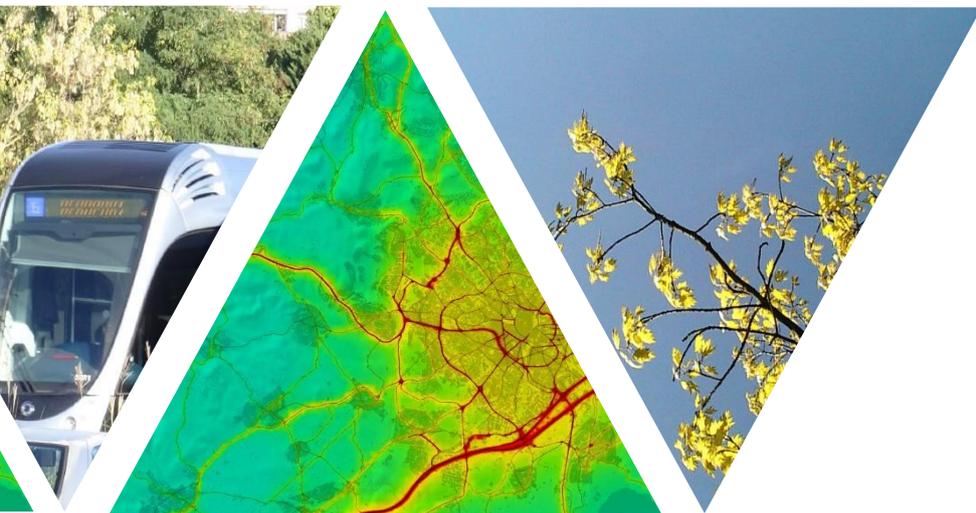
Vallée (branche A4) à l'est, en passant par le cœur de Paris.

D'une longueur de 108 km, elle dessert au total 46 gares dont 5 dans Paris intra-muros et traverse 41 communes. La longueur moyenne des interstations est de 2 360 mètres

Elle est de loin la plus chargée du réseau avec un million de voyageurs par jour ouvrable et régulièrement proche de la saturation, ce qui en fait également une des lignes au trafic les plus denses du monde. Elle assure à elle seule plus d'un quart du trafic ferroviaire de la banlieue parisienne.

Le RER A est exploité à l'aide de trois types de matériels roulants différents roulant sur des roues en acier :

- 125 rames MS 61 ;
- 65 rames MI 84 ;
- 43 rames MI 2N (à deux niveaux).



# L'information sur la qualité de l'air en Occitanie

[www.atmo-occitanie.org](http://www.atmo-occitanie.org)

Atmo  
OCCITANIE  
votre parten'air  
Votre observatoire régional de l'air

Agence de Montpellier  
(Siège social)  
10 rue Louis Lépine  
Parc de la Méditerranée  
34470 PEROLS

Agence de Toulouse  
10bis chemin des Capelles  
31300 TOULOUSE

Tel : 09.69.36.89.53  
(Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)

Crédit photo : Atmo Occitanie