

Votre observatoire régional de la

QUALITÉ de l'AIR

**RAPPORT
ANNUEL
2018**

Décembre 2019

**Plan de surveillance
de la qualité de l'air
dans le
métro toulousain
– ligne B**



CONDITIONS DE DIFFUSION

Atmo Occitanie, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de la région 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 – Agence Toulouse** :

- par mail : contact.toulouse@atmo-occitanie.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES - ANNÉE 2018.....	3
ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES SUR LA LIGNE B DU MÉTRO TOULOUSAIN	6
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 B DU MÉTRO TOULOUSAIN	29
ANNEXE IV : RÉSULTATS DES MESURES DE CONFINEMENT SUR LA LIGNE B DU MÉTRO TOULOUSAIN	35
ANNEXE V : ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA MESURE DE PM10 / PM2,5 / PM1 DANS LE MÉTRO AVEC UN UNIQUE APPAREIL DE MESURES.....	38
ANNEXE VI : PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC	43
ANNEXE VII : DESCRIPTION DE LA MÉTHODE D'ADAPTATION STATISTIQUE UTILISÉE	46
ANNEXE VIII : CHOIX DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES POUR LE MÉTRO TOULOUSAIN.....	47
ANNEXE IX : ASPECTS DE LA RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL.....	49
ANNEXE X : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MÉTRO TOULOUSAIN	50
ANNEXE XI : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DE MÉTRO PARISIEN.....	51

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES - ANNÉE 2018

Contexte

L'Autorité Organisatrice des Transports de l'agglomération toulousaine Tisseo Collectivités a été, en 2004, l'un des premiers 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 (anciennement ORAMIP) 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 et de benzène relevés dans le métro sont inférieurs ou du même ordre de grandeur que ceux mesurés en air extérieur. En revanche, 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.

Alors que le dioxyde d'azote et le benzène proviennent de l'extérieur et sont introduits dans le métro par la ventilation, les particules PM10 mesurées dans le métro sont en grande partie produites par son activité de transport (roulement, freinage...). Les niveaux 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 circule des rames équipées d'un système de freinage électrique plus performant et donc moins émetteur en particules. Cette ligne est, en outre, 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 2018

Dans le cadre de la campagne de mesures 2018 Atmo Occitanie a donc réalisé sur la ligne B les actions suivantes :

- La poursuite du programme de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain en ciblant certaines actions,
- La cartographie des niveaux de NO₂ et benzène dans l'ensemble des stations de métro de la ligne,
- L'étude de la faisabilité de la mise en place de mesures de PM10 / PM2,5 / PM1 dans le 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.

Les mesures ont été réalisées :

- Dans toutes les stations de métro au niveau des quais et des salles des billets pour la cartographie des niveaux de NO₂ et benzène,
- Sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli,
- Sur le quai de la station de métro Les Carmes,
- Dans les rames de métro.

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

Les particules

Valeur guide en PM10 respectée dans les deux stations de métro étudiées de la ligne B

Les deux campagnes de mesures ont couvert près d'1/4 de l'année 2018.

Sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli et les Carmes, aucune concentration horaire glissante supérieure à la valeur guide n'a été constatée.

Les particules PM10 émises par l'activité du métro

Les concentrations en particules PM10 mesurées dans les stations de métro et dans les rames sont plus élevées que celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.

Aux particules en provenance de l'extérieur et amenées dans le métro par la ventilation s'ajoutent celles, plus nombreuses, émises par l'activité du métro (roulement freinage des rames en circulation, remise en suspension...)

Les campagnes de mesures réalisées en 2018 confirment les observations faites pendant la période froide 2013 : les concentrations moyennes en PM10 mesurées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont du même ordre de grandeur que celles observées dans l'air ambiant toulousain tandis que celles mesurées sur le quai de la station de métro des Carmes sont 6 fois supérieures au niveau de fond urbain.

Des concentrations moyennes en particules stables entre les deux périodes de mesures

Depuis 2014, les niveaux de particules PM10 mesurés en période froide sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés en période chaude. En 2018, cette observation est également faite pour les PM2,5 et les PM1.

Un nombre de particules en forte variation selon la période

L'installation d'un granulomètre optique (FIDAS) sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli a permis, pour la première fois :

- 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 moyen de taille supérieure à 180 nm mesuré sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli varie entre 195 et 318 millions de particules par m³ d'air selon la période de mesures. Ce nombre de particules est du même ordre de grandeur que celui relevé dans l'air ambiant extérieur pendant la période chaude.

Alors que les concentrations massiques mesurées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont similaires entre les deux périodes de mesures, les mesures faites à l'aide du FIDAS montre que l'air de la station de métro Compans Caffarelli est 1.6 fois plus chargé en nombre de particules en période chaude qu'en période froide.

En outre, en période chaude, l'air de la station de métro est plus chargé en nombre de particules que l'air ambiant extérieur dans des proportions légèrement différentes selon les classes de particules :

- 1,4 à 1,6 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 0,15 et 5 µm,
- 1.8 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 5 et 10 µm,
- 2,5 fois plus élevées pour les particules les plus grosses, à partir de 10 µm.

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 alors qu'elles représentent moins de 5% de la concentration de l'ensemble des particules dans le métro et 7% en fond urbain.

En outre, dans l'environnement confiné qu'est le métro, toutes les classes de particules sont plus élevées en nombre que dans l'air extérieur :

- 1,4 à 1,6 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 0,15 et 5 µm,
- 1.8 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 5 et 10 µm,
- 2,5 fois plus élevées pour les particules les plus grosses, à partir de 10 µm.

Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Sur les quais des deux stations de métro étudiées, la concentration maximale sur 8 heures est nettement inférieure à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) fixée (157 µg/m³ pour la station de métro Compans Caffarelli et 201 µg/m³ pour la station de métro Les Carmes).

Le dioxyde d'azote NO₂

Respect de la valeur guide applicable en air intérieur

Sur les deux périodes de mesures, la valeur guide a été respectée sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli ainsi que dans les rames de métro.

Origine extérieure du dioxyde d'azote

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. Il y a donc corrélation entre les concentrations en NO₂ mesurées dans le métro et celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.

Les niveaux de concentrations rencontrés sont dus à plusieurs facteurs :

- La densité du trafic routier dans l'environnement de la station de métro ; les teneurs 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.

Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli, la concentration maximale quart-horaire de 147 µg/m³ mesurée, est nettement inférieure à la Valeur Limite

d'Exposition (VLE) fixée pour les ambiances de travail (6000 µg/m³ sur 15 minutes).

Dans les rames de métro, la concentration maximale en NO₂ (41 µg/m³ sur 25 minutes) est très inférieure à la VLE fixée.

Le benzène

Respect de la valeur guide applicable en air intérieur

En moyenne sur les deux périodes de mesures, la concentration moyenne maximale en benzène mesurée sur la ligne B du métro toulousain est de 1.5 µg/m³ (station de métro Jeanne d'Arc). Elle est inférieure à la valeur guide de qualité de l'air applicable en 2018 (2 µg/m³).

Le benzène principalement issu de l'air extérieur

Dans l'enceinte du métro, il a été montré que les niveaux en benzène mesurés à l'intérieur de la plupart des stations de métro sont légèrement supérieurs à ceux rencontrés à l'extérieur. Il y a donc dans l'enceinte du métro des sources internes de benzène qui s'ajoute au benzène en provenance de l'extérieur.

L'hypothèse émise pour expliquer ce surplus de benzène dans l'enceinte du métro est la présence de ce polluant et plus généralement de Composés Organiques Volatils dans les produits d'entretien utilisés dans le métro (ORAMIP, 2013, évaluation des produits d'entretien utilisés dans le métro toulousain).

Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Compte tenu des teneurs maximales en benzène rencontrées (3.2 µg/m³ en moyenne sur 1h20mn dans une rame de métro), nous pouvons considérer que les teneurs maximales dans les locaux techniques auraient été nettement inférieures à la Valeur de Moyenne d'Exposition définie par le code du travail (3 250 µg/m³ sur 8 heures).

Le confinement

Recommandation du règlement sanitaire départemental respecté

Sur les deux périodes de mesures, les niveaux de CO₂ ont culminé à environ 1020 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 B suggèrent un niveau de confinement faible. Le système de ventilation dont sont équipées les stations de métro permet de maintenir le CO₂ à des niveaux satisfaisants.

Un niveau de confinement plus élevé dans les rames de métro

Dans les rames de métro, les niveaux de CO₂ rencontrés sont généralement plus élevés que sur les quais. La concentration maximale atteinte a été de 1 507 ppm. Les niveaux de CO₂ 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 TEOM en fonction de la fraction choisie et de la période de mesures.

Deux méthodes de redressement ont 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.

Les concentrations en particules corrigées selon la méthode la plus efficace obtenue sont encourageants. 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. Cependant cet appareil donne une estimation des niveaux rencontrés et permet de réaliser des comparaisons fiables entre des valeurs obtenues sur différents points. Il est donc préconisé dans le projet de protocole harmonisé de mesures 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.

En outre, cet appareil a permis, pour la première fois, de quantifier le nombre de particules dans l'air de la ligne B du métro toulousain et d'étudier la répartition de ces particules selon leur taille.

Au cours de l'année 2019, cette étude sera reconduite sur le quai de la station de métro Esquirol sur la ligne A.



ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES SUR LA LIGNE B DU MÉTRO TOULOUSAIN

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Les particules PM10

- Respect de la valeur guide sur une heure sur le quai des deux stations de métro étudiées.
- Respect de la Valeur Limite de Moyenne Exposition fixée par les ambiances de travail.
- Concentrations moyennes mesurées en 2018 du même ordre de grandeur que celles observées en 2013 dans les deux stations de métro (Compans Caffarelli et les Carmes)

Les particules PM

- Entre 195 et 318 millions de particules de taille supérieure à 0.18 μm par m^3 selon la période de mesures dans l'air de la station de métro Compans Caffarelli. Ce nombre de particules est du même ordre de grandeur que celui relevé dans l'air ambiant extérieur pendant la période chaude.
- Une concentration massique stable entre les deux périodes de mesures.
- Un nombre de particules 1,6 x plus élevé en période chaude qu'en période froide.
- Dans le métro toulousain comme dans l'air extérieur, plus de 99% des particules sont de taille inférieure à 1 μm alors qu'elles représentent moins de 5% de la concentration de l'ensemble des particules dans le métro et 7% en fond urbain.
- Les particules de diamètre supérieur à 5 μm représentent, quant à elles, moins de 0.025% du nombre total de particules et représentent 85% de la concentration de l'ensemble des particules dans le métro et 79% en fond urbain.

LES PARTICULES : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTÉ 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 les COV.

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 SANTÉ

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 mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

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 couvert 1/4 de l'année 2018

		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm			
		Conformité à la valeur guide	Temps d'exposition des usagers	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	<p>PM10</p> <p>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</p>	OUI	1 heure	668 µg/m ³	<p>Maximum sur une heure glissante :</p> <p>Période froide : Compans Caffarelli : 194 µg/m³ Les Carmes : 274 µg/m³</p> <p>Période chaude : Compans Caffarelli : 67 µg/m³ Les Carmes : 114 µg/m³</p>

µg/m³ : microgramme par mètre cube

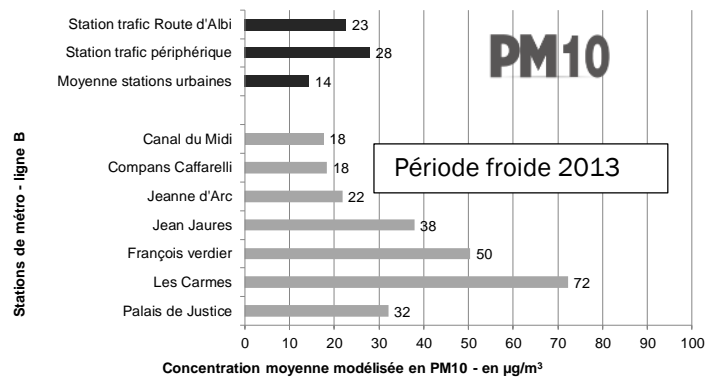
L'activité du métro émettrice de particules

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"). L'étude des niveaux de particules PM10 dans les stations de métro les plus fréquentées de la ligne B faite pendant l'hiver 2013 - 2014 a apporté des éléments d'information sur les niveaux de particules en fonction des stations de métro sur cette ligne :

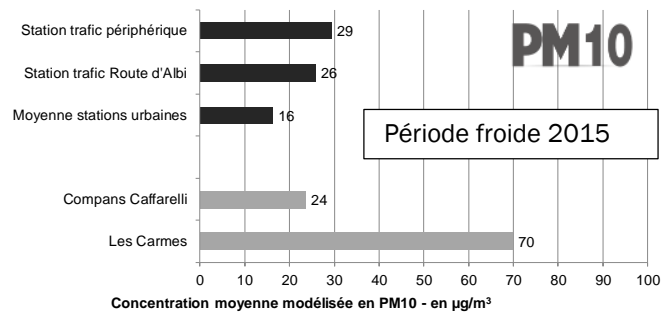
- Les concentrations moyennes en PM10 modélisées dans les stations de métro Jeanne d'Arc, Compans Caffarelli et Canal du Midi sont similaires. Elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées par la station trafic implantée route d'Albi.
- Entre Jeanne d'Arc et les Carmes, les niveaux de PM10 augmentent progressivement. La station de métro Les Carmes enregistre la concentration moyenne en particules la plus élevée de la ligne B. Les niveaux moyens relevés pour cette station de métro sont 2,5 fois supérieurs à ceux mesurés en proximité trafic en air extérieur.

Ces résultats ont mis en évidence des niveaux de particules variables en fonction de la station de métro.

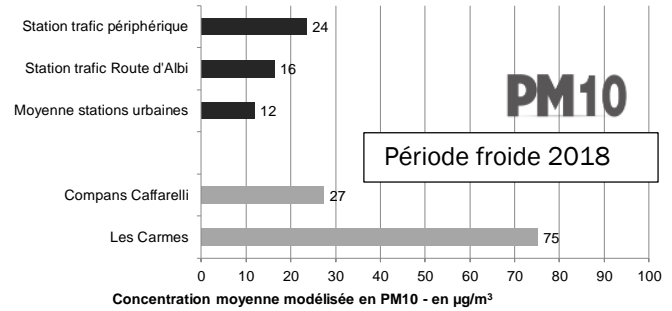


Graphe 1 : Concentration moyenne modélisée en **PM10** dans les stations de métro et comparaison aux concentrations mesurées dans l'air ambiant extérieur - période froide 2013.

Pendant les périodes froides 2016 et 2018, les concentrations en PM10 mesurées sur les quais des 2 stations de métro de référence (Compans Caffarelli et les Carmes) de la ligne B sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2013. Les niveaux de PM10 sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont du même ordre de grandeur que ceux observés dans l'air ambiant toulousain tandis que ceux mesurés sur le quai de la station de métro des Carmes sont 6 fois supérieures au niveau de fond urbain.



Graphe 2 : Concentration moyenne en PM10 dans les



Graphe 3 : Concentration moyenne en PM10 dans les stations de métro et comparaison aux concentrations mesurées dans l'air ambiant extérieur - période froide 2018

Des niveaux similaires de particules sur les deux périodes de mesures sur le quai du métro Compans Caffarelli

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.

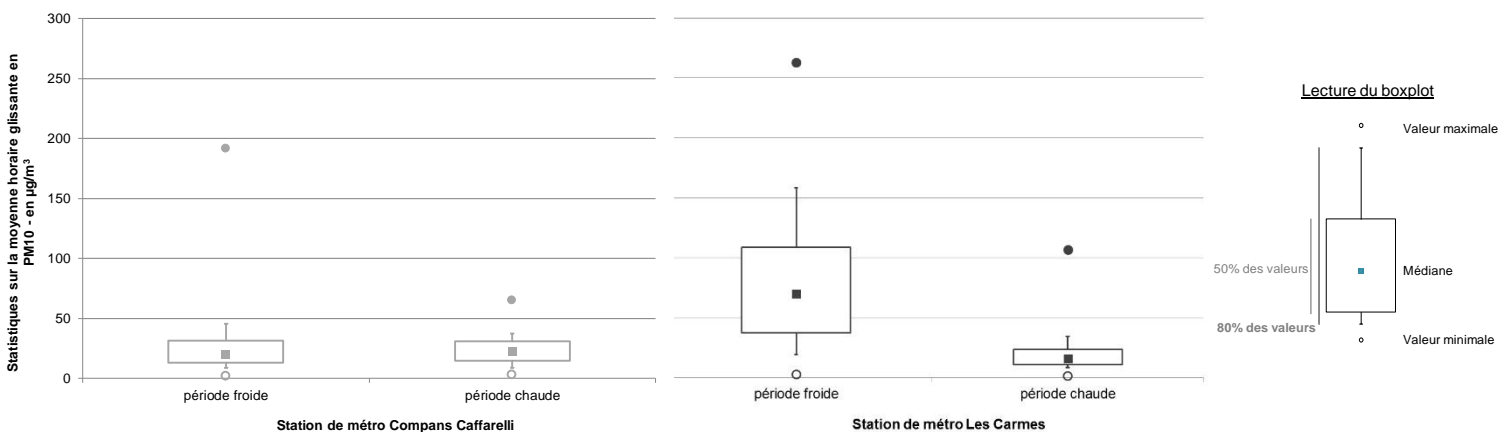
Pendant la période froide, un fonctionnement limité de la ventilation favorisait des niveaux de particules élevés. Pendant la saison chaude, le fonctionnement quasi continu de la ventilation permet la dilution des particules émises par l'activité métro grâce à l'apport d'air extérieur.

En 2014, les niveaux de particules PM10 mesurés sur les quais de la station Compans Caffarelli et Jean Jaurès - ligne B 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 sont plus importantes en période chaude.

En 2018, cette observation est à nouveau faite pour les concentrations en particules quelle que soit leur taille sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli. En revanche, pour la station de métro des Carmes, la variabilité saisonnière liée au mode de fonctionnement de la ventilation reste observée.

Les graphiques suivants présentent sous forme de boxplot la répartition des concentrations en PM10 dans les stations de métro Compans Caffarelli et les Carmes.



Graphe 4 : Répartition des concentrations horaires en PARTICULES PM10 mesurées dans la station de métro COMPANS CAFFARELLI et dans la station de métro LES CARMES.

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. 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 permet donc de quantifier ces particules très fines.

Dans le cadre du plan de surveillance 2018 de la qualité de l'air dans le métro toulousain, Atmo Occitanie a 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, sur le quai de la station Compans Caffarelli, 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 µm, pour des concentrations en nombre allant de 1 à 20 000 p/cm³. 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 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.

Pendant la période chaude, des mesures de particules dans l'air ambiant urbain toulousain ont également été réalisées à l'aide d'un FIDAS.

Ces mesures permettent, pour la première fois, de mesurer le nombre de particules dans l'air du métro toulousain et dans l'air extérieur.

Le nombre de particules moyen mesuré sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli varie entre 195 et 318 millions de particules par m³ d'air selon la période de mesures. Ce nombre de particules est du même ordre de grandeur que celui relevé dans l'air ambiant extérieur pendant la période chaude.

Ainsi, alors que les concentrations massiques mesurées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont similaires entre les deux périodes de mesures, les mesures faites à l'aide du FIDAS montre que l'air de la station de métro Compans Caffarelli est 1.6 fois plus chargé en nombre de particules en période chaude qu'en période froide.

En outre, en période chaude, l'air de la station de métro est 1.4 fois plus chargé en nombre de particules que l'air ambiant extérieur.

	Période de mesures	Nbre de particules / m ³ de taille supérieure à 0.18 µm	Concentration en µg/m ³
Station de métro Compans Caffarelli	Période froide	195 x10 ⁶	27
	Période chaude	318 x10 ⁶	23
Air ambiant toulousain	Période chaude	223 x10 ⁶	15

Forte contribution des particules très fines en nombre

Afin d'améliorer l'interprétation des résultats, nous avons étudié la distribution des particules selon 7 classes :

- De 0.18 à 0.5 μm ,
- De 0.5 à 1 μm ,
- De 1 à 2.5 μm ,
- De 2.5 à 5 μm ,
- De 5 à 10 μm ,
- De 10 à 15 μm ,
- > 15 μm .

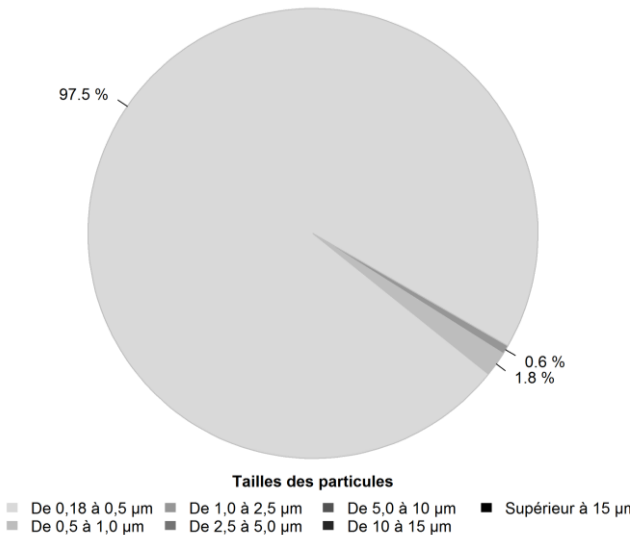
Pour les deux périodes de mesures, les particules très fines, de l'ordre de quelques centaines de nanomètre prédominent largement dans le métro. Plus de 99% des particules sont ainsi de taille inférieure à 1 μm .

Les particules de diamètre supérieur à 5 μm représentent, quant à elles, moins de 0.025% du nombre total de particules.

La comparaison du nombre de particules mesuré sur le quai de la station Compans Caffarelli pour chaque campagne de mesures met en évidence :

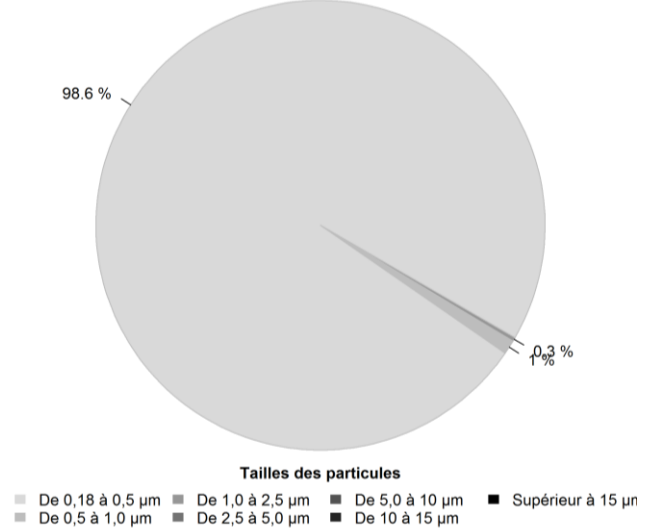
- Un nombre de particules de diamètre inférieur à 0.5 μm en hausse de 65% en été.
- Un nombre de particules faible et du même ordre de grandeur pour les particules de diamètre supérieur à 0.5 μm .

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



Graph 5 : Répartition en nombre des particules dans la station de métro Compans Caffarelli - période froide 2018

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



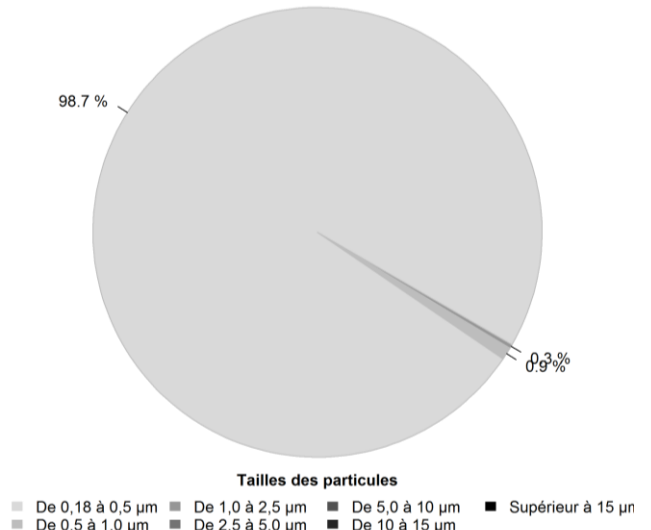
Graph 6 : Répartition en nombre des particules dans la station de métro Compans Caffarelli - période chaude 2018

La répartition des tailles de particules observée sur le quai de la station de métro de Compans Caffarelli est similaire à celle rencontrée dans l'air ambiant.

Dans l'environnement confiné qu'est le métro, toutes les classes de particules sont plus élevées en nombre que dans l'air extérieur :

- 1,4 à 1,6 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 0,15 et 5 μm ,
- 1.8 fois plus élevées pour les particules de taille comprise entre 5 et 10 μm ,
- 2,5 fois plus élevées pour les particules les plus grosses, à partir de 10 μm .

Répartition en nombre des particules
Dans l'air ambiant toulousain
- Période chaude -



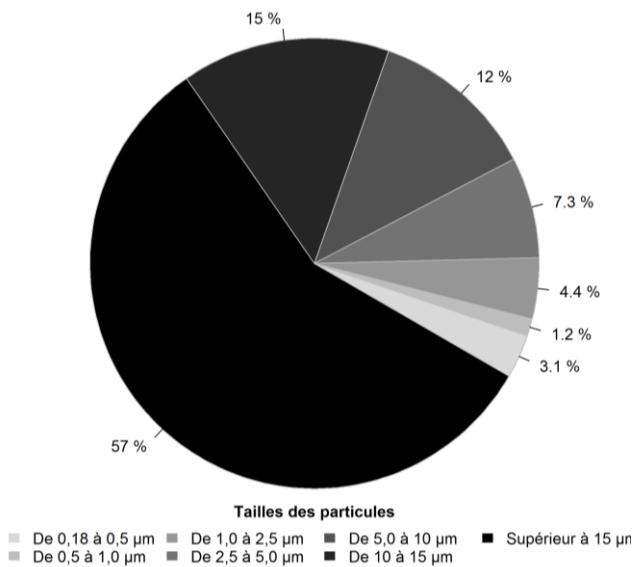
Graph 7 : Répartition en nombre des particules dans l'air urbain toulousain - période chaude 2018

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 représentent moins de 5% de la concentration de l'ensemble des particules. À cause de leur très petite taille, les particules les plus fines passent inaperçues pour les appareils de mesure classiquement utilisés qui prennent en compte la masse.

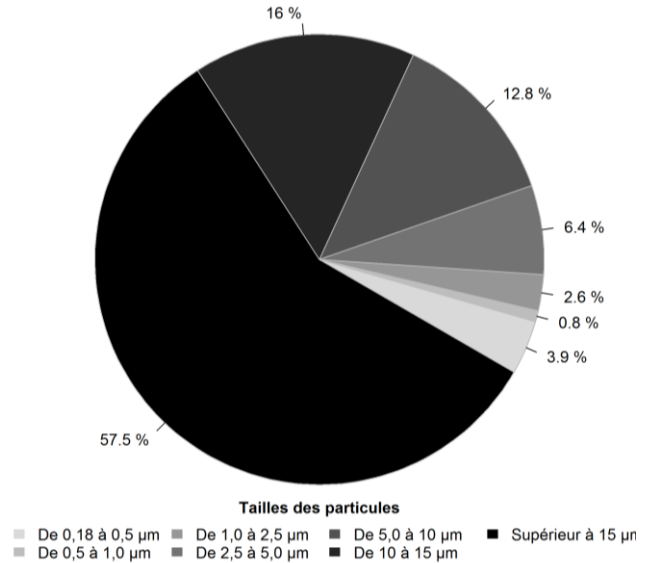
De même, les particules de diamètre supérieur à 5 µm représentent moins de 0.025% du nombre total de particules alors qu'elles sont prédominantes en masse. Elles représentent environ 85% de la concentration des particules sur le quai du métro quelque soit la période de mesures.

Répartition en concentration massique des particules
Station Compans Caffarelli
- Période froide -



Graph 8 : Répartition en concentration massique des particules dans la station de métro Compans Caffarelli - période froide 2018

Répartition en concentration massique des particules
Station Compans Caffarelli
- Période chaude -



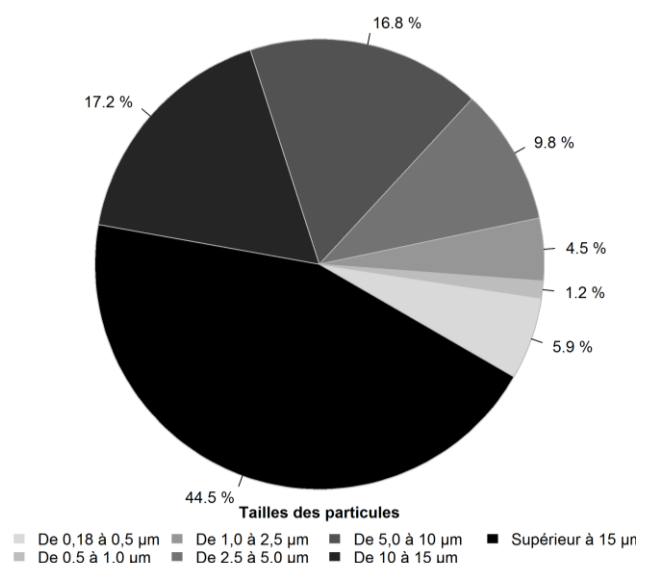
Graph 9 : Répartition en concentration massique des particules dans la station de métro Compans Caffarelli - période chaude 2018

Dans l'air ambiant extérieur, la répartition en masse des particules est légèrement différente. Les très petites particules de diamètre inférieur à 0.5 µm ainsi que les particules de diamètre compris entre 2,5 et 15 µm sont proportionnellement plus présentes au détriment des plus grosses particules (de diamètre supérieur à 15 µm).

Pour les classes de particules de taille comprise entre 0.15 et 10 µm, les concentrations mesurées dans les deux environnements sont similaires.

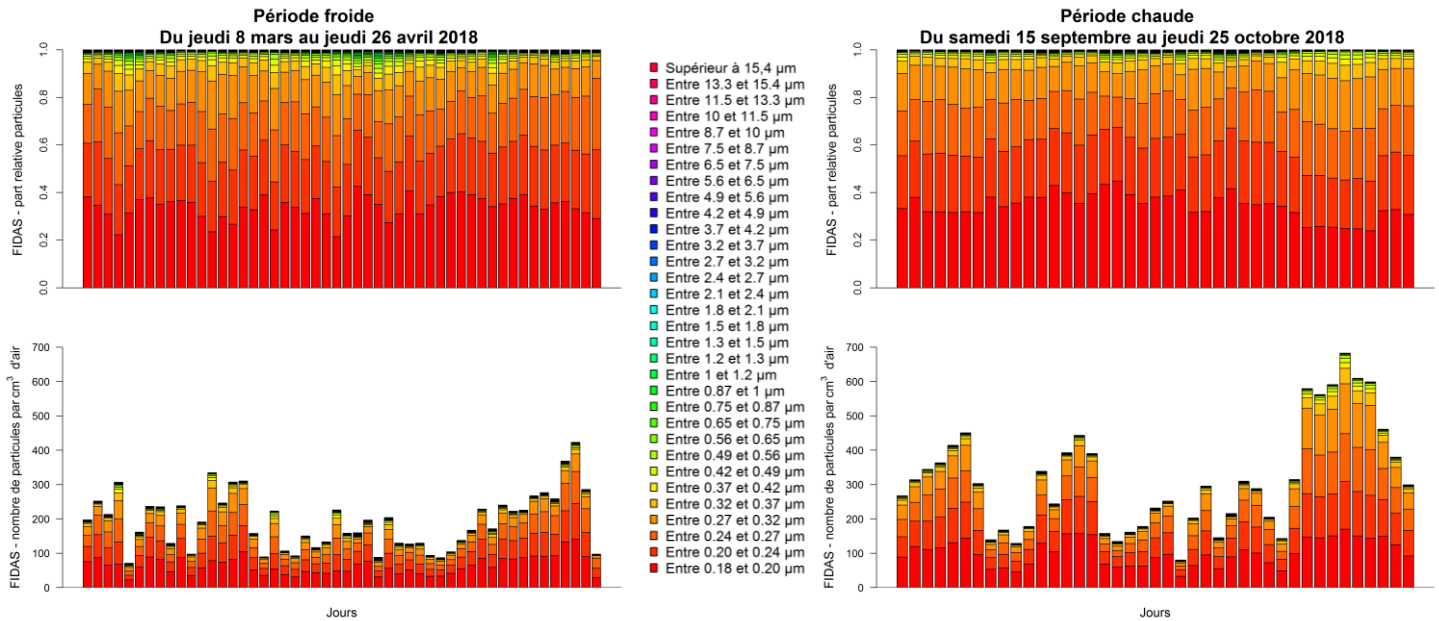
Dans l'air extérieur, les particules de taille inférieure à 1 µm représentent 7% de la masse de l'ensemble des particules tandis que celles supérieures à 5 µm représentent 79% de la concentration.

Répartition en concentration massique des particules
Dans l'air ambiant toulousain
- Période chaude -



Graph 10 : Répartition en concentration massique des particules dans l'air urbain toulousain - période chaude

La répartition des particules dans 32 classes de taille met en évidence un nombre et une proportion des particules les plus fines plus faible au cours la période froide. Cette variation saisonnière est sans doute liée à la ventilation qui est le paramètre qui varie selon la saison.



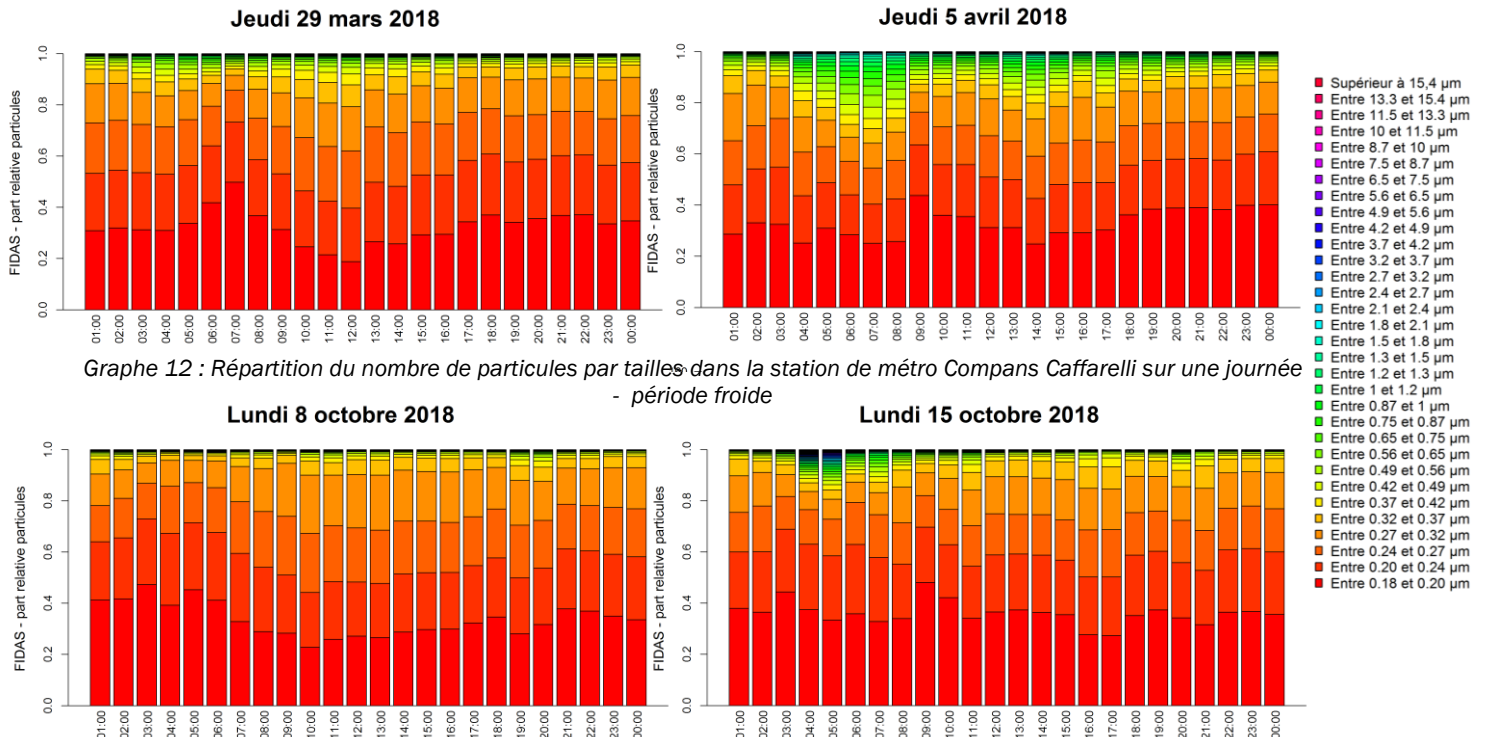
Graphe 11 : Comparaison des répartitions de tailles des particules dans la station de métro Compans Caffarelli pour chaque jour de mesures

Une répartition en taille variable en fonction de l'heure

La répartition du nombre de particules par taille évolue au cours de la journée.

Pour les deux périodes de mesures, nous constatons, à certaines heures de la journée, l'augmentation de la part

de particules de taille plus importante. Cette hausse est essentiellement observée la nuit pendant la fermeture du métro lorsque le nombre de particules est le plus faible. Elle n'est cependant pas observée chaque jour.

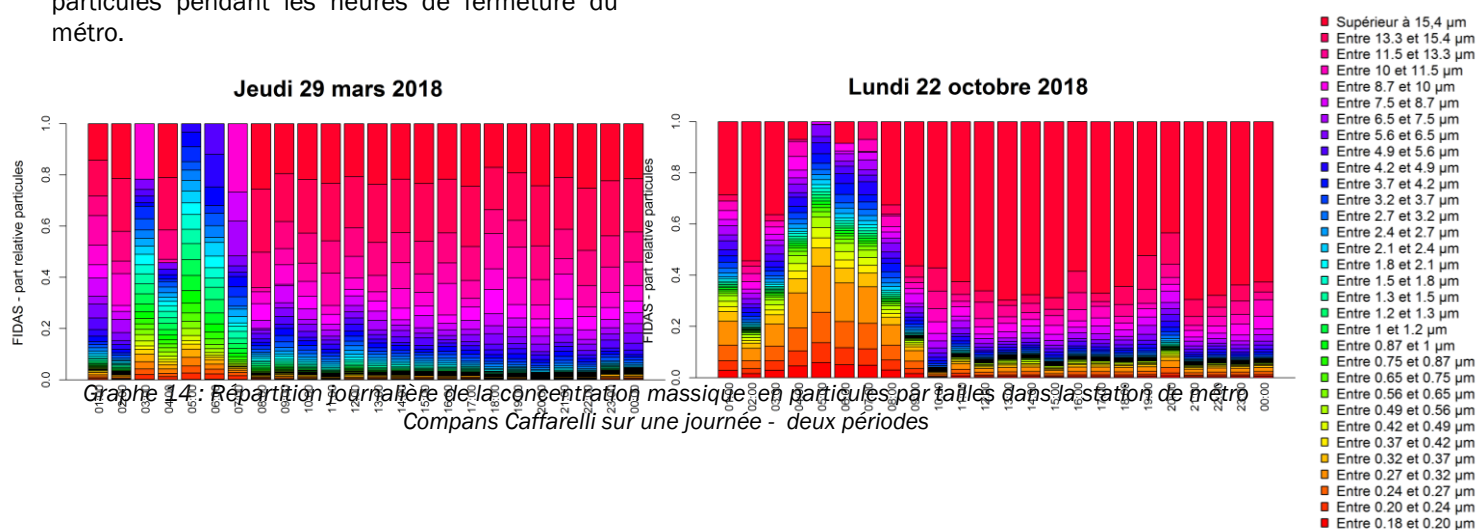


Graphe 12 : Répartition du nombre de particules par tailles dans la station de métro Compans Caffarelli sur une journée - période froide

Graphe 13 : Répartition du nombre de particules par tailles dans la station de métro Compans Caffarelli sur une journée - période chaude

La même répartition faite à partir des concentrations met en évidence, certains jours, une diminution de la part des plus grosses particules pendant les heures de fermeture du métro.

Les particules les plus grosses, de taille supérieure à 10 µm, se déposent alors que les autres restent dans l'air.



En 2019, le même protocole de mesures sera appliqué dans la station de métro Esquirol. Des mesures de particules par FIDAS seront faites simultanément dans l'environnement urbain toulousain. Cette seconde campagne de mesures permettra de valider les premières observations faites.

Des concentrations en PM10 stables depuis 2014

Sur les quais des deux stations de métro de la ligne B, les concentrations moyennées en particules des deux périodes de mesures de l'année 2018 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2016.

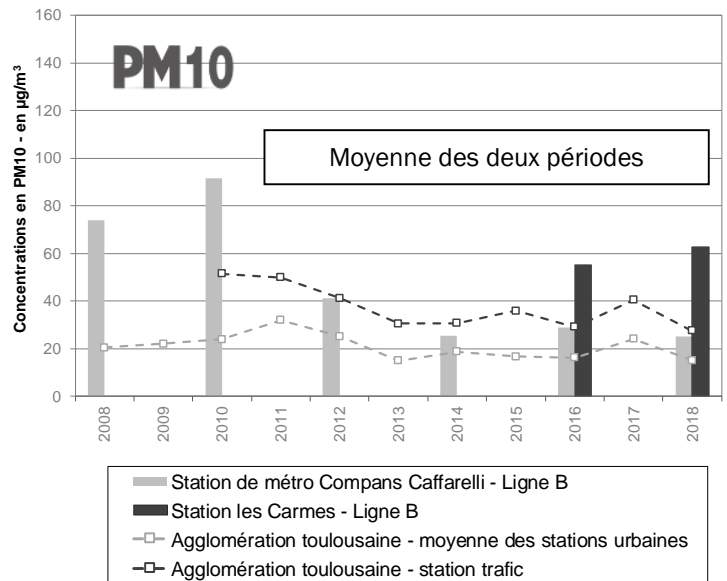
Entre 2010 et 2014, les niveaux moyens de particules PM10 sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli ont chuté de 73%. Ils sont stables depuis 2014. **Cette baisse est due à la forte diminution des niveaux de concentration rencontrés en période froide entre 2010 et 2014. Depuis 2014, ils sont du même ordre de grandeur que les niveaux de concentration rencontrés en période chaude.**

En moyenne sur les deux périodes, les concentrations relevées dans cette station de métro sont similaires à celles relevées dans l'air ambiant en proximité routière.

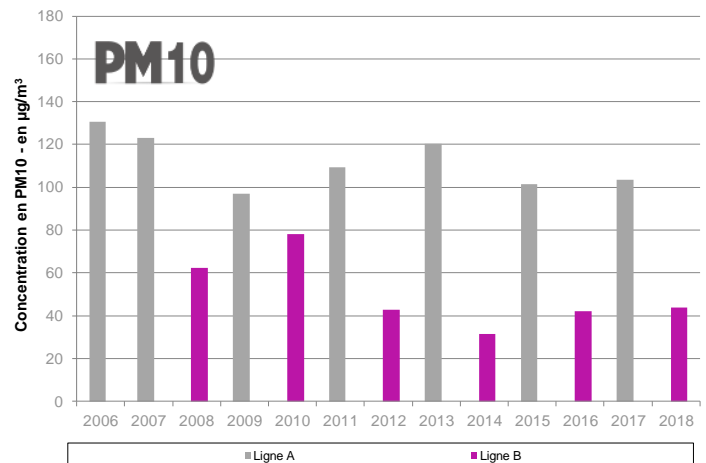
Pour la station de métro Les Carmes, les concentrations relevées sont environ 2 fois plus élevées que celles relevées dans l'air ambiant en proximité routière.

En 2018, les niveaux mesurés sur la ligne B sont 2.5 fois plus faibles que ceux rencontrés sur la ligne A.

Ces différents résultats semblent mettre en évidence une évolution du renouvellement de l'air dans les stations de métro de la ligne B. Des informations sur les débits de ventilation des ventilateurs stations de métro et tunnels ainsi que sur les plages de fonctionnement réelles des ventilateurs en période froide permettraient une meilleure compréhension des observations faites.



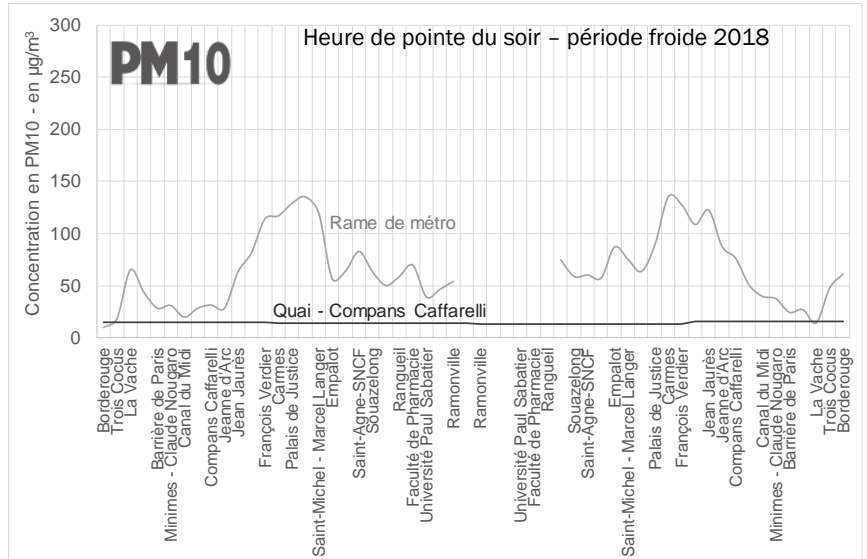
Graph 15 : Évolution des concentrations en **PM10** mesurées sur le quai des stations de métro **COMPANS CAFFARELLI** et **LES CARMES** en **MOYENNE SUR LES DEUX CAMPAGNES DE MESURES** depuis 2008 et comparaison avec les concentrations rencontrées dans l'air ambiant.



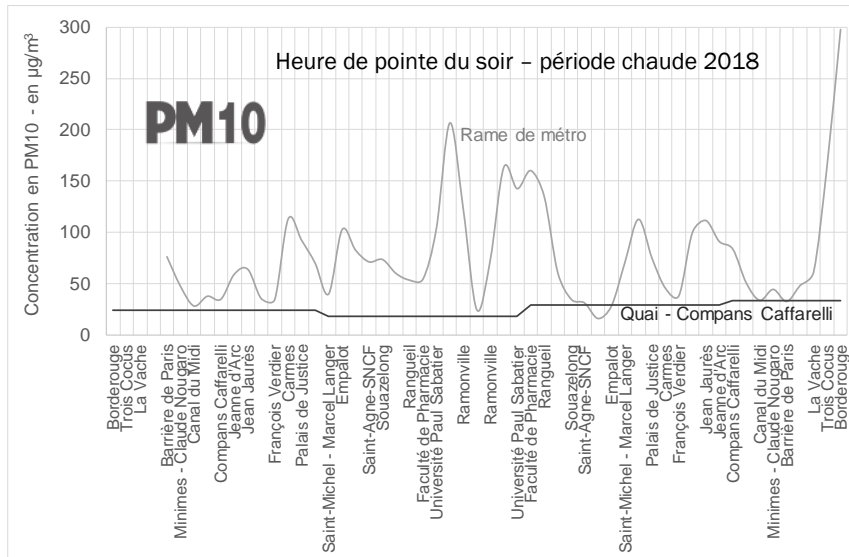
Graph 16 : Évolution des niveaux en **PM10** mesurés dans les deux lignes de métro depuis 2006.

Des niveaux de PM10 plus élevés dans les rames

Les teneurs 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. Elles sont cependant généralement plus élevées que celles mesurées sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli.

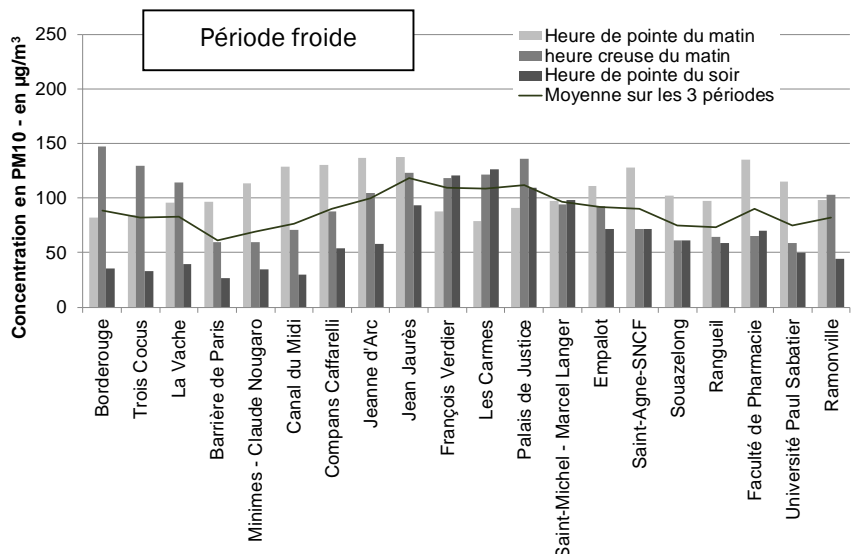


Graph 17 : Évolution des concentrations en **PM10** dans une rame de métro à l'heure de pointe du soir - **PÉRIODE FROIDE**



Graph 18 : Évolution des concentrations en **PM10** dans une rame de métro à l'heure de pointe du soir - **PÉRIODE CHAUDE**.

Les niveaux de particules dans les rames de métro varient le long du parcours sans qu'une tendance ne soit mise en évidence. Les concentrations sont 1.6 fois plus élevées en période froide en comparaison de la période chaude alors qu'elles sont similaires pour les deux périodes de mesures sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli.



Graph 19 : Évolution des concentrations en **PARTICULES PM10** dans les rames de métro pendant la **PÉRIODE FROIDE**.

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 Compans Caffarelli et les Carmes sont plus de 20 fois inférieures à la Valeur Limite de Moyenne Exposition.

PM10		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm		
		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de longue durée	Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)	OUI	5 000 µg/m ³ sur 8 heures	Maximum sur huit heures : Compans Caffarelli : 157 µg/m ³ (période froide) Les Carmes: 201 µg/m ³ (période froide)

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des concentrations moyennes inférieures à celles relevées 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.

Les concentrations en particules relevées par le réseau de Surveillance de la Qualité de l'air de l'Environnement Souterrain parisien (réseau SQUALES) tiennent compte de la fraction volatile des particules. Dans le réseau de métro toulousain, les analyseurs de particules mis en œuvre ne tiennent pas compte de cette fraction volatile. A ce jour, aucune étude n'a été réalisée dans le métro toulousain pour estimer la part des particules volatiles sur les particules totales. Dans l'air ambiant extérieur,

sur l'agglomération toulousaine, la fraction volatile des particules est calculée. Cependant, elle ne peut être utilisée, car les particules dans le métro n'ont pas les mêmes sources d'émission que celles rencontrées à l'extérieur.

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 pour les campagnes de mesures hivernale et estivale dans le métro toulousain.

		Concentrations en PM10 - en µg/m ³	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Du 26 mars au 09 avril 2018			
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	Pas de mesures sur Open Data	
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	20% de mesures pendant la période	
	Auber (RER ligne A)	163	481
Toulouse	Compans Caffarelli - métro ligne B	27	192
	Les Carmes - métro ligne B	75	224

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Les particules PM2,5 sont également mesurées en continu dans la station AUBER. Pendant la période froide, la concentration moyenne a été de 59 µg/m³ et le maximum horaire a été de 171 µg/m³. Sur la même période, la concentration moyenne mesuré sur le quai de Compans Caffarelli a été de 14 µg/m³ et le maximum horaire a été de 135 µg/m³

Du 26 septembre au 10 octobre 2018		Concentrations en PM10 - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	Pas de mesures sur Open Data	
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	45	186
	Auber (RER ligne A)	Pas de mesures sur Open Data	
Toulouse	Compans Caffarelli - métro ligne B	23	65
	Les Carmes - métro ligne B	19	90

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

Dans l'enceinte de la ligne B du métro toulousain, les niveaux de particules sont inférieurs à ceux mesurés sur le réseau de la RATP.

NO₂

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

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect de la valeur guide fixée sur une heure dans l'enceinte du métro.
- Respect de la Valeur Limite d'Exposition fixée par les ambiances de travail.
- Les niveaux de concentration mesurés sur les quais sont corrélés à ceux observés dans l'air ambiant extérieur

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

SOURCES

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont émis lors des phénomènes de combustion. Le monoxyde d'azote NO s'oxyde rapidement en NO₂. 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 SANTÉ

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/m³, 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

Sur les deux périodes de mesures, la valeur guide fixée sur 1 heure n'a jamais été atteinte.

		DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂		
		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 ³ en maximum horaire	Sur le quai de la station de métro Esquirol : 143 µg/m ³ en moyenne horaire glissante (période chaude)
		OUI		Dans les rames de métro : 40 µg/m ³ sur 55 minutes (période chaude)

µg/m³ : microgramme par mètre cube

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

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

Des mesures sur 14 jours 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 le tableau ci-dessous nous résumons les concentrations obtenues sous forme de statistiques pendant la campagne hivernale pour les 20 stations de métro de la ligne B ainsi que pour les stations fixes toulousaines.

En période froide, les températures diurnes sont plus basses que la température de confort. La ventilation

mécanique du métro fonctionne peu, le dioxyde d'azote de l'extérieur est peu introduit dans l'enceinte du métro. Les concentrations en NO₂ rencontrées dans les stations de métro comprises entre celles mesurées par les stations extérieures urbaines et celles rencontrées à proximité du trafic routier de l'agglomération toulousaine.

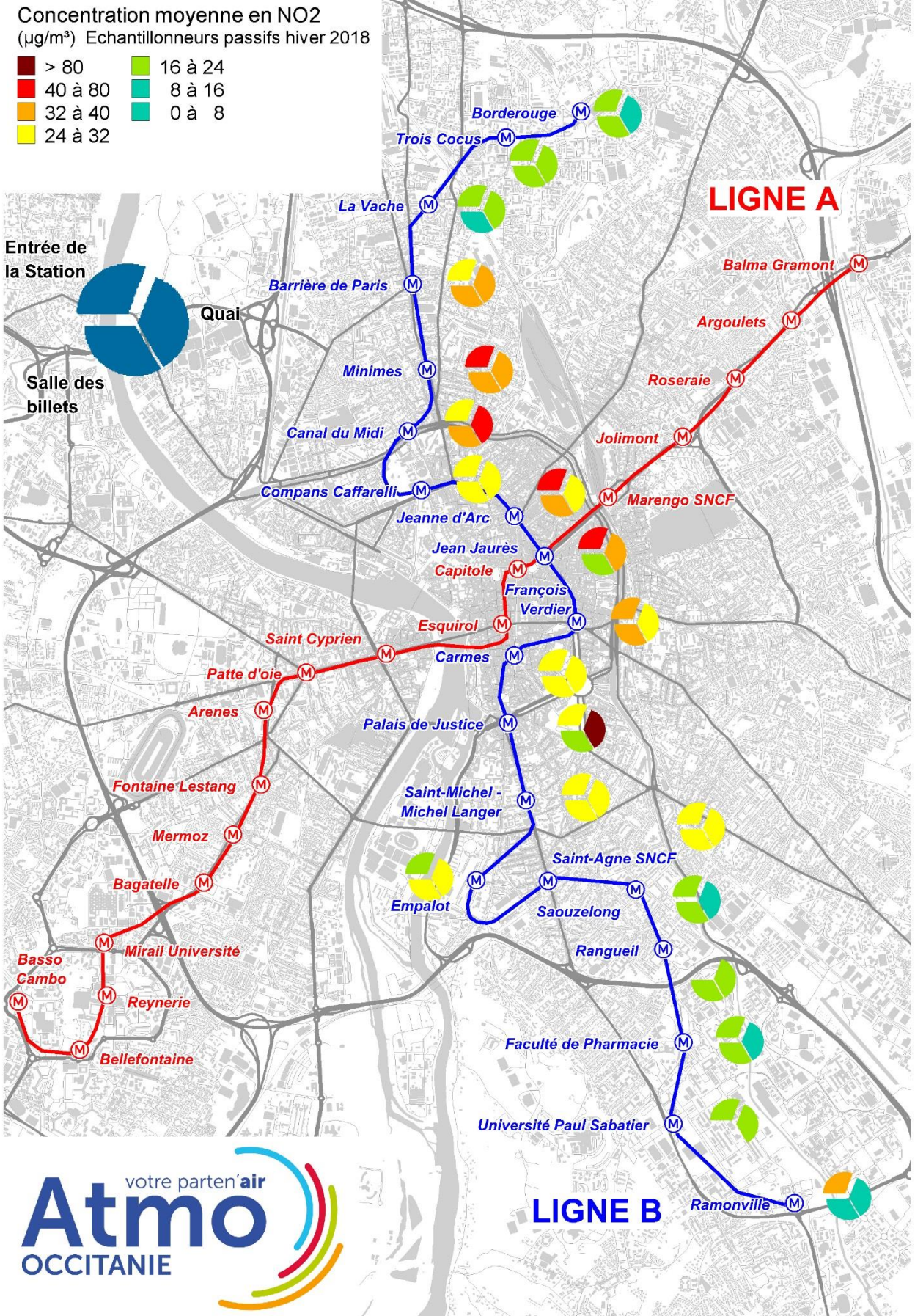
On note une concentration moyenne en dioxyde d'azote élevée sur le quai de la station de métro Palais de Justice. Elle est nettement supérieure à celle relevée dans l'air extérieur et dans la salle des billets.

Campagne période froide Du 12/03 au 26/03/2018	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en NO ₂ - en µg/m ³		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	19	17	28	52
Salles de billets	19	14	25	39
Quais	20	13	28	83

µg/m³ : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en NO ₂ - en µg/m ³
Stations urbaines toulousaines	17
Station trafic boulevard toulousain	35

µg/m³ : microgramme par mètre cube



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

En période chaude, la ventilation fonctionne en continu introduisant dans l'enceinte du métro le NO₂ issu du trafic routier. Dans l'air extérieur, des processus de réactions photochimiques entraînent la destruction du NO₂ émis tandis que dans le métro, le NO₂ n'est pas détruit. **Les concentrations en dioxyde d'azote rencontrées dans les stations de métro se rapprochent de celles mesurées à l'extérieur en proximité trafic.**

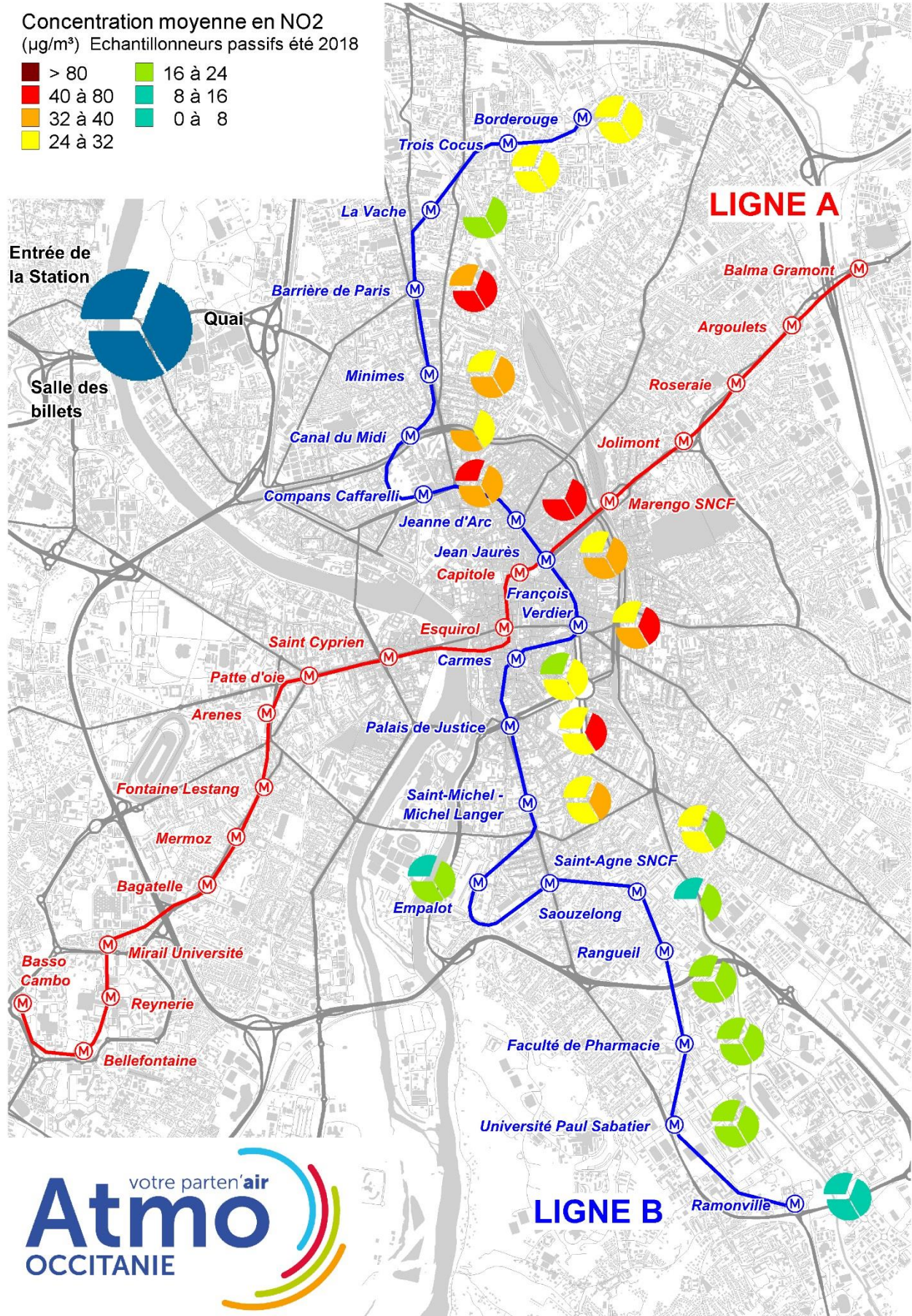
Comme lors de la période froide, une concentration moyenne en dioxyde d'azote élevée est mesurée sur le quai de la station de métro Palais de Justice. **Elle est nettement supérieure à celle relevée dans l'air extérieur et dans la salle des billets.** Nous ne disposons d'aucun élément permettant d'expliquer cette mesure. **Une étude complémentaire pourrait être réalisée dans cette station afin de déterminer si ces niveaux de dioxyde d'azote sont exceptionnels ou réguliers et dans ce cas en chercher la cause.**

Campagne période chaude Du 19/09 au 03/10/2018	Nombre d'échantillons récupérés	Concentrations en NO ₂ - en µg/m ³		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	17	13	23	43
Salles de billets	19	16	29	45
Quais	20	16	32	79

µg/m³ : microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en NO ₂ - en µg/m ³
Stations urbaines toulousaines	18
Station trafic boulevard toulousain	43

µg/m³ : microgramme par mètre cube



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

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 NO₂ 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.

Des niveaux de concentration supérieurs à ceux mesurés en fond urbain

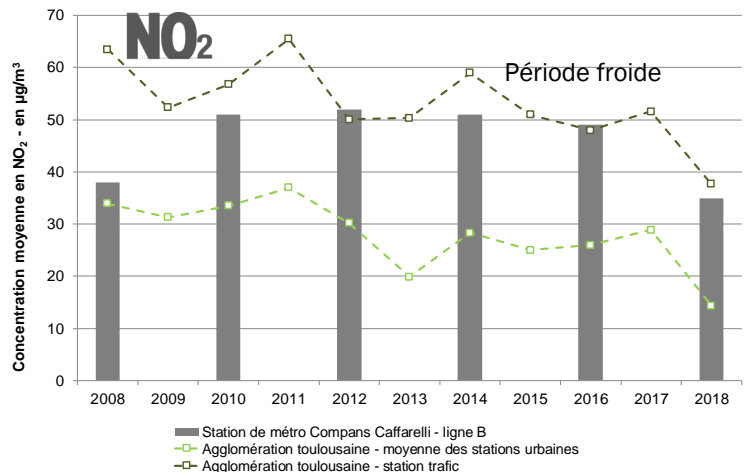
Les concentrations moyennes en NO₂ relevées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli pendant la période froide 2018 sont plus faibles que celles relevées les années précédentes.

Cette baisse des concentrations peut être attribuée à la période de mesures. En effet, la campagne de mesures a eu lieu plus tardivement en 2018. Elle a été menée sur les mois de mars et avril 2018, période pendant laquelle les conditions atmosphériques sont plus dispersives, alors que les campagnes précédentes avaient été réalisées en janvier.

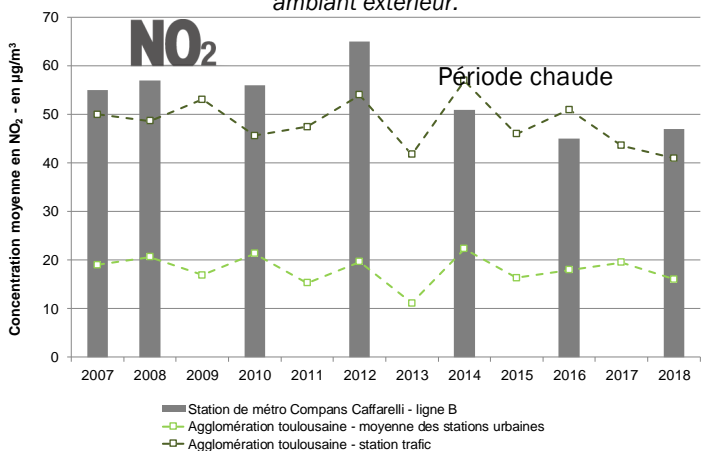
En période froide, les niveaux relevés sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont 2,5 fois plus élevés que ceux mesurés dans l'air ambiant en fond urbain. Ils sont 12% inférieurs aux niveaux mesurés sur les boulevards toulousains.

Pour la période chaude, les niveaux observés pour la station de métro Compans Caffarelli tendent à se stabiliser après la baisse observée entre 2012 et 2016.

Les niveaux relevés sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli sont près de 3 fois plus élevés que ceux mesurés dans l'air ambiant en fond urbain. Ils sont 15% supérieurs aux niveaux mesurés sur les boulevards toulousains.



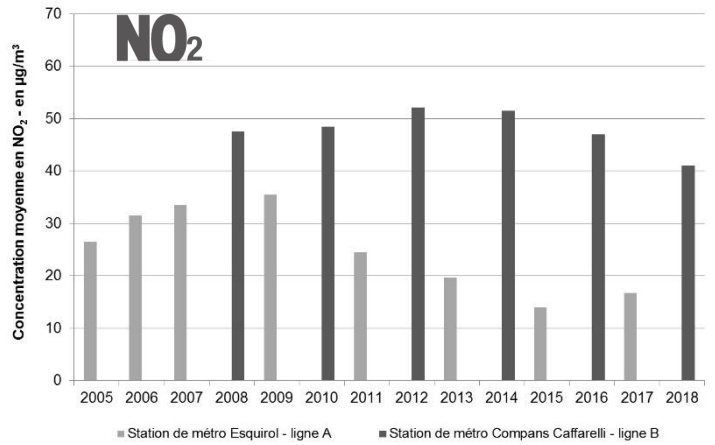
Graph 20 : Evolution des concentrations moyennes en DIOXYDE D'AZOTE sur la période froide mesurées dans la station de métro COMPANS CAFFARELLI depuis 2005 et comparaison avec les concentrations rencontrées dans l'air ambiant extérieur.



Graph 21 : Evolution des concentrations moyennes en DIOXYDE D'AZOTE sur la période chaude mesurées dans la station de métro COMPANS CAFFARELLI depuis 2007 et comparaison avec les concentrations rencontrées dans l'air ambiant extérieur.

Les concentrations sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli sont 2.5 fois plus élevées que les niveaux mesurés sur le quai de la station de métro Esquirol sur 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 tunnels plus important sur la ligne B induit des teneurs en NO₂ plus élevées par rapport à la ligne A.

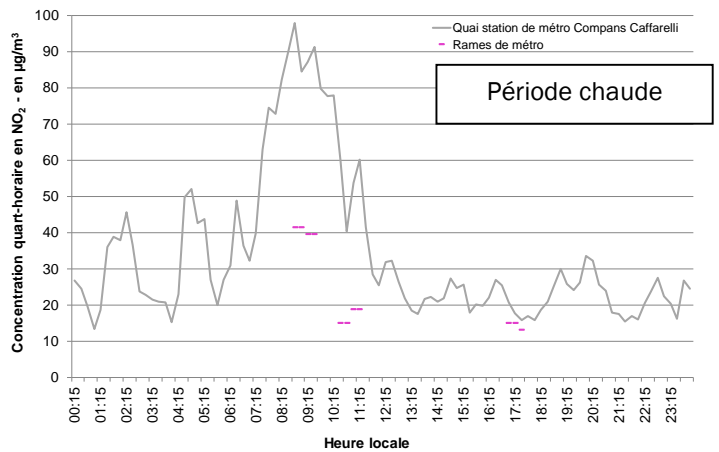
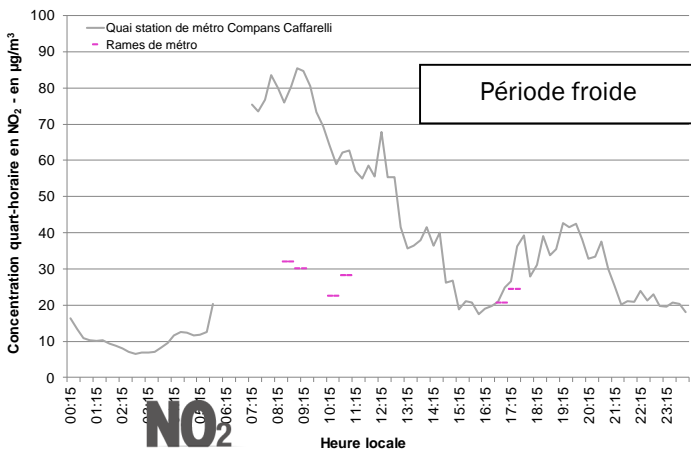


Graph 22 : Evolution des concentrations en DIOXYDE D'AZOTE en moyenne sur les deux périodes mesurées dans une station de métro de la ligne A depuis 2005 et comparaison avec les concentrations mesurées sur la ligne B.

Des concentrations quart-horaires faibles dans les rames de métro

En période froide comme en période chaude, les concentrations en NO₂ rencontrées dans les rames de

métro sont plus faibles que celles relevées dans la station de métro Compans Caffarelli.



Graph 23 : Comparaison des concentrations en DIOXYDE D'AZOTE rencontrées dans les RAMES DE MÉTRO avec celles mesurées sur le quai de la station de métro COMPANS CAFFARELLI.

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 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 Compans Caffarelli et donc nettement inférieures à la VLE fixée.

		Dioxyde d'azote - NO ₂		
		Respect de la VLE	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'Exposition (VLE)	OUI	6 000 µg/m ³ sur 15 minutes	Maximum sur 15 minutes : Quai de la station de métro Compans Caffarelli : 147 µg/m ³ (période chaude)
				Maximum sur 25 minutes : Rames de métro : 41 µg/m ³ (période chaude)

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Des concentrations moyennes similaires à celles relevées 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 NO₂ rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien pour les deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Du 08 mars au 26 avril 2018		Concentrations en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	Pas de mesures sur Open Data	
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	20% de mesures pendant la période	
	Auber (RER ligne A)	49	164
Toulouse	Compans Caffarelli - métro ligne B	35	105

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Du 12 septembre au 25 octobre 2018		Concentrations en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	Pas de mesures sur Open Data	
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	55	152
	Auber (RER ligne A)	Pas de mesures sur Open Data	
Toulouse	Compans Caffarelli - métro ligne B	47	143

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Pour les deux périodes de mesures, les teneurs moyennes en NO₂ rencontrées sur les quais de la station de métro toulousaine Compans Caffarelli sont, en moyenne et en maximum horaire, légèrement inférieures à celles relevées dans le réseau francilien.

Dans les environnements souterrains parisiens et toulousains, pendant le service voyageur, aucune

source de NO₂ n'est imputable à l'activité métro. Le NO₂ présent est issu de l'environnement extérieur. **Les variations de concentration entre les deux réseaux de métro sont sans doute imputables aux niveaux de NO₂ dans l'air ambiant extérieur et à la ventilation des stations de métro.**



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

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect de la valeur guide en vigueur en 2018.
- Le benzène provient majoritairement de l'extérieur mais des sources internes peuvent ponctuellement engendrer une hausse des concentrations.
- Respect de la Valeur de Moyenne Exposition fixée pour les ambiances de travail.
- Des niveaux en benzène relativement stables d'une campagne de mesures à l'autre.

LE BENZÈNE : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTÉ 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 SANTÉ

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 2018.

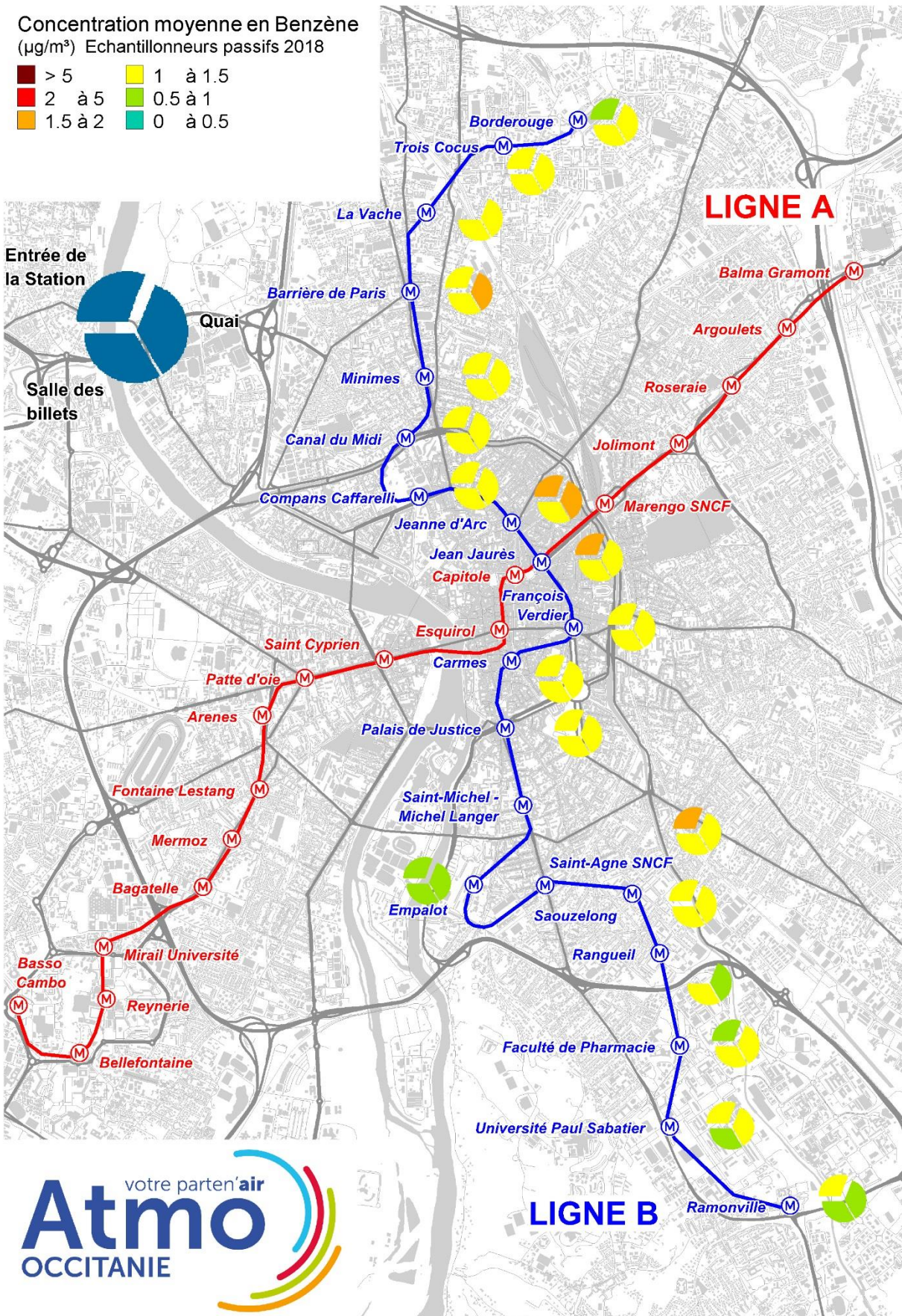
Cette réglementation est fixée pour une année d'exposition or, les usagers du métro toulousain sont présents dans l'enceinte du métro pendant un laps de temps assez court estimé à 1 heure maximum par jour.

		BENZÈNE		
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	OUI	2 µg/m ³ en moyenne annuelle	Moyenne maximale sur les deux périodes de mesures : Jeanne d'Arc : 1,5 µg/m ³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

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

Concentration moyenne en Benzène
($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Echantillonneurs passifs 2018



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

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 dans une moindre mesure par 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 en comparaison de 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 12/03 au 26/03/2018	Nombre d'échantillonneurs récupérés	Concentrations en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
		Minimum	Moyenne	Maximum
Entrée des stations de métro (air extérieur)	17	0.9	1.3	2.1
Salles de billets	19	0.9	1.2	1.5
Quais	18	0.9	1.4	2.0

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

	Concentrations moyenne en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stations urbaines toulousaines	1.3
Station trafic boulevard toulousain	1.6

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

Campagne période chaude Du 19/09 au 03/10/2018	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	0.8	1.2	1.7
Salles de billets	19	0.7	1.1	1.6
Quais	19	0.7	1.1	1.6

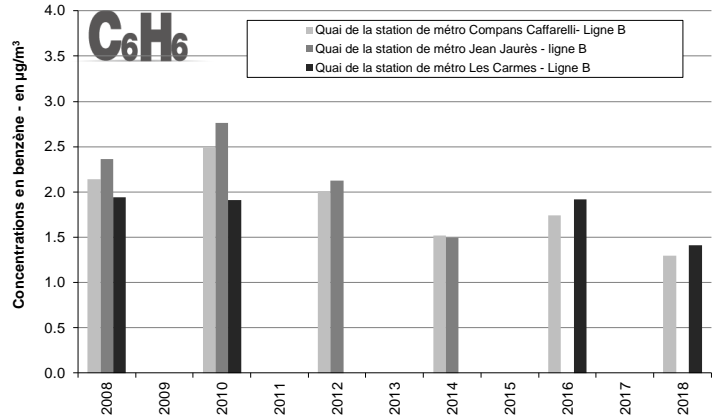
$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme par mètre cube

	Concentrations moyenne en benzène - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stations urbaines toulousaines	2.1
Station trafic boulevard toulousain	1.0

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

Des niveaux stables

Les niveaux moyennés des deux périodes de mesures chaude et froide en 2018 sont légèrement plus faibles que ceux rencontrés lors des précédentes campagnes de mesures.



Graphe 24 : Évolution des concentrations en **BENZÈNE** en moyenne sur les deux périodes mesurées dans les stations de métro de la ligne B depuis 2008.

Des concentrations quart-horaires 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 légèrement supérieures à celles

relevées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli pendant la même période de prélèvement.

		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période chaude	Rames	2.5	1.9	Dysfonctionnement
	Quai de la station de métro Compans Caffarelli	2.7	1.7	1.7
Période froide	Rames	3.2	3.0	1.3
	Quai de la station de métro Compans Caffarelli	2.7	1.0	1.0

µg/m³ : microgramme par mètre cube

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	Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)	OUI	3 250 µg/m³ sur 8 heures	Maximum sur 1 heure et 20 minutes : Rames de métro : 3.2 µg/m³ Quai de la station de métro Compans Caffarelli : 2.7 µg/m³
				Maximum sur 15 jours : Salle des billets de la station de métro Jeanne d'Arc : 1.6 µg/m³ Quai de la station de métro Jeanne d'Arc : 2.0 µg/m³

µg/m³ : microgramme par mètre cube

CONFINEMENT

ANNEXE IV : RÉSULTATS DES MESURES DE CONFINEMENT SUR LA LIGNE B 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 Compans Caffarelli et Les Carmes.
- 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 CONFINEMENT : DÉFINITION ET EFFETS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

DÉFINITION

Le dioxyde de carbone, est un composé chimique de formule CO₂. Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante. Le CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂. Le gaz carbonique est donc un indicateur du taux de renouvellement d'air pour l'air intérieur. Ainsi, dans un local mal ventilé, le CO₂ 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 SANTÉ

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 CO₂ 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 CO₂ supérieures à 850 ppm en moyenne sur une journée de travail.

Concernant les effets intrinsèques du CO₂, il est observé qu'une récente étude expérimentale sur 22 sujets humains adultes suggère un effet propre du CO₂ sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) à partir de 1000 ppm.

Recommandation du règlement sanitaire départemental ponctuellement dépassée

CONFINEMENT		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 : Compans Caffarelli : 844 ppm (période froide) Les Carmes : 1 018 ppm (période froide)

ppm : partie par million.

Un niveau de confinement satisfaisant dans le métro

Sur l'ensemble des mesures réalisées en 2018, les niveaux de CO₂ ont respectivement culminé à 844 ppm pour la station de métro Compans Caffarelli et 1 018 ppm pour la station de métro Les Carmes. 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 CO₂ 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 CO₂ dans les rames de métro, les niveaux ont été :

- légèrement supérieurs à ceux mesurés sur les quais pendant la période froide,
- du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur les quais pendant la période chaude.

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes a été de 1 084 ppm pendant la période froide et de 900 ppm pendant la période chaude.

Sur un pas de temps d'une minute, les variations des concentrations en CO₂ dans les rames de métro sont très importantes. Le maximum rencontré a été de 1 507 ppm pendant la période froide. Les niveaux de CO₂ 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 CO₂ dans les rames de métro.

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

Dans le cadre du plan de surveillance 2018 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 en période froide

En période froide, les concentrations moyennes sur la période ainsi que les concentrations maximales mesurées par le FIDAS sont largement sous-estimées quelle que soit la taille des particules en comparaison de celles mesurées par TEOM.

En période chaude, les concentrations moyennes fournies par le FIDAS sont similaires à celles mesurées par le TEOM. En revanche, de forts écarts sur les concentrations maximales sont à nouveau observés.

		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 ¹	Concentration moyenne sur la période	Concentration maximale horaire ¹
PM10	TEOM	27	192	23	65
	FIDAS	16	58	23	33
PM2,5	TEOM	14	135	13	64
	FIDAS	10	34	12	22
PM1	TEOM	9	21	11	25
	FIDAS	7	20	14	41

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

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

Des concentrations FIDAS horaires moyennement satisfaisantes

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.

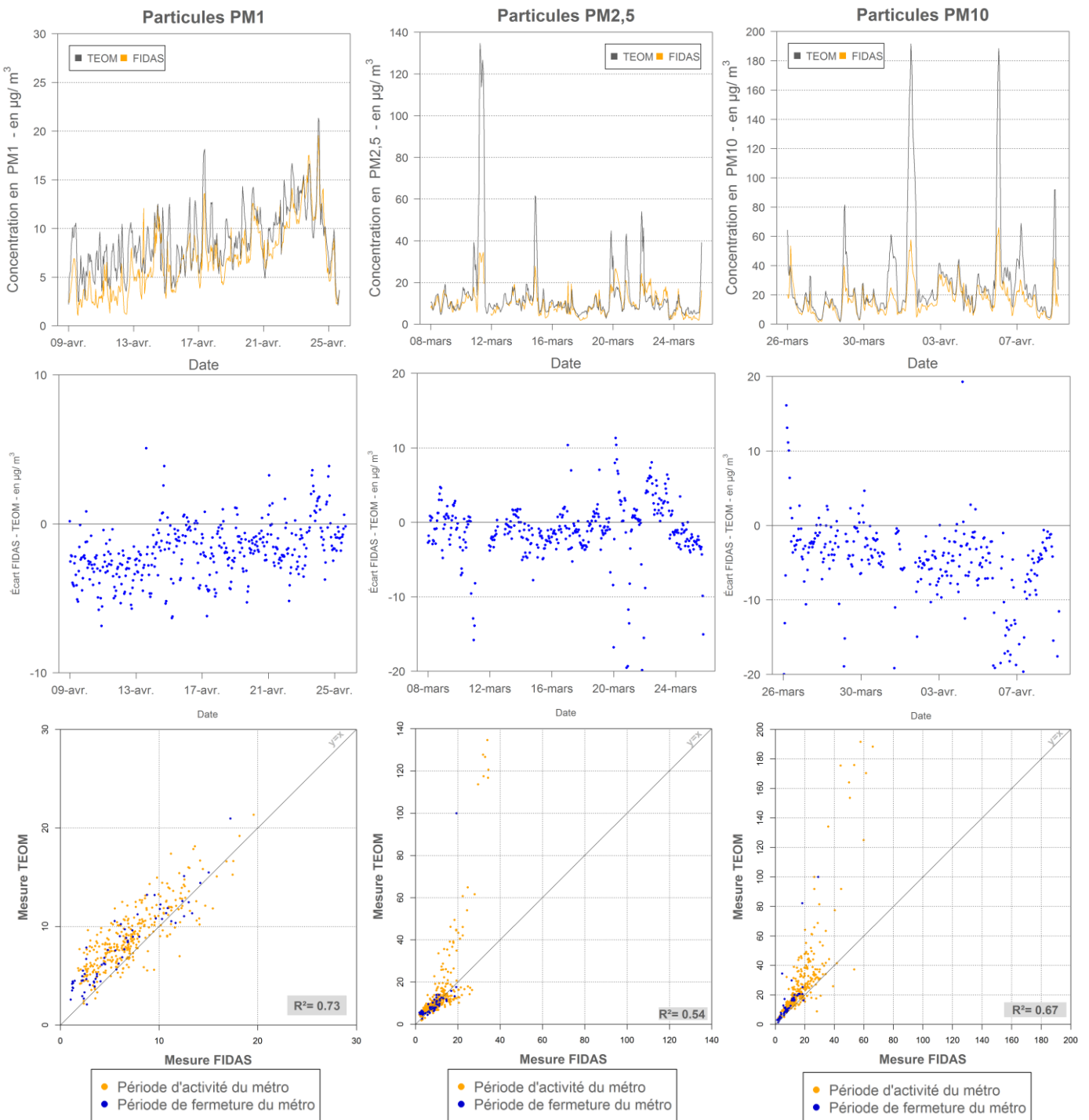
En période froide

Pour les PM1, les concentrations calculées par le FIDAS reproduisent correctement les concentrations mesurées. Cependant, on note une sous estimation moyenne de près de 2 µg/m³ du FIDAS. Cette sous estimation est assez homogène dans toute la gamme des concentrations. Cependant, ponctuellement, le FIDAS estime des pics de concentration assez élevés non observés avec le TEOM.

Pour les PM2,5 et les PM10, on note deux nuages de concentrations différents sans lien avec les périodes de fonctionnement et d'arrêt du métro.

Les concentrations en PM2,5 les plus faibles sont assez bien estimées tandis que les pics de concentration sont largement sous estimés.

Les concentrations en PM10 les plus faibles sont légèrement sous-estimées tandis que les pics de concentration sont largement sous estimés.



Graphes 25 : Comparaison des mesures horaires du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM - période froide 2018

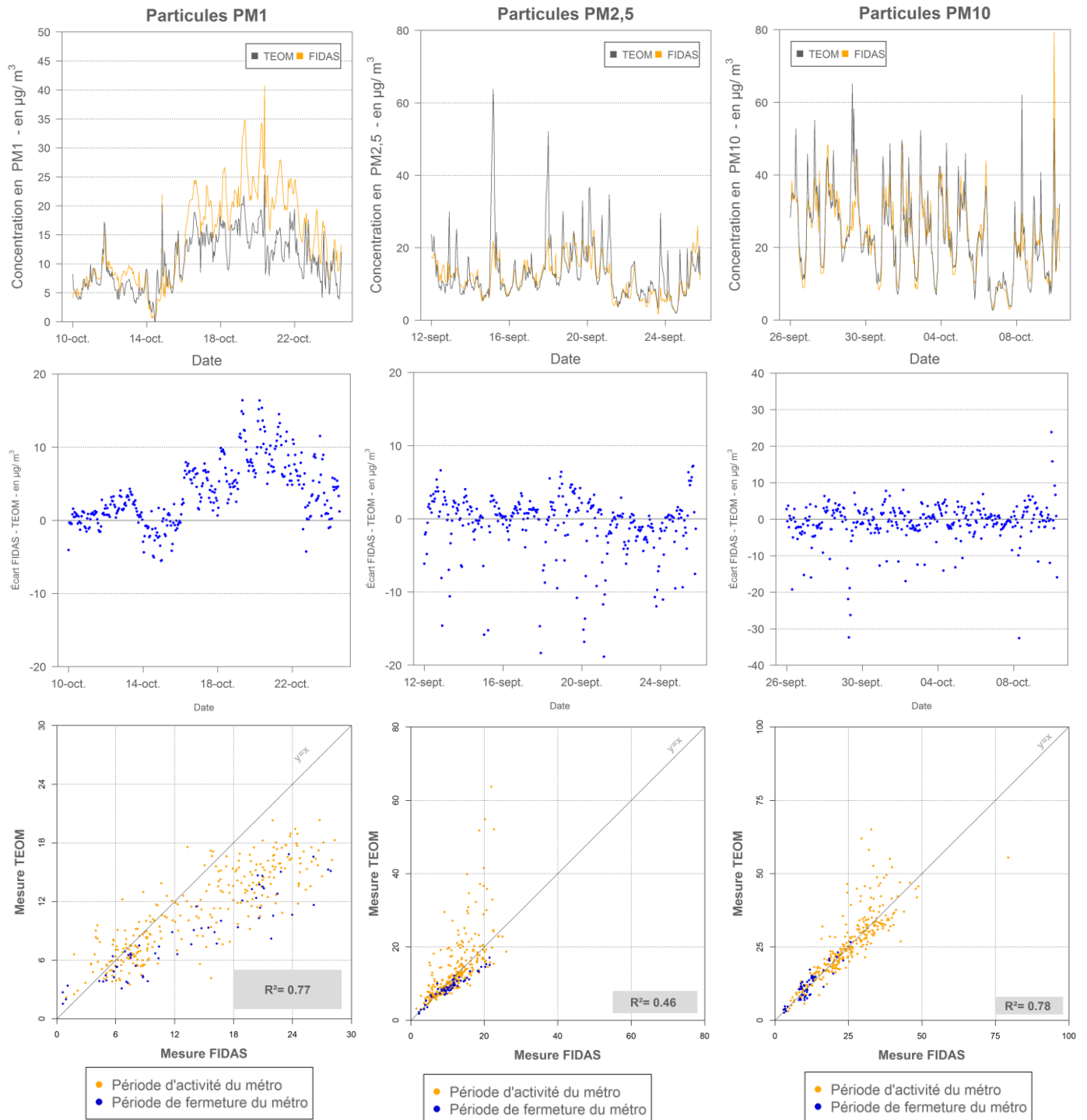
En période chaude

Pour les PM1, les concentrations calculées par le FIDAS reproduisent les concentrations mesurées selon une droite. On note une sur estimation du FIDAS plus particulièrement lorsque les concentrations augmentent. En moyenne, les concentrations fournies par le FIDAS sont surestimées de 4 µg/m³.

Pour les PM2,5 deux nuages de concentrations différents apparaissent comme lors de la période froide.

Les concentrations en PM2,5 les plus faibles sont assez bien estimées tandis que les pics de concentration sont largement sous estimés.

Pour les PM10, les concentrations calculées par le FIDAS reproduisent les concentrations mesurées selon la droite $y=x$. Les concentrations en PM10 les plus faibles sont correctement estimées. En revanche ; les pics de concentration sont largement sous estimés.



Graphes 26 : Comparaison des mesures horaires du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM - période chaude 2018

Tests d'amélioration 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.

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.

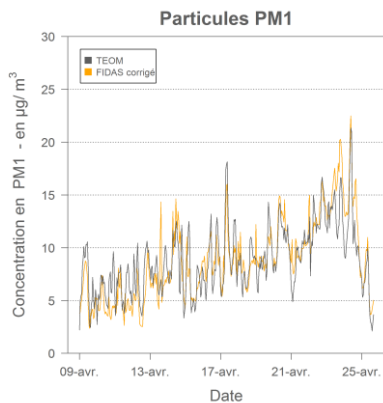
Redressement des concentrations à l'aide de la droite de régression

Sur les concentrations horaires, la présence de deux nuages de concentrations pour les fractions PM10 et PM2,5 ne permet pas l'obtention d'une droite de régression satisfaisante pour corriger les concentrations brutes fournies par le FIDAS. Seules les particules PM1 sont donc corrigées.

Sur les concentrations horaires, les concentrations corrigées en PM1 apparaissent mieux calées avec celles

fournies par le TEOM. L'écart entre les concentrations maximales horaires relevées sur la période et celles obtenues en corrigeant les concentrations du FIDAS est faible. Les concentrations maximales des deux périodes sont donc bien estimées.

Période froide

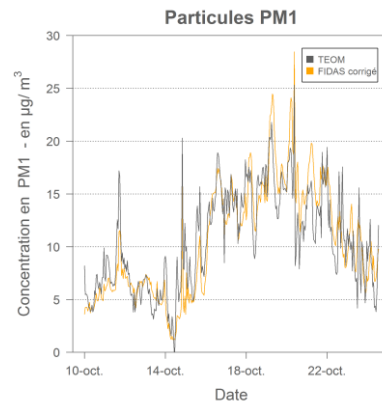


Concentration horaire maximale mesurée le 24/04 - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

TEOM	21
FIDAS	20
FIDAS-corrigé	22

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

Période chaude



Concentration horaire maximale mesurée le 21/10 - en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

TEOM	25
FIDAS	41
FIDAS-corrigé	28

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

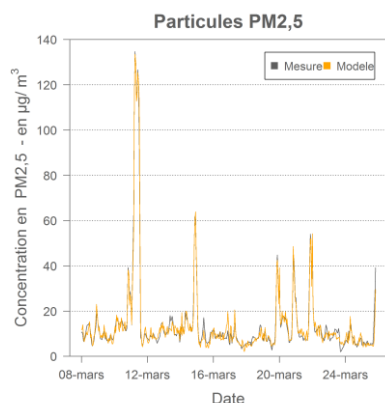
Graphie 27 : Comparaison des mesures corrigées du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM – Particules PM1

Utilisation de la méthode de l'adaptation statistique

Pour les PM1, le modèle d'adaptation statistique ne permet pas d'améliorer l'estimation des concentrations. En revanche, le modèle d'adaptation obtenu permet une très bonne estimation de toutes les gammes de concentrations en PM10 et PM2,5 en période froide.

En période chaude, l'évolution des concentrations est bien représentée par le modèle. Cependant, les pics de concentration sont largement sous-estimés.

Période froide

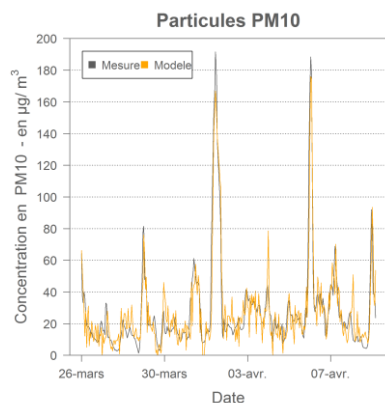


Concentration horaire maximale mesurée le 11/03 - en µg/m³

TEOM	135
FIDAS	34
FIDAS-corrigé	134

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Période froide

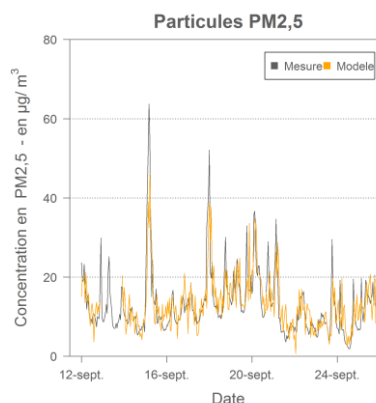


Concentration horaire maximale mesurée le 01/04 - en µg/m³

TEOM	192
FIDAS	58
FIDAS-corrigé	162

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Période chaude

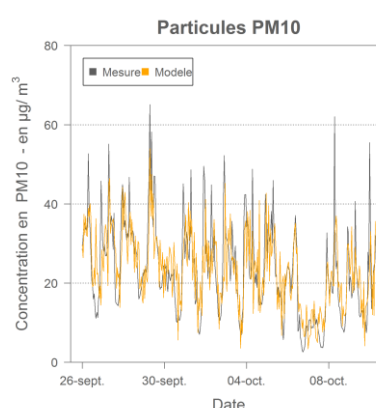


Concentration horaire maximale mesurée le 15/09 - en µg/m³

TEOM	64
FIDAS	22
FIDAS-corrigé	49

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Période chaude



Concentration horaire maximale mesurée le 29/09 - en µg/m³

TEOM	65
FIDAS	33
FIDAS-corrigé	52

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Graph 28 : Comparaison des mesures corrigées du FIDAS avec celles obtenues par le TEOM – Particules PM2,5 et PM10

Après correction des concentrations horaires selon les méthodes définies ci-dessus, les résultats obtenus sont encourageants. Les concentrations de fond mais également les pics sont bien estimés pour les PM1 pour les deux périodes de mesures ainsi que pour les PM2,5 et les PM10 pour la période froide, période au cours de laquelle les concentrations en particules sont les plus fortes du fait d'un fonctionnement moindre de la ventilation. Pour la période chaude, les concentrations maximales calculées sont plus proches de celles mesurées mais elles restent néanmoins nettement sous-estimées.

Pour l'instant, le FIDAS, méthode de mesures optique de particules, ne peut se substituer à la méthode de mesures de référence des particules dans les enceintes ferroviaires. Cependant cet appareil donne une estimation des niveaux rencontrés et permet de réaliser des comparaisons fiables entre des valeurs obtenues sur différents points. Il est donc préconisé dans le projet de protocole harmonisé de mesures 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.

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 2018

Les actions prévues dans le cadre du plan de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain – année 2018 étaient :

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

- Étude 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 NO₂ et benzène dans l'ensemble des stations de métro de la ligne.

Quais des stations de métro

Dispositif de mesures

Deux stations de métro ont été instrumentées :

- La station de métro Compans Caffarelli a été équipée d'appareils permettant la mesure de NO₂, particules et CO₂,
- La station de métro Les Carmes a été équipée d'appareils de mesure de PM10 et CO₂,

En 2018, les campagnes de mesures se sont déroulées :

- du 08 mars au 26 avril pour la période froide
- du 12 septembre au 25 octobre pour la période chaude.

Les analyseurs installés 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.

Au printemps 2018, le dispositif de suivi installé sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli 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 de référence.

Au cours de la campagne de mesures, la tête de prélèvement a été changée pour mesurer successivement les PM2,5, les PM10 et pour finir les PM1.



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

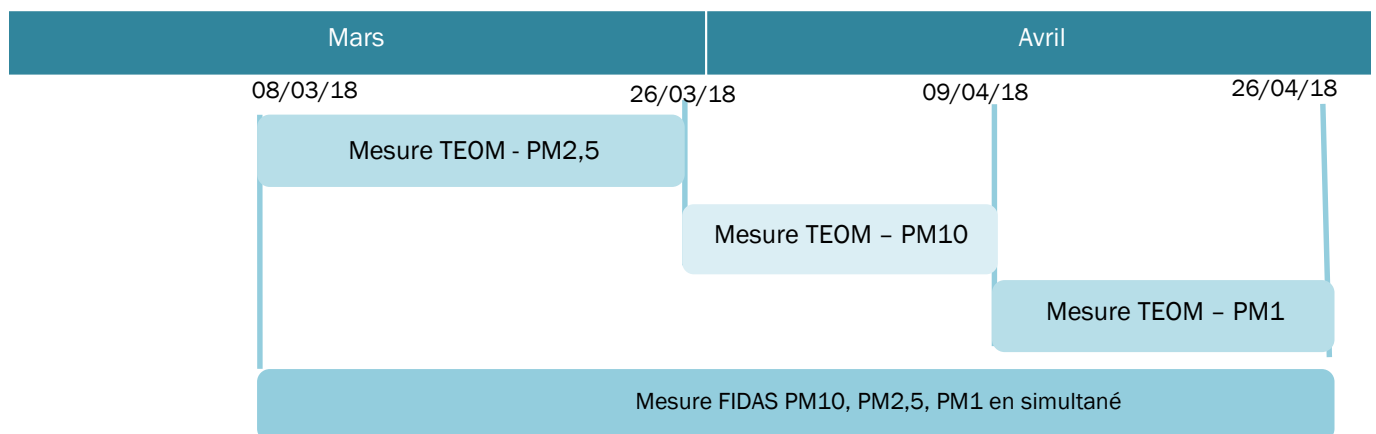


Schéma 1 : Planning de la campagne de mesures - période froide 2018

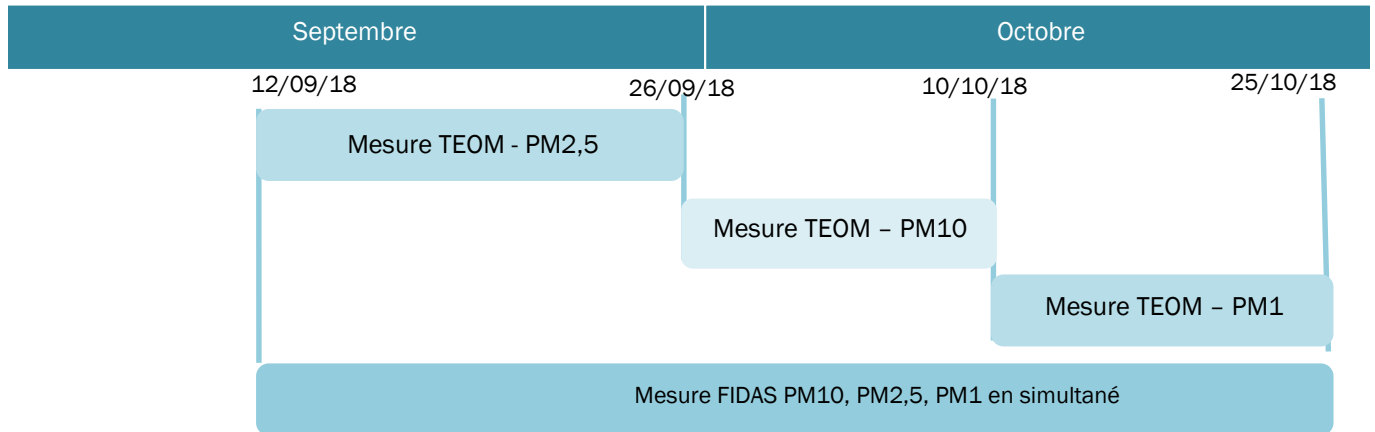


Schéma 2 : Planning de la campagne de mesures - **période chaude 2018**

Principe de fonctionnement du FIDAS ¹

Le FIDAS est un granulomètre optique qui permet de mesurer en temps réel et en continu la distribution en taille des particules de 150 nm à 27 µm, pour des concentrations en nombre allant de 1 à 20 000 p/cm³. 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.

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 entre 0,18 et 18 µm. 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 site trafic nécessiterait l'utilisation d'une fonction de correction qui serait propre à chaque site et déterminée

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 oxydes d'azote et en Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (ou BTX) dans les rames de métro était jusqu'à présent réalisée par des prélèvements actifs dans un sac Tedlar avec analyse en différé par les analyseurs sur le quai de la station de métro.

Cependant, au printemps 2008, l'ORAMIP a mené une étude afin d'évaluer l'exposition des personnes à la pollution de l'air dans différents moyens de transports : voiture, bus, métro, marche à pied et vélo. Afin de réaliser cette étude, l'ORAMIP a testé un nouveau type d'appareillage à la fois portatif et précis pour la mesure du dioxyde d'azote, des BTEX et des particules. Cet appareillage ayant donné satisfaction, nous avons

décidé de l'utiliser dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain pendant la campagne hivernale 2008-2009.

Toutefois, les résultats obtenus pour le dioxyde d'azote ont montré que cette technique de mesures engendre une sous-estimation de ses concentrations dans l'air ambiant. Ainsi, compte tenu du faible débit de prélèvement, les variations rapides de concentrations et plus particulièrement les hausses, ne sont pas prises en compte. En raison du lissage important des concentrations constatées, nous sommes revenus, pour le dioxyde d'azote, pour la campagne estivale 2009 aux prélèvements actifs dans un sac Tedlar avec analyse en différé par les analyseurs sur le quai de la station de métro.

En revanche, nous avons conservé la technique par prélèvement actif pour le benzène. Ainsi, dans la rame de métro, l'air prélevé à l'aide d'une pompe, passe : pour le benzène, au travers d'une cartouche adsorbante

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

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

Un prélèvement de dioxyde d'azote correspond à un trajet de terminus à terminus, soit un peu moins d'1 demi-heure.

Un prélèvement de BTX correspond à trois trajets de terminus à terminus, soit un peu plus d'1 heure.

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 B 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.

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

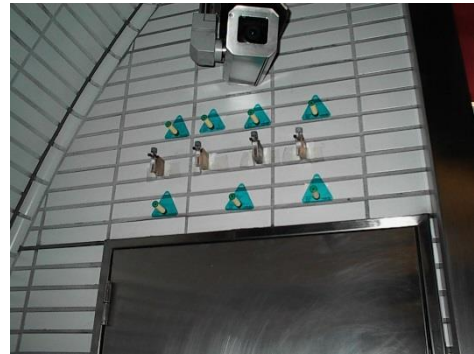
Des mesures de polluants gazeux, par tubes échantillonneurs passifs ont été réalisées dans les salles de billets et sur les quais de l'ensemble des stations de métro de la ligne B.

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 20 stations de la ligne B 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 NO₂ 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 MÉTHODE D'ADAPTATION STATISTIQUE UTILISÉE

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 ;
- ε_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 668 µg/m³ en 2018.

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 µg/m³ à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro (Tsout)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	P90.4ext = 36 µg/m ³	P90.4ext = 34 µg/m ³	P90.4ext = 41 µg/m ³	P90.4ext = 34 µg/m ³	P90.4ext = 30 µg/m ³	P90.4ext = 29 µg/m ³	P90.4ext = 30 µg/m ³	P90.4ext = 24 µg/m ³	P90.4ext = 28 µg/m ³	P90.4ext = 23 µg/m ³
Tsout = 15 mn	1412	1602	905	1602	1950	2045	1950	2520	2138	2604
Tsout = 30 mn	724	818	473	818	990	1037	990	1272	1083	1314
Tsout = 45 mn	494	556	329	556	670	701	670	856	731	883
Tsout = 1 h	380	426	257	426	510	533	510	648	556	668

µg/m³ : 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 668 µg/m³ pour 2018.

La valeur guide 2018 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 2018	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	1 314 µg/m ³	Maximum sur une demi-heure : Période froide : Compans Caffarelli : 197 µg/m ³ Les Carmes : 278 µg/m ³ Période chaude : Compans Caffarelli : 89 µg/m ³ Les Carmes : 147 µg/m ³

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/m³ 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/m³ en moyenne annuelle
- Valeur repère de qualité de l'air : 5 µg/m³ en moyenne annuelle
- Valeur cible : 2 µg/m³ en moyenne annuelle

La valeur de 2 µg/m³ 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⁽²⁾:

« 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⁽³⁾ et alvéolaires⁽⁴⁾ de l'atmosphère inhalé par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m³ 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. »

² 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.

³ Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique).

⁴ 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^e 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