



# Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans le métro de Toulouse (Ligne A)



Rapport annuel 2020

ETU-2020-107 - Edition Août 2021



# CONDITIONS DE DIFFUSION

---

**Atmo Occitanie**, est une association de type loi 1901 agréée (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 est adhérent 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. À ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site :

[www.atmo-occitanie.org](http://www.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 systématiquement rediffusées lors d'actualisations ultérieures à la date initiale de diffusion.

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** par mail :

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

# SOMMAIRE

---

<b>SYNTHÈSE .....</b>	<b>1</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....</b>	<b>4</b>
1.1. CONTEXTE .....	4
1.2. OBJECTIFS.....	4
<b>2. LE PASSAGE EN RAMES XXL.....</b>	<b>5</b>
2.1. LA POLLUTION AUX PARTICULES PM <sub>10</sub> EN HAUSSE SUR LES QUAIS .....	5
2.2. UNE CONCENTRATION DE PARTICULES PM <sub>2,5</sub> EN HAUSSE SUR LES QUAIS DE LA STATION ESQUIROL .....	10
2.3. DES NIVEAUX DE PARTICULES PM <sub>10</sub> STABLES DANS LES RAMES.....	10
2.4. PERSPECTIVES.....	11
<b>3. NIVEAUX DE CONCENTRATION EN PARTICULES.....</b>	<b>12</b>
3.1. RESPECT DE LA VALEUR GUIDE POUR LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	12
3.2. LES CONCENTRATIONS EN PM <sub>10</sub> MESUREES TRES EN DEÇA DE LA VALEUR LIMITE POUR LES AMBIANCES DE TRAVAIL .....	13
3.3. DES PARTICULES PRINCIPALEMENT GENEREES PAR L'ACTIVITE DU METRO.....	13
3.4. NIVEAUX DE POLLUTION EN PARTICULES SUR LES DEUX CAMPAGNES DE MESURES..	17
3.5. DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE PARTICULES PM <sub>10</sub> COMPARABLES D'UNE ANNEE SUR L'AUTRE .....	18
3.6. DES NIVEAUX DE PARTICULES PLUS ELEVES DANS LES RAMES QUE SUR LES QUAIS....	19
3.7. DES CONCENTRATIONS MOYENNES EN PM <sub>10</sub> PLUS ELEVEES QUE DANS LE METRO PARISIEN .....	19
<b>4. NIVEAUX DE CONCENTRATION DU DIOXYDE D'AZOTE DANS LE METRO .....</b>	<b>21</b>
4.1. LA VALEUR GUIDE RESPECTEE DANS L'ENCEINTE DU METRO .....	21
4.2. RESPECT DE LA VALEUR LIMITE D'EXPOSITION.....	22
4.3. DES NIVEAUX DE CONCENTRATION INFERIEURS AU MILIEU URBAIN .....	22
4.4. DANS LES RAMES, DES CONCENTRATIONS ANALOGUES A CELLES DES QUAIS.....	24
4.5. DES CONCENTRATIONS INFERIEURES A CELLES DU METRO PARISIEN .....	24

<b>5. ÉVALUATION DES CONCENTRATIONS EN BENZENE.....</b>	<b>26</b>
5.1. VALEUR GUIDE RESPECTEE POUR LES DEUX STATIONS DE METRO .....	26
5.2. RESPECT DE LA VALEUR DE MOYENNE EXPOSITION .....	27
5.3. EN STATION, DES NIVEAUX STABLES ET COMPARABLES A L'AIR EXTERIEUR.....	27
5.4. DANS LES RAMES, DES NIVEAUX SIMILAIRES A CEUX MESURES EN STATION .....	28
<b>6. NIVEAUX DE CONCENTRATION DU DIOXYDE DE CARBONE.....</b>	<b>29</b>
6.1. RECOMMANDATION DU REGLEMENT SANITAIRE DEPARTEMENTAL RESPECTEE.....	29
6.2. UN NIVEAU DE CONFINEMENT SATISFAISANT DANS LE METRO.....	29
6.3. DES CONCENTRATIONS PLUS IMPORTANTES DANS LES RAMES.....	30
<b>TABLE DES ANNEXES .....</b>	<b>31</b>

# SYNTHÈSE

---

Depuis 2004, Tisséo fait confiance à Atmo Occitanie pour évaluer la qualité de l'air du métro toulousain. Des mesures de plusieurs polluants sont ainsi réalisées deux fois par an, en ciblant généralement en alternance la ligne A et la ligne B dans l'objectif de collecter des mesures sur l'ensemble du réseau.

Le 10 janvier 2020, dans le cadre du projet « ma ligne A en XXL », la longueur des rames exploitées sur la première ligne du métro toulousain a été doublée afin de transporter un nombre accru de passagers. L'exploitation se faisant à parc constant de 118 rames de 2 voitures, l'intervalle préexistant de 65 secondes entre deux rames a été détendu à 110 secondes. L'influence de ces transformations sur la qualité de l'air à l'intérieur des stations et des rames fait l'objet dans cette étude d'une attention spécifique.

Une première série de mesures s'est déroulée du 8 janvier 2020 au 4 mars 2020 faisant immédiatement suite à la campagne de 2019, une seconde a été menée du 16 septembre 2020 au 5 novembre 2020.

Au total, les deux campagnes dans les enceintes de la ligne A ont couvert près du tiers de l'année 2020.

En 2020, la crise sanitaire et les mesures de restrictions prises pour y faire face ont eu un impact majeur sur l'activité humaine et sur le trafic passager des transports en commun. Du 17 au 29 octobre 2020, un couvre-feu a été mis en place sur plusieurs territoires dont Toulouse Métropole suivi d'un confinement généralisé du 30 octobre au 15 décembre 2020. La seconde campagne de mesures a été menée dans ce contexte, ainsi lors de la dernière semaine de mesures la fréquentation du métro toulousain présentait une baisse de 62% par rapport à 2019<sup>1</sup>.

La représentativité des résultats obtenus pour la « période chaude » est limitée eu égard à ces conditions particulières et la comparaison avec les années précédentes ne saurait être qu'indicative.

## Influence du passage aux rames XXL

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> relevées sur les quais lors des deux périodes de mesures présentent des valeurs supérieures à celles de 2019 : +17 % pour la station Esquirol et +29 % pour la station Mirail-Université. Les valeurs 2020 sont également en hausse par rapport à la moyenne des années 2015, 2017 et 2019 avec +23 % pour la station Esquirol et +25 % pour la station Mirail-Université. Les maxima horaires relevés sont en revanche en baisse.

La hausse des niveaux de concentration en particules PM<sub>2,5</sub> est de +16 % sur les quais de la station Esquirol par rapport à 2019, seule station à être équipée pour analyser ce polluant au cours de cette évaluation.

Ces concentrations respectent pleinement la valeur guide et nous ne notons pas de modification de la qualité de l'air à l'intérieur des rames.

---

<sup>1</sup> <https://www.ladepeche.fr/2020/11/06/toulouse-la-frequentation-du-metro-chute-de-62-depuis-le-debut-du-confinement-9185839.php>

## Une exposition limitée au regard du temps passé dans le métro

### Des valeurs guides respectées dans l'enceinte du métro

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour la qualité de l'air dans le métro. En revanche, le Conseil supérieur d'hygiène public de France (CSHPPF) a défini, en 2001, des valeurs de référence de qualité de l'air pour les particules PM10, destinées aux usagers des transports. Ces valeurs, déterminées chaque année, sont calculées en fonction des durées quotidiennes de séjour dans le métro et prennent en compte la concentration extérieure (sur une année complète). Pour le dioxyde d'azote, l'ANSES a établi une valeur guide de l'air intérieur de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur une heure pour protéger des effets survenant après une exposition de courte durée. Une valeur de référence, de 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle, est fixée pour le benzène dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant du public. Enfin, il n'existe pas de valeur de référence pour les particules PM2,5.

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

- La concentration horaire maximale en PM10 mesurée pendant la campagne de mesure est de 481  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Elle est inférieure à la valeur guide établie à 643  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire pour l'année 2020.
- Pour le NO<sub>2</sub>, la valeur guide fixée à 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en maximum horaire a été respectée sur le quai de la station de métro Esquirol (56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire glissante) ainsi que dans les rames de métro (19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 55 minutes).
- La concentration moyenne maximale en benzène mesurée sur la ligne A du métro toulousain est de 1,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et respecte à la valeur guide de qualité de l'air de 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Les différentes valeurs guides sont respectées. Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont relativement peu exposés dans le cadre de leurs trajets quotidiens.**

### Un temps d'exposition court à des concentrations en particules supérieures à celles observées dans l'air extérieur

**Dans le métro, les particules sont produites par l'activité du métro : le roulement et le freinage des rames en circulation ainsi que par la remise en suspension dans l'air des particules déjà présentes.**

**Les niveaux de particules mesurés sur les quais des stations de métro sont supérieurs à ceux mesurés en air extérieur. L'utilisateur du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.**

- Les concentrations moyennes en particules PM10 mesurées dans le métro toulousain sont 8 fois plus élevées que le fond urbain.
- Les concentrations moyennes en particules PM2,5 mesurées dans le métro toulousain sont 10 fois plus élevées que le fond urbain. Ces particules PM2,5, plus fines et plus nocives, constituent la majeure partie (en masse) des particules observées dans l'air du métro.

## La réglementation applicable aux ambiances de travail respectée

**Les valeurs d'exposition fixées par la réglementation aux ambiances de travail sont respectées pour tous les polluants surveillés :**

- La concentration maximale en particules PM10, 260  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 8 heures, mesurée dans l'enceinte du métro est nettement inférieure à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) fixée à 5 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Les concentrations quart-horaires maximales en dioxyde d'azote, 133  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les quais et 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les rames sont nettement inférieures à la Valeur Limite d'Exposition (VLE) de 6 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Les concentrations maximales en benzène mesurées dans l'enceinte du métro, 3,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 1h20 dans une rame de métro et 1,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pendant 15 jours sur le quai de la station de métro Esquirol, sont nettement inférieures à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) de 3 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 8 heures

## Un renouvellement d'air qui permet de respecter le règlement sanitaire

Les concentrations maximales relevées pour le dioxyde de carbone sur les quais s'élèvent à 848 ppm. Dans les rames de métro, les niveaux de CO<sub>2</sub> rencontrés sont généralement plus élevés que sur les quais. La concentration maximale atteinte a été de 1 186 ppm. **Ces concentrations sont inférieures au seuil du règlement sanitaire départemental (1 300 ppm). Le système de ventilation de la ligne de métro assure donc un renouvellement de l'air correct.**

# 1. Contexte et objectifs

## 1.1. Contexte

L'Autorité Organisatrice des Transports de l'agglomération toulousaine Tisséo Collectivités a été, en 2004, l'une des premières gestionnaires de transports en commun en France à mettre en place un plan de surveillance de la qualité de l'air dans l'enceinte de son réseau métro. Ainsi, depuis 2004, Atmo Occitanie réalise, en partenariat avec Tisséo 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). **Cette alternance n'a pas été respectée cette année afin de pouvoir évaluer l'impact des modifications apportées au matériel roulant de la ligne A en janvier 2020 avec la mise en œuvre du doublement des quais.**

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, ces polluants proviennent de l'extérieur et sont introduits dans le métro par la ventilation. En revanche, les particules sont en grande partie produites par l'activité de transport (roulement, freinage...) : les niveaux de particules évalués dans le métro sont plus élevés que ceux mesurés en air extérieur.

Ces niveaux sont plus faibles sur la ligne B en comparaison de la ligne A. Cette différence de niveaux de concentrations en particules trouve notamment son explication dans le fait que sur les deux lignes de métro toulousain, inaugurées à 14 ans d'intervalle, circulent des matériels roulants différents. Ainsi, sur la ligne B circulent des rames équipées d'un système de freinage électrique plus performant et donc moins émetteur en particules dans l'air, la ligne est également 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.

## 1.2. Objectifs

Le 10 janvier 2020, Tisséo Collectivité a inauguré « Ma ligne A en XXL », aboutissement d'une suite de travaux menés afin d'augmenter la capacité de la ligne A. Ce chantier, ainsi que les études préparatoires pour la troisième ligne de métro, viennent apporter une réponse à l'évolution toujours croissante du nombre de voyageurs employant les transports en commun de l'Agglomération toulousaine.

Le premier objectif de cette étude 2020 sera d'évaluer l'impact de cette transformation de l'infrastructure sur la qualité de l'air respiré par les usagers et le personnel de la ligne A. Suivant le protocole national harmonisé pour les mesures de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, **une hiérarchisation de l'ensemble des stations en fonction des concentrations relevées en particules devait être effectuée<sup>2</sup>. La crise sanitaire a entraîné un report de cette action à l'année 2021.**

---

<sup>2</sup> Ce protocole harmonisé prend la forme d'un guide publié par l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) sous le titre « Recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines. »

<https://www.ineris.fr/fr/recommandations-realisation-mesures-harmonisees-qualite-air-enceintes-ferroviaires-souterraines> (consulté le 7 avril 2021)

Atmo Occitanie a également poursuivi le programme de surveillance mené depuis plus de quinze années en réalisant les actions suivantes :

- Mesures sur le quai de la station de métro Esquirol : dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), Particules fines de taille inférieure à 2,5 micromètre (PM<sub>2,5</sub>) et particules en suspension de taille inférieure à 10 micromètre (PM<sub>10</sub>), dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).
- Mesures sur le quai de la station de métro Mirail-Université : PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, benzène.
- Mesures dans les rames de métro : CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, benzène. **Suite à la crise sanitaire de la Covid-19, les mesures dans les rames n'ont été réalisées que pour la campagne de mesures hivernale.**

Les valeurs relevées seront systématiquement comparées à la réglementation en vigueur.

Le protocole d'évaluation de la qualité de l'air dans le métro toulousain est détaillé en annexe 7.

## 2. Le passage en rames XXL

Lancée en 1993 pour un trafic attendu inférieur à 120 000 voyages par jour, la ligne A du métro Toulousain a régulièrement transporté en 2019 plus de 250 000 passagers quotidiens. Pour faire face au double défi d'une agglomération en forte croissance et d'une demande accrue pour les transports collectifs, Tisséo a conçu un plan pour moderniser cette ligne tout en laissant son service actif.

Les rames de type VAL (véhicule automatique léger) circulant sur la ligne A étaient jusqu'alors constituées de 2 voitures pour une longueur totale de 26 mètres. La capacité de chaque rame est d'environ 160 passagers pour 44 places assises. Conçues pour répondre à une exigence de modularité, les rames de VAL peuvent être couplées pour un total de 4 voitures (soit environ 320 passagers). Sur les 18 stations de la ligne A, 14 ont été construites dès l'origine avec des quais de 52 mètres permettant d'accueillir ces rames doubles.

Approuvé au printemps 2015, le projet « Ma ligne A en XXL » répond au besoin de développer les capacités de la ligne A en permettant à l'ensemble de ses stations d'accueillir les rames de métro en configuration 52 mètres. Après moins de trois ans de travaux, les rames XXL sont officiellement entrées en service le 10 janvier 2020. Le parc de voitures restant constant, des modifications ont été apportées afin de réduire la fréquence du passage des rames de la ligne A. L'intervalle minimal de 65 secondes a ainsi été porté à 110 secondes.

**Cette partie vise à évaluer si la circulation de ces nouvelles rames a eu un impact significatif sur la qualité de l'air dans l'enceinte du métro. Notre intérêt se portera sur les particules, polluant émis par le métro lors du roulage et du freinage (voir 3.2).**

### 2.1. La pollution aux particules PM<sub>10</sub> en hausse sur les quais

Le lancement des nouvelles rames ayant officiellement débuté le 10 janvier 2020. Des séries de mesures effectuées avant le changement de matériel seront comparées avec des relevés effectués après modification.

Les campagnes de mesures annuelles se déroulent habituellement sur deux saisons, l'une dite « froide » en opposition avec la saison désignée comme « chaude ». Afin de disposer d'un jeu de données continu permettant d'analyser l'impact des transformations apportées au métro, Atmo Occitanie a poursuivi ses mesures tout au long de l'hiver 2019-2020.

Nous indiquons ci-après les dates des différentes campagnes de mesures de PM<sub>10</sub> sur lesquelles nous nous appuyons pour cette comparaison :

● Périodes de mesures des PM<sub>10</sub>, station Esquirol :

Période froide :	18 janvier – 11 mars 2015
	18 janvier – 23 février 2017
	19 novembre 2019 – 9 janvier 2020
	10 janvier – 27 janvier 2020
Période chaude :	16 juillet – 21 septembre 2015
	7 septembre – 27 octobre 2017
	20 juin – 4 juillet 2019
	1 <sup>er</sup> octobre – 5 novembre 2020

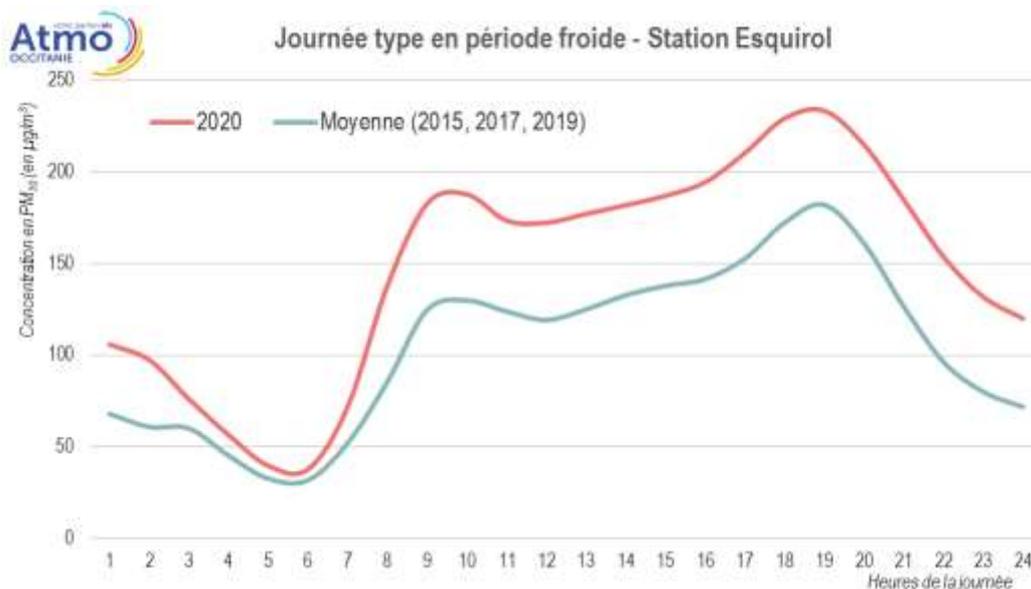
● Périodes de mesures des PM<sub>10</sub>, station Mirail-Université :

Période froide :	14 janvier – 11 mars 2015
	18 janvier – 2 février 2017
	16 octobre 2019 – 9 janvier 2020
	10 janvier – 3 mars 2020
Période chaude :	16 juillet – 21 septembre 2015
	9 octobre – 26 octobre 2017
	5 juin – 22 juillet 2019
	16 septembre – 5 novembre 2020

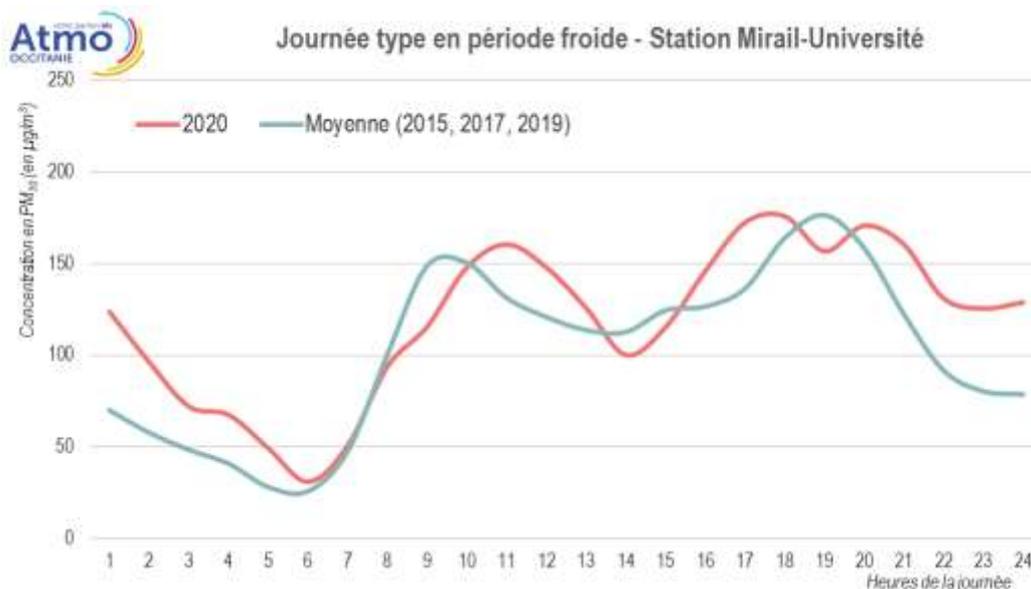
Une comparaison période par période est d'abord effectuée puis sur l'année complète (cumul des deux périodes de mesures).

### 2.1.1. Comparaison des mesures effectuées en période « froide »

Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution des concentrations moyennes en particules en suspension PM<sub>10</sub> sur 24 heures (profil journalier). Ils permettent de mettre en évidence l'impact des heures de pointe et la chute des concentrations la nuit alors que le métro ne circule plus.



Nous observons sur les quais de la station Esquirol une hausse des concentrations en PM<sub>10</sub> pour les mesures effectuées sur la période froide : **+41 % par rapport à 2019, +40 % par rapport à la moyenne des mesures 2015, 2017 et 2019.**

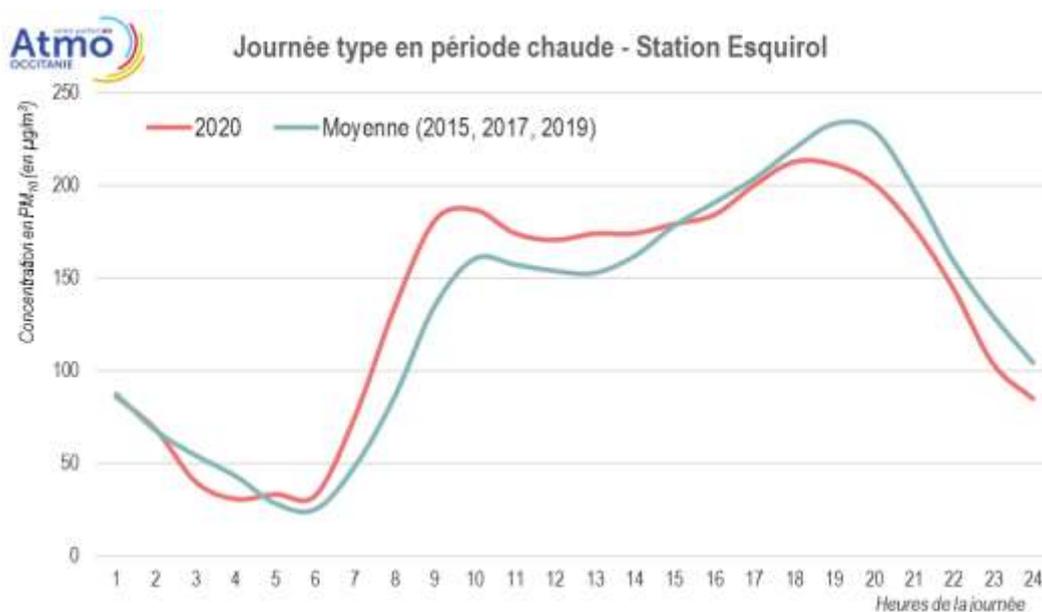


Pour la station Mirail-Université les concentrations moyennes sont en hausse en 2020 : **+49 % par rapport à 2019, +17 % par rapport à la moyenne des mesures 2015, 2017 et 2019.**

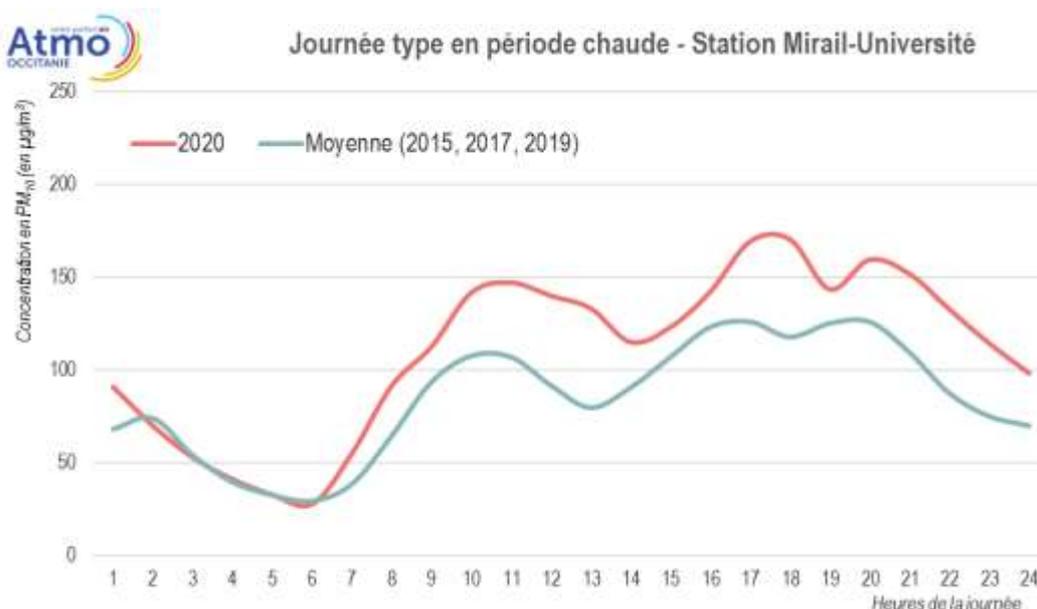
Dans l'air ambiant en situation de fond urbain à Toulouse au cours de cette même « période froide », la variation entre les concentrations mesurées en 2020 et la moyenne sur 2015, 2017 et 2019 montre une hausse de 3 %. L'augmentation constatée dans les stations de métro est donc bien supérieure à celle constatée dans le milieu extérieur.

## 2.1.2. Comparaison des mesures effectuées en période « chaude »

Les deux graphiques suivants représentent les concentrations moyennes en  $PM_{10}$  au cours d'une journée type de la période chaude sur les quais des stations Esquirol et Mirail-Université. Les restrictions prises au cours de cette période (couvre-feu puis confinement) pour faire face à la pandémie de la COVID-19 ont eu un impact majeur sur le trafic passager. La fréquentation du métro de Toulouse est ainsi en baisse de 62% lors de la dernière semaine de cette campagne de mesures. Ces conditions inédites limitent fortement la représentativité des mesures présentées dans cette partie de l'étude.



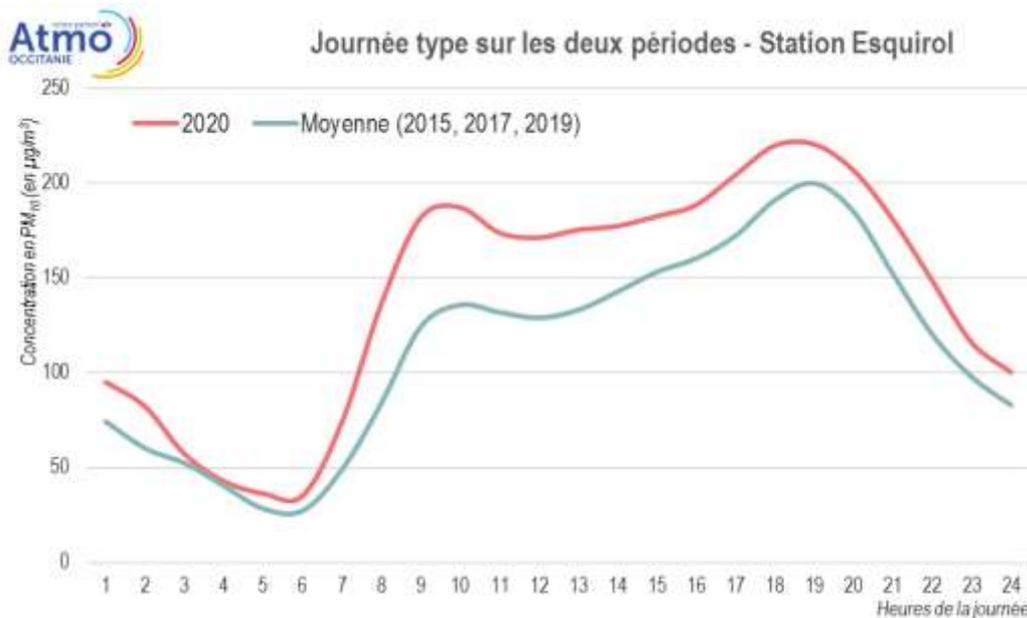
**Sur les quais de la station Esquirol la baisse des concentrations moyennes en  $PM_{10}$  est importante par rapport à la saison chaude 2019 : -22 %.** Il convient cependant de noter que les mois durant lesquels les mesures ont été effectuées en 2020 diffèrent fortement entre ces deux années (juin-juillet en 2019, octobre-novembre en 2020) ce qui nuit à une comparaison directe. **Les concentrations sont stables par rapport à la moyenne 2015, 2017 et 2019 (+1 %).** En parallèle ; en situation de fond urbain à Toulouse, en 2020 les concentrations sont en baisse de 2 % par rapport à la moyenne sur 2015, 2017 et 2019.



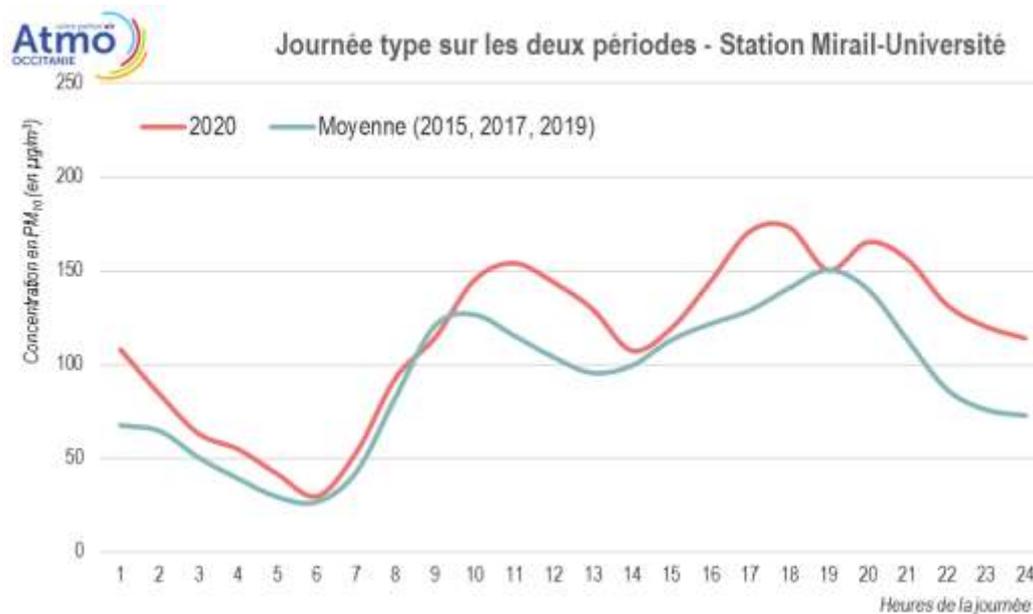
En saison chaude à Mirail-Université, **la hausse des concentrations sur les quais en 2020 est de +4 % par rapport à 2019 et de +29 % par rapport à la moyenne des mesures 2015, 2017 et 2019.**

### 2.1.3. Comparaison des mesures effectuées sur les deux périodes

Les deux graphiques ci-dessous, représentent le profil journalier des concentrations moyennes en PM<sub>10</sub> lors d'une journée type pour l'ensemble des deux périodes de mesures.



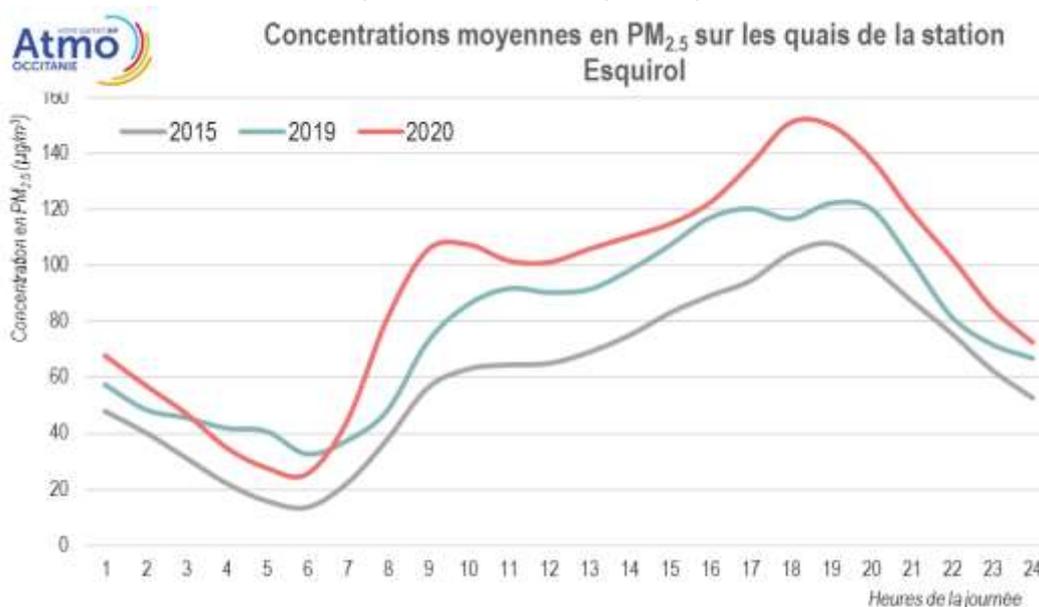
Les concentrations moyennes sur les quais de la station Esquirol ont présenté des niveaux élevés sur les deux périodes durant lesquelles Atmo Occitanie a effectué des mesures. **La hausse est de +17 % par rapport à 2019 et de +23 % par rapport à la moyenne obtenue en 2015, 2017 et 2019.**



**Pour la station Mirail-Université nous calculons une hausse moyenne de +29 % sur l'ensemble des deux périodes par rapport à 2019 et de +25 % par rapport à la moyenne de 2015, 2017 et 2019.**

## 2.2. Une concentration de particules PM<sub>2.5</sub> en hausse sur les quais de la station Esquirol

Atmo Occitanie a mené en 2015, 2019 et 2020 des campagnes de mesures de particules fines (PM<sub>2.5</sub>) sur les quais de la station Esquirol. Un comparatif des profils journaliers des concentrations avant et après l'allongement des rames du métro est représenté ci-dessous pour la période froide.



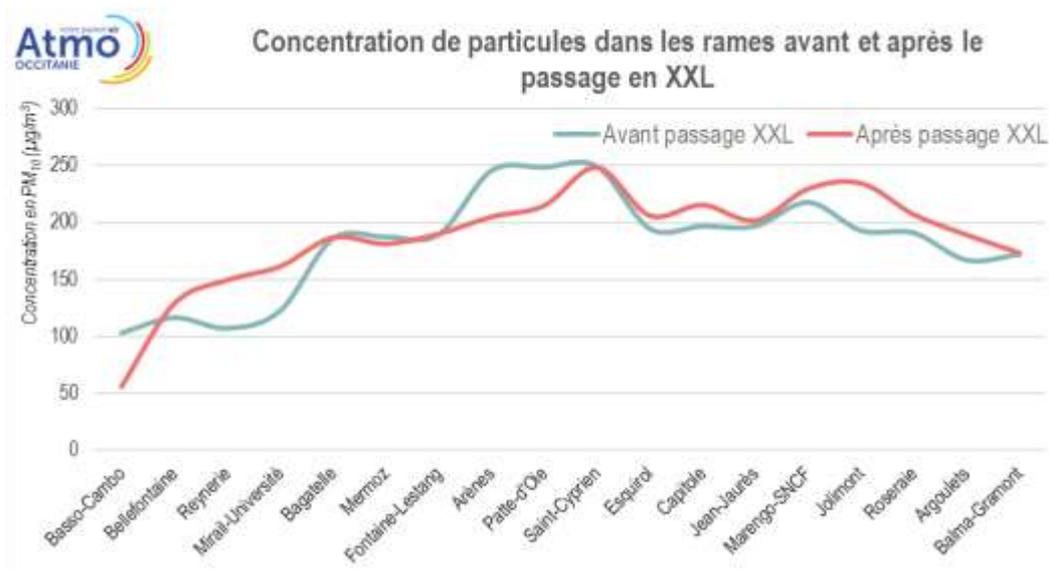
Nous observons pour les particules les plus fines des résultats analogues à ceux des particules PM<sub>10</sub>. Sur les quais de la station Esquirol, la hausse par rapport à 2019 est cependant plus faible avec **16 %**. Il est difficile d'estimer l'influence du lancement des nouvelles rames sur cette augmentation car entre la campagne 2015 et celle de 2019 une hausse des PM<sub>2.5</sub> avait été mise en évidence dans des proportions supérieures (28 %).

En fond urbain toulousain pendant les périodes durant lesquelles ont été menées les campagnes de mesures, la variation des concentrations en particules PM<sub>2.5</sub> montre une hausse de 22 % entre 2019 et 2020 alors que nous observions une baisse de 31 % entre 2015 et 2019.

On peut donc conclure que la hausse des PM<sub>10</sub> traduit bien l'influence des émissions des particules les plus grossières associées au fonctionnement du métro dans sa configuration XXL.

## 2.3. Des niveaux de particules PM<sub>10</sub> stables dans les rames

À l'aide d'un analyseur de poussières portatif embarqué dans une rame de la ligne A, les concentrations en particules en suspension de moins de 10 micromètres (PM<sub>10</sub>) ont été enregistrées tout le long de la ligne. Deux séries de mesures ont été réalisées, l'une le 27 novembre 2019, l'autre le 22 janvier 2020 soit avant et après l'inauguration des rames XXL.



Les résultats obtenus lors des deux séries de mesures sont similaires, ces mesures n'ont pas mis en évidence d'influence du doublement des rames sur les concentrations en particules à l'intérieur des rames. Les prochaines campagnes de surveillance de la qualité de l'air dans le métro permettront de suivre cette évolution.

## 2.4. Perspectives

L'année 2019 a été marquée par l'achèvement du chantier « Ma ligne A en XXL », par des essais du nouveau matériel ainsi que des interruptions de trafic. En 2020 les restrictions sanitaires, dont les confinements, ainsi que la généralisation du télétravail ont eu un impact important sur le trafic voyageur avec une baisse de 40% des validations sur la ligne A par rapport à 2019<sup>3</sup>. Ces deux années ne peuvent donc être considérées comme pleinement représentatives du fonctionnement normal de la ligne A.

La hausse notable des particules PM<sub>10</sub> constatée en 2020 sur les quais des deux stations de métro étudiées est donc à confirmer sur le temps long. L'influence du nouveau matériel ne pourra être estimée qu'en poursuivant ce type d'évaluation dans la durée.

Selon l'exploitant du réseau, les nouvelles rames de 52 mètres utiliseraient plus de freinage mécanique pour décélérer que les rames en 26 mètres pour lesquelles le freinage électrique joue un plus grand rôle. Plus de particules seraient donc par le matériel roulant. Il y aurait ainsi potentiellement une hausse des concentrations dans l'enceinte du métro malgré la baisse du nombre de rames y circulant.

Une caractérisation chimique des particules aiderait à s'assurer que celle-ci proviennent bien des organes de freinage et permettrait de comparer leur composition avec celle obtenues dans de précédentes évaluations.

<sup>3</sup> <https://www.ladepeche.fr/2021/07/07/toulouse-rebond-de-la-frequentation-tisseo-apres-une-annee-noire-en-2020-9656943.php>

### 3. Niveaux de concentration en particules

#### Faits marquants

- Respect de la valeur guide pour les particules PM<sub>10</sub> sur le quai des deux stations de métro étudiées.
- Respect de la Valeur Limite de Moyenne Exposition pour les ambiances de travail.
- Les particules sont émises par l'activité du métro.
- L'utilisateur du métro est exposé à des concentrations supérieures à celles mesurées dans l'air ambiant extérieur sur un pas de temps court.
- Les concentrations moyennes mesurées en 2020 sont globalement supérieures à celles des campagnes précédentes.
- Des concentrations moyennes plus élevées que dans le métro parisien.



#### 3.1. Respect de la valeur guide pour les particules PM<sub>10</sub>

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour la qualité de l'air dans le métro.

Le Conseil supérieur d'hygiène public de France (CSHPF) a défini, en 2001, des valeurs de référence de qualité de l'air pour les Particules PM<sub>10</sub>, destinées aux usagers des transports. Ces valeurs, déterminées chaque année, sont calculées en fonction des durées quotidiennes de séjour dans le métro et prennent en compte la concentration extérieure sur une année – cf annexe 1. En revanche, il n'existe pas de valeur de référence pour les particules PM<sub>2,5</sub>.

**La valeur guide sur une heure est la plus représentative de l'exposition des usagers du métro toulousain. Elle est respectée pour les deux stations de la ligne A étudiées en 2020. Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont peu exposés dans le cadre de leur trajet quotidien.**

Particules de diamètre inférieur à 10 µm					
		Conformité à la valeur guide	Temps d'exposition des usagers par jour	Valeur guide	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. <sup>4</sup>	Oui	1 heure	643 µg/m <sup>3</sup>	Maximum sur une heure glissante Période froide Esquirol : 304 µg/m <sup>3</sup> Mirail-Université : 347 µg/m <sup>3</sup> Période chaude Esquirol : 305 µg/m <sup>3</sup> Mirail-Université : 481 µg/m <sup>3</sup>

<sup>4</sup> Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

## 3.2. Les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées très en deçà de la Valeur Limite 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 dans le tableau ci-dessous la VME fixée pour les particules alvéolaires c'est-à-dire de diamètre inférieur à 4 µm.

**Les concentrations en particules moyennes sur 8 heures mesurées sur les quais des stations de métro Esquirol et Mirail-Université sont près de 20 fois inférieures à la Valeur Limite de Moyenne Exposition. La VME est donc respectée dans l'enceinte du métro.**

Particules de diamètre inférieur à 10 µm				
		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de courte durée	Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)	Oui	5 000 µg/m <sup>3</sup> sur huit heures	Maximum sur huit heures : Esquirol : 260 µg/m <sup>3</sup> (période froide) Mirail-Université : 237 µg/m <sup>3</sup> (période froide)

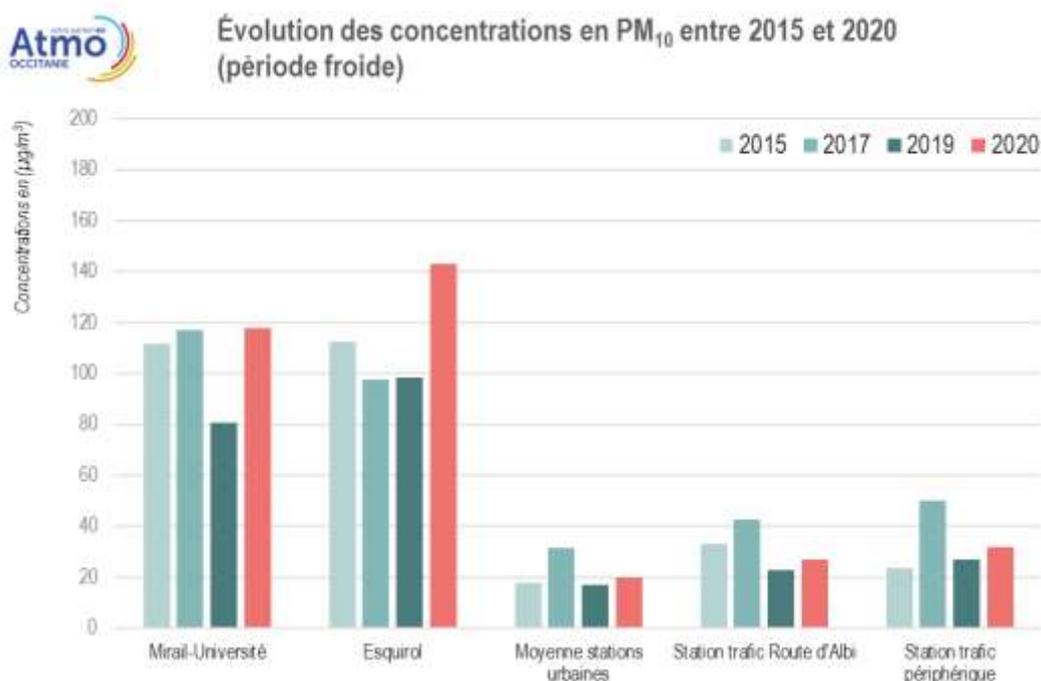
## 3.3. Des particules principalement générées par l'activité du métro

**Dans le métro, les particules sont produites par l'activité du métro : le roulement et le freinage des rames en circulation ainsi que par la remise en suspension dans l'air des particules déjà présentes. Le caractère confiné de la ligne du métro toulousain, confirmé par nos précédentes études, nuit à la dispersion du polluant. Les niveaux de particules mesurés sur les quais des stations de métro sont supérieurs à ceux mesurés en air extérieur. L'utilisateur du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.**

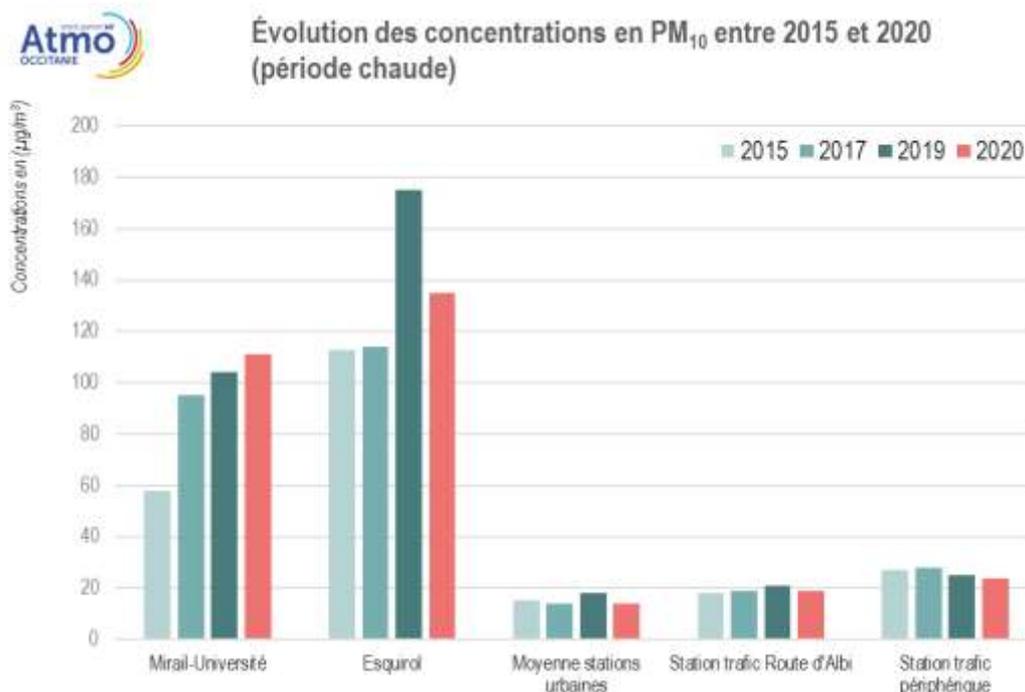
- Les concentrations moyennes en particules PM<sub>10</sub> mesurées dans le métro toulousain sont 8 fois plus élevées que le fond urbain.
- Les concentrations moyennes en particules PM<sub>2.5</sub> mesurées dans le métro toulousain sont 10 fois plus élevées que le fond urbain. Ces particules PM<sub>2.5</sub>, plus fines et plus nocives, constituent la majeure partie (en masse) des particules observées dans l'air du métro.

### 3.3.1. Zoom sur les PM<sub>10</sub>

Pendant les périodes froides 2015, 2017, 2019 et 2020, les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais des 2 stations de métro de référence (Esquirol et Mirail-Université) de la ligne A sont chaque année du même ordre de grandeur. Nous notons toutefois une hausse importante des concentrations par rapport à 2019. Les niveaux de PM<sub>10</sub> sur les quais des deux stations de métro étudiées sont près de 7 fois supérieures au niveau de fond urbain sur cette période froide. Il est à noter que les mesures de la saison froide 2019 avaient été réalisées entre le 4 et le 19 novembre et non en janvier ou février comme les autres années, cela pouvant apporter une explication aux basses valeurs relevées lors de cette précédente campagne 2019.



Pendant les périodes chaudes 2015, 2017, 2019 et 2020, les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais des 2 stations de métro de référence (Esquirol et Mirail-Université) de la ligne A ont tendance à augmenter chaque année. Nous observons à Mirail-Université des concentrations légèrement supérieures à 2019 mais restant dans la tendance des dernières campagnes. À Esquirol les concentrations sont en forte baisse par rapport à 2019 avec -23 %. L'année 2019 présentait toutefois des mesures particulièrement élevées en comparaison avec les relevés précédents. Les concentrations moyennes relevées lors de la période chaude 2020, sont près de 8 fois supérieures au fond urbain toulousain.

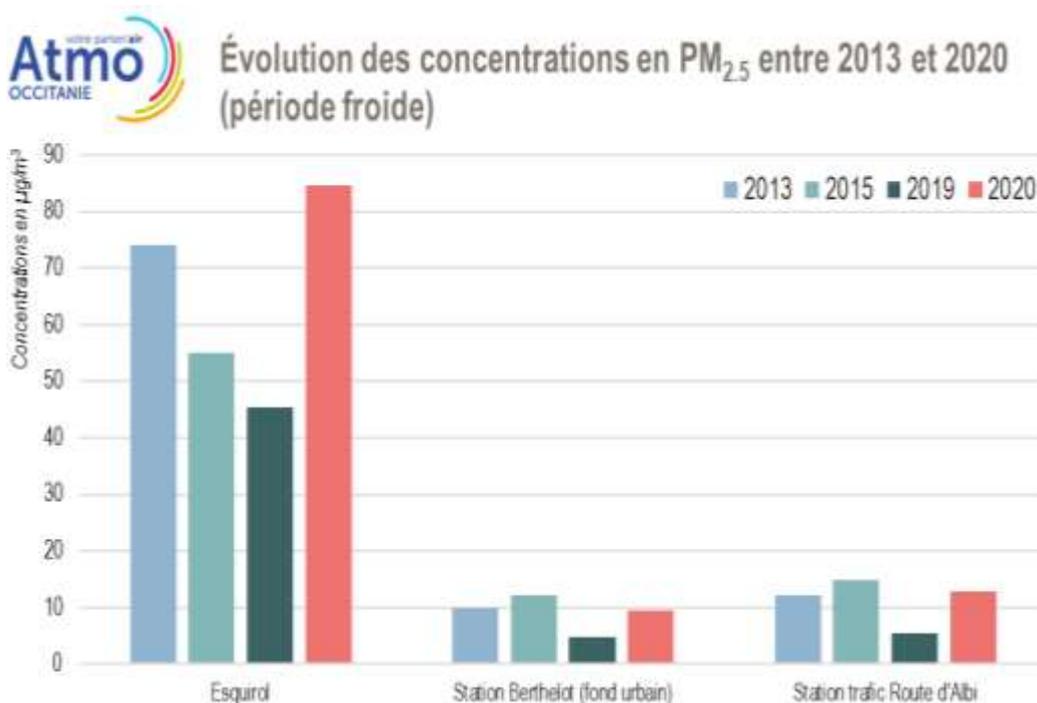


### 3.3.2. Zoom sur les PM<sub>2.5</sub>

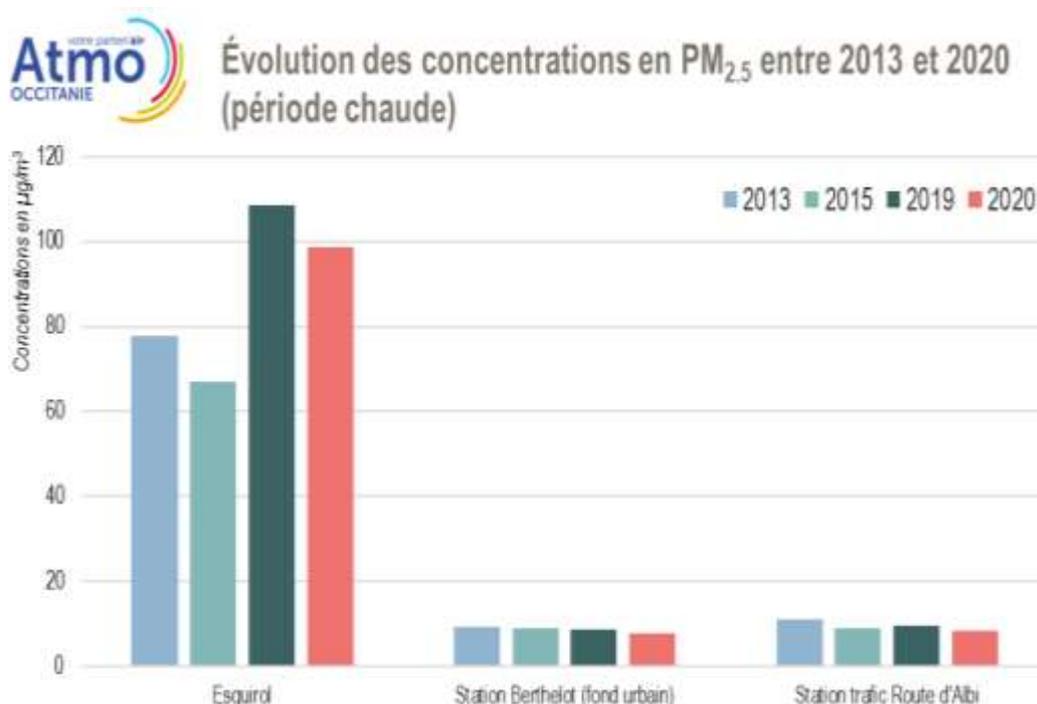
La concentration des particules de moins de 2,5 micromètres (PM<sub>2.5</sub>) a été mesurée sur les quais de la station Esquirol pour la période chaude et la période froide. Des mesures avaient déjà été effectuées en 2013, 2015 et 2019 offrant ainsi une base pour observer l'évolution.

Les concentrations relevées en 2020 lors de la période froide sont en hausse importante par rapport à 2019 (+87 %) alors que les valeurs mesurées présentaient une tendance à la baisse depuis 2013. Il est à noter que les mesures de la saison froide 2019 avaient été réalisées entre le 4 et le 19 novembre et non en janvier ou février comme les autres années, cela pouvant apporter une explication aux basses valeurs relevées lors de cette précédente campagne 2019.

En 2020, les niveaux de concentration sont 9 fois supérieurs au fond urbain toulousain (station Berthelot), ils étaient 10 fois supérieurs en 2019.



L'observation des résultats de la saison chaude montre à l'inverse une concentration en PM<sub>2.5</sub> similaire voire légèrement inférieure (-9 %) à celle mesurée en 2019. À l'image des PM<sub>10</sub>, les niveaux mesurés en 2019 étaient particulièrement élevés par rapport aux années précédentes. En période chaude 2020, les concentrations dans la station Esquirol sont 13 fois plus élevées que le fond urbain (même résultat qu'en 2019).



### 3.3.3. Ratio PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub>

Le tableau suivant indique le pourcentage de particules PM<sub>2.5</sub> parmi les particules PM<sub>10</sub> lors des campagnes de mesures menées en 2013, 2015, 2019 et 2020.

	Pourcentage PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>			
	Station Esquirol		Fond urbain	
	Période chaude	Période froide	Période chaude	Période froide
2013	56 %	51 %	56 %	71 %
2015	60 %	49 %	64 %	71 %
2019	62 %	45 %	53 %	53 %
2020	74 %	59 %	49 %	56 %

Pour les concentrations mesurées en fond urbain, les particules les plus fines (PM<sub>2.5</sub>) représentent une plus grande part des PM<sub>10</sub> en période froide. Cela s'explique par le fonctionnement des dispositifs de chauffage, en période froide, qui contribue fortement aux émissions de particules fines PM<sub>2.5</sub>. Dans la station Esquirol, la situation est inversée avec un pourcentage de PM<sub>2.5</sub> parmi les PM<sub>10</sub> plus élevé en période chaude.

Le pourcentage de PM<sub>2.5</sub> parmi les PM<sub>10</sub> est un peu plus élevé en 2020 dans la station Esquirol que lors des trois précédentes séries de mesures. En période chaude, les particules de moins de 2,5 micromètres représentent (en masse) près des ¾ des particules mesurées dans la station de métro.

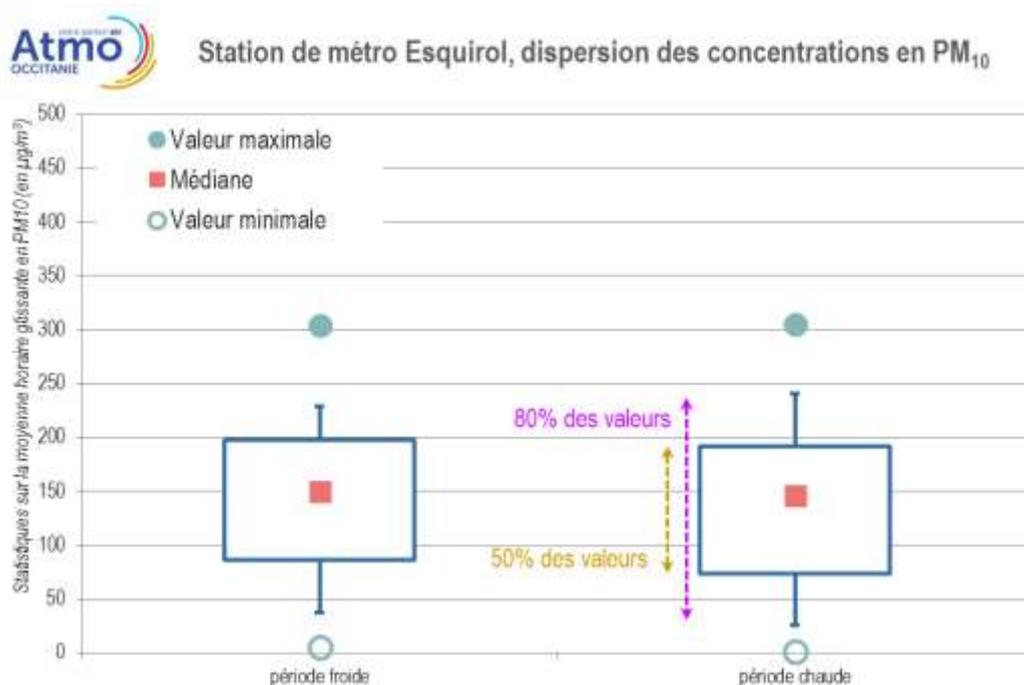
### 3.4. Niveaux de pollution en particules sur les deux campagnes de mesures

Depuis le début des mesures jusqu'en 2013, une évolution saisonnière des niveaux de particules PM<sub>10</sub>, liée au mode de fonctionnement de la ventilation, avait été mise en évidence sur les deux lignes du métro toulousain.

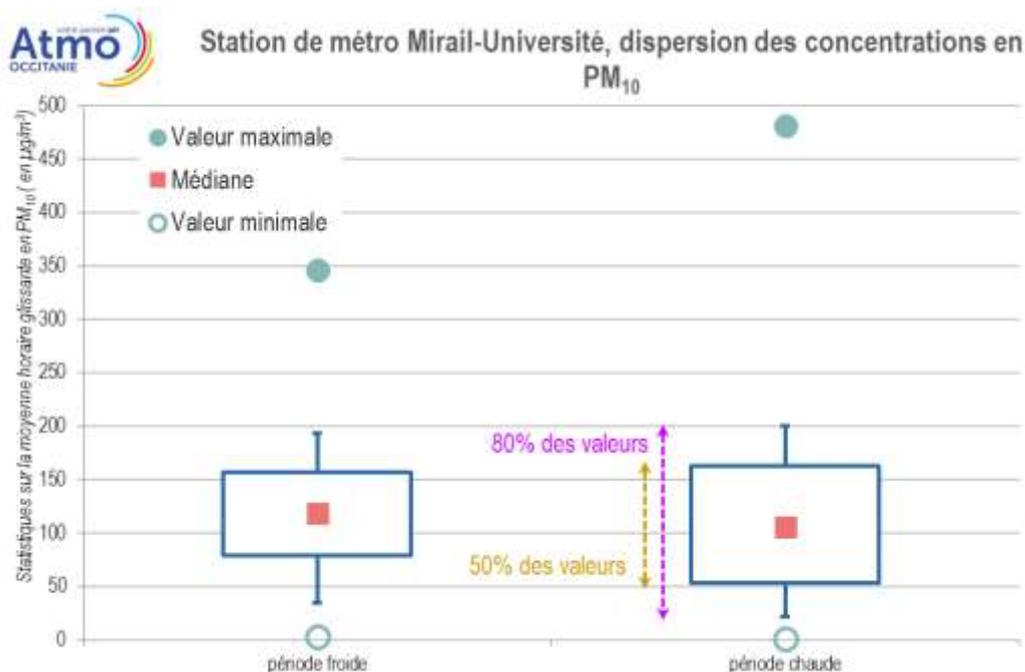
- Pendant la période froide, un fonctionnement limité de la ventilation favorisait des niveaux de particules élevés.
- Pendant la saison chaude, le fonctionnement quasi continu de la ventilation permet la dilution des particules émises par l'activité métro grâce à l'apport d'air extérieur.

Depuis 2015, les niveaux de particules PM<sub>10</sub> mesurés sur les quais de la station Esquirol et Mirail-Université en période froide ont fortement diminué en comparaison des résultats des précédentes campagnes de mesures. Ils sont aujourd'hui 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.

Les graphiques suivants présentent sous forme de box-plot<sup>5</sup> la répartition des concentrations en PM<sub>10</sub> dans les stations de métro station Esquirol et Mirail-Université.



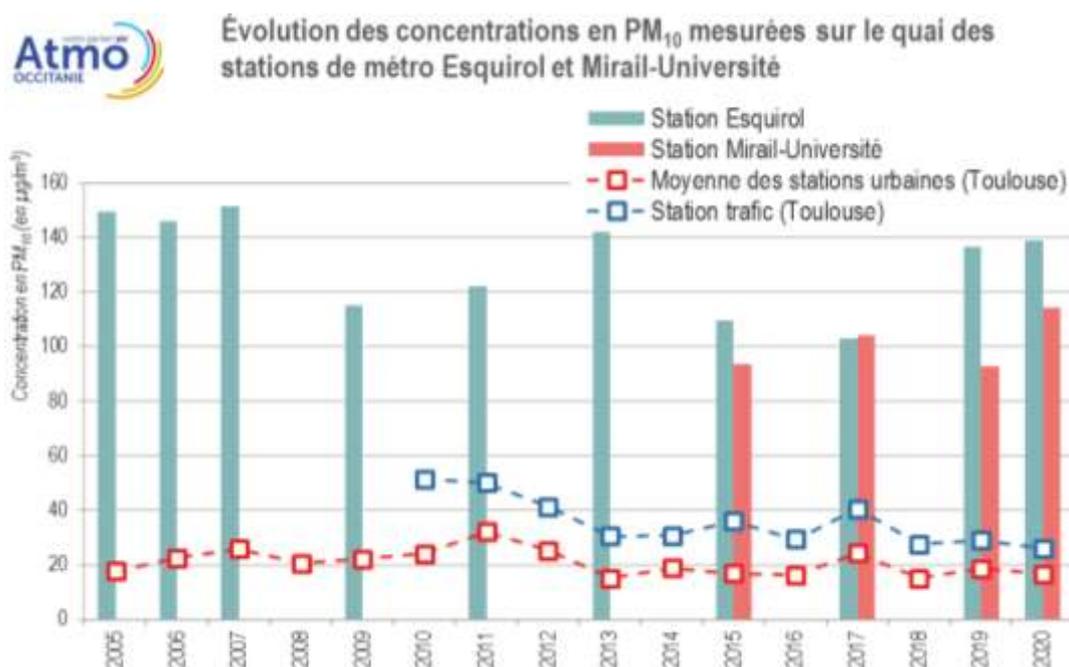
<sup>5</sup> Un box-plot, ou « boîte à moustache », est une représentation graphique permettant d'afficher sur un même schéma les valeurs extrêmes, médianes et les quartiles (un quartile étant chacune des trois valeurs qui divisent les données triées en quatre parts égales). Des indications sur la lecture des box-plot sont données en annexe 6.



Nous remarquons qu'à l'exception de la concentration maximale horaire mesurée à Mirail-Université lors de la saison chaude, les concentrations en particules PM<sub>10</sub> sont globalement similaires sur les deux périodes étudiées pour les deux stations.

### 3.5. Des concentrations moyennes de particules PM<sub>10</sub> comparables d'une année sur l'autre

Sur les quais des deux stations de métro de la ligne A, les concentrations moyennes en particules des deux périodes de mesures de l'année 2020 sont parmi les plus importantes depuis 2009. Notons que le résultat élevé mesuré à Esquirol en 2019 pour la saison chaude (peut-être lié aux travaux menés sur le métro) modifie la tendance de l'année 2019 qui présenterait sinon des concentrations nettement inférieures à 2020.

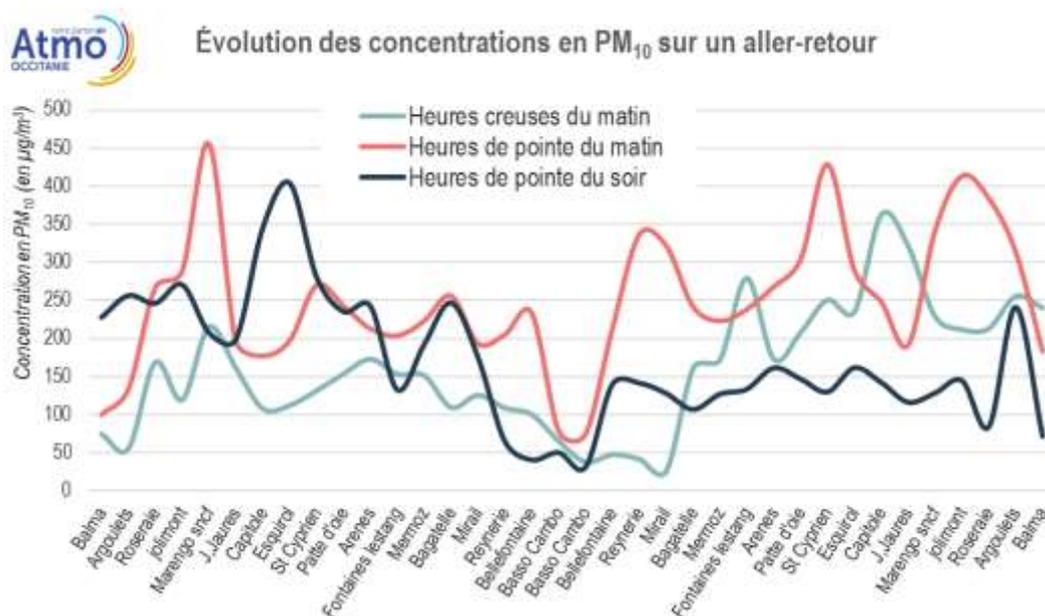


Depuis 2005, les niveaux moyens de particules PM<sub>10</sub> sur les quais de la station de métro Esquirol varient d'une année sur l'autre sans montrer de réelle tendance.

### 3.6. Des niveaux de particules plus élevés dans les rames que sur les quais

**Suite aux restrictions imposées par la crise sanitaire, et contrairement aux années précédentes, Atmo Occitanie n'a pas été en mesure d'effectuer des mesures de particules dans les rames lors de la période chaude. Les prélèvements indiqués sur le graphique suivant ont été réalisés le 22 janvier 2020.**

Le graphique ci-dessous présente les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées dans une rame de métro sur un trajet aller-retour (Balma – Basso Cambo – Balma).



Les niveaux de particules dans les rames de métro fluctuent fortement le long du parcours, en fonction de l'heure de la journée et de la période de mesures. La fréquentation plus élevée aux heures de pointes ne semble pas induire de concentrations de particules plus élevées dans la rame de métro.

### 3.7. Des concentrations moyennes en PM<sub>10</sub> plus élevées que dans le métro parisien

Depuis janvier 2008, la R.A.T.P. rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. 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. Les flux de données fournis par la R.A.T.P. ne permettent pas d'évaluer le pourcentage de volatiles dans les concentrations totales de particules.

Dans le réseau de métro toulousain, les analyseurs de particules mis en œuvre ne tiennent pas compte de cette fraction volatile. À ce jour, aucune étude n'a été réalisée dans le métro toulousain pour estimer la part des particules volatiles sur les particules totales pour des raisons de contraintes techniques.

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en PM<sub>10</sub> rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien lors de la réalisation des deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Du 8 janvier au 4 mars 2020		Concentrations en PM <sub>10</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	62	398
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	34	186

Toulouse	Esquirol (ligne A)	143	304
	Mirail-Université (ligne A)	118	333

Du 16 septembre au 5 novembre 2020		Concentrations en PM <sub>10</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	79	535
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	60	897

Toulouse	Esquirol (ligne A)	134	301
	Mirail-Université (ligne A)	111	429

Dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain, les niveaux moyens de particules sont plus élevés que ceux mesurés sur le réseau de la RATP. Les valeurs maximales, au contraire, sont globalement inférieures.

## 4. Niveaux de concentration du dioxyde d'azote dans le métro

### Faits marquants

- 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.
- D'origine extérieure, ce polluant est introduit dans l'enceinte du métro par la ventilation naturelle ou mécanique.
- L'utilisateur du métro est exposé à des concentrations inférieures à celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.
- Des concentrations inférieures à celles du métro parisien.



### 4.1. La valeur guide respectée dans l'enceinte du métro

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

**La valeur guide est respectée dans l'enceinte de la ligne A métro toulousain. Depuis le début des mesures, la valeur guide fixée sur 1 heure n'a jamais été atteinte. Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont peu exposés dans le cadre de leur trajet quotidien.**

Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )				
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	Oui	200 µg/m <sup>3</sup> en maximum horaire	Sur le quai de la station de métro Esquirol 56 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire glissante (période chaude)
				Dans les rames de métro 19 µg/m <sup>3</sup> sur 55 minutes (période froide)

## 4.2. 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 des effets toxiques à court terme ou immédiat.

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

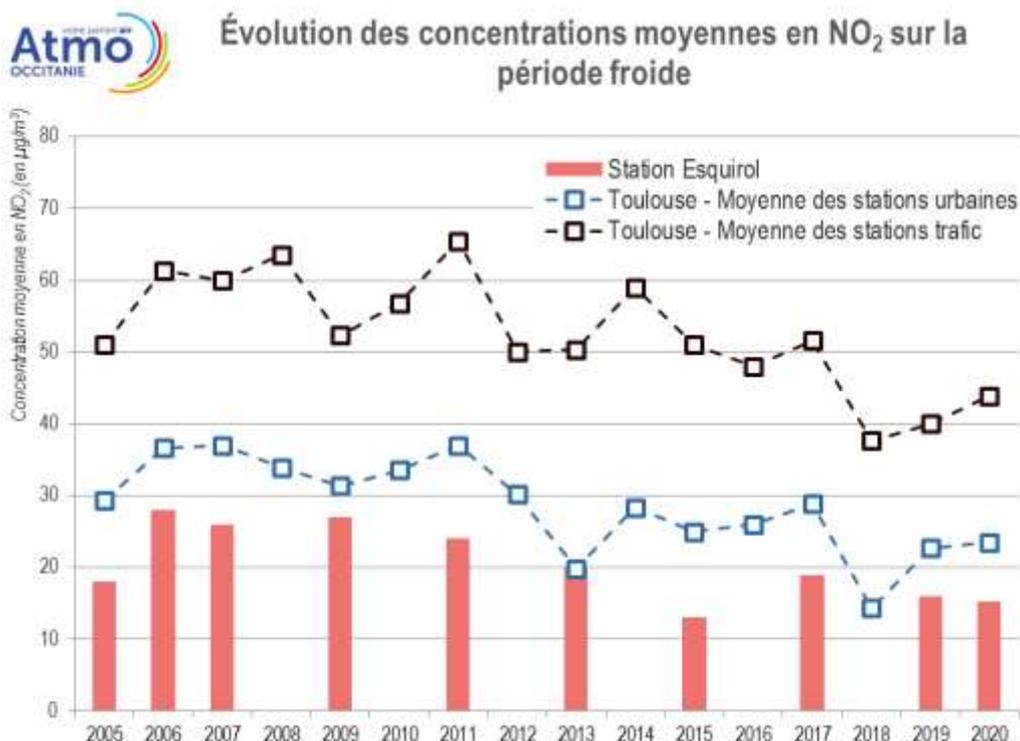
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )				
		Respect de la VLE	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'Exposition (VLE)	Oui	6 000 µg/m <sup>3</sup> sur 15 minutes	Maximum sur 15 minutes Quai de la station de métro Esquirol : 133 µg/m <sup>3</sup> (période chaude) Maximum sur 25 minutes Rames de métro : 19 µg/m <sup>3</sup> (période froide)

## 4.3. Des niveaux de concentration inférieurs au milieu urbain

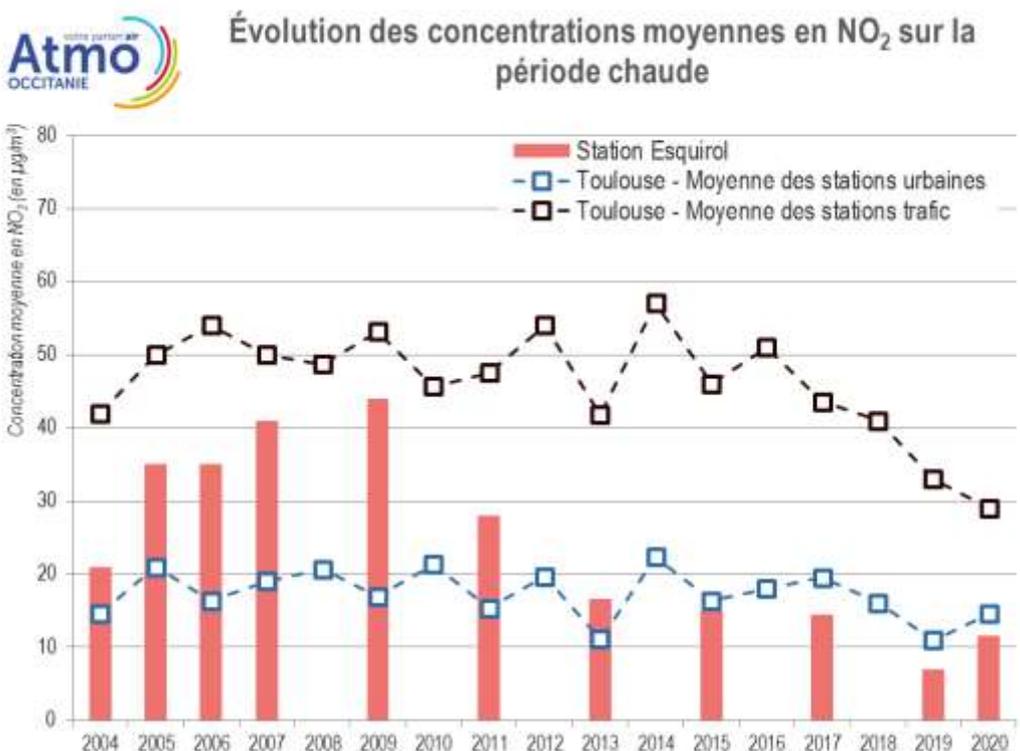
Le dioxyde d'azote présent dans le métro provient du milieu extérieur. Émis par le trafic routier, il est introduit dans le métro toulousain par le biais de la ventilation.

Les niveaux de NO<sub>2</sub> rencontrés dans les différents environnements du métro s'expliquent par plusieurs facteurs :

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



Les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> relevées sur le quai de la station de métro Esquirol pendant la période froide 2020 sont proches de 2019 et parmi les plus faibles mesurées depuis 2005.

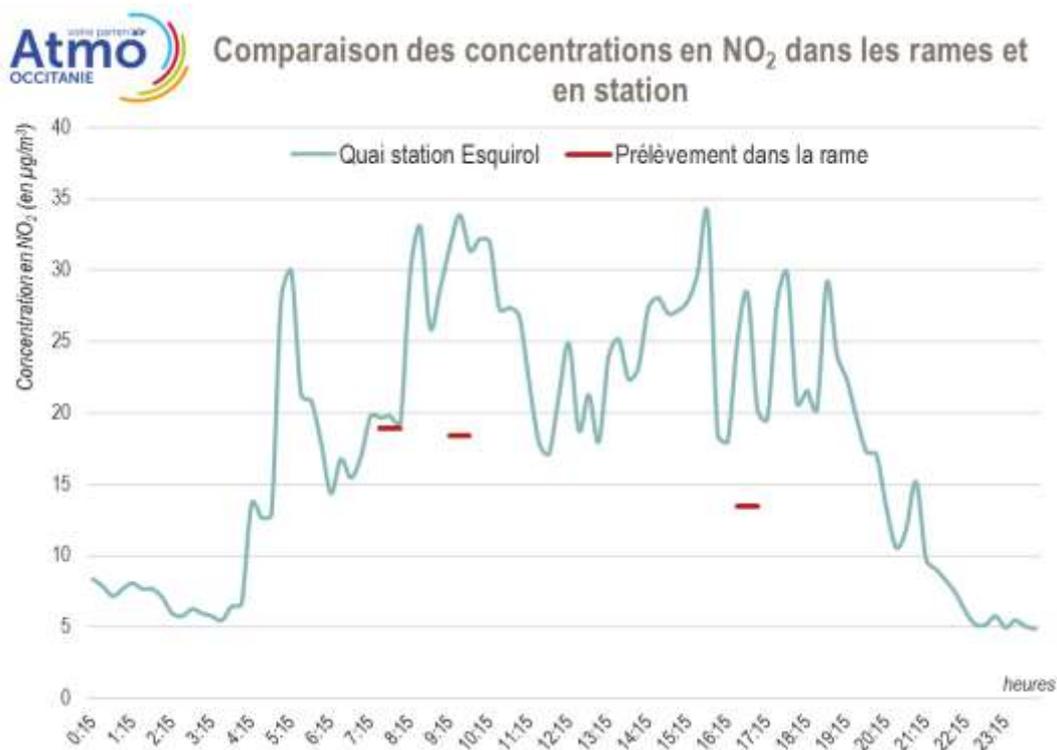


Pour la période chaude, les niveaux observés pour la station de métro Esquirol sont proches de ceux de la saison froide. La concentration mesurée est légèrement plus élevée qu'en 2019 mais reste inférieure aux concentrations relevées entre 2004 et 2017.

En moyenne sur les deux périodes de mesures, les concentrations en NO<sub>2</sub> sur le quai de la station de métro Esquirol sont environ 30 % inférieures à celles relevées en niveau de fond dans l'air ambiant extérieur. Il s'agit d'une situation similaire aux résultats des suivis de 2019 et 2017.

#### 4.4. Dans les rames, des concentrations analogues à celles des quais

**Suite aux restrictions imposées par la crise sanitaire, et contrairement aux années précédentes, Atmo Occitanie n'a pas été en mesure d'effectuer des prélèvements de NO<sub>2</sub> dans les rames lors de la période chaude. Les prélèvements indiqués sur le graphique suivant ont été réalisés le 22 janvier 2020.**



En période froide les concentrations en NO<sub>2</sub> mesurées dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que celles relevées sur les quais.

#### 4.5. Des concentrations inférieures à celles du métro parisien

Depuis janvier 2008, la R.A.T.P. rend publics 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<sup>6</sup>.

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

<sup>6</sup> <https://data.R.A.T.P..fr/explore/?sort=modified>

Du 8 janvier au 4 mars 2020		Concentrations en NO <sub>2</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	29	62
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	47	91
Toulouse	Esquirol (ligne A)	15	55

Du 16 septembre au 5 novembre 2020		Concentrations en NO <sub>2</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	28	151
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	27	80
Toulouse	Esquirol (ligne A)	12	56

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

## 5. Évaluation des concentrations en benzène

### Faits marquants

- Respect de la valeur guide en 2020.
- Respect de la Valeur de Moyenne Exposition fixée pour les ambiances de travail.
- Le benzène provient majoritairement de l'extérieur mais des sources internes peuvent ponctuellement engendrer une hausse des concentrations.
- L'usager du métro est exposé à des concentrations similaires à celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.
- Des niveaux en benzène relativement stables d'une campagne de mesures à l'autre.



### 5.1. Valeur guide respectée pour les deux stations de métro

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

**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 2020. Il apparait donc que les usagers du métro toulousain sont peu exposés dans le cadre de leur trajet quotidien.**

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 <sup>3</sup> en moyenne annuelle	Moyenne maximale 1,4 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire glissante (quai Esquirol et Mirail-Université en période froide)

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

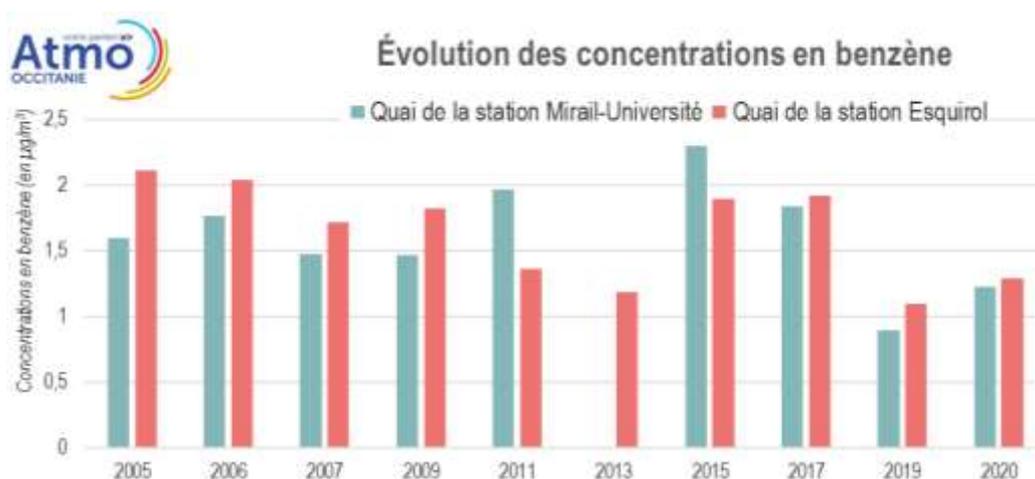
## 5.2. Respect de la Valeur de Moyenne Exposition

Les mesures en moyenne sur 15 jours ou sur 1 h 20 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 l'enceinte du métro auraient été nettement inférieures aux valeurs fixées par le code du travail. La VME est donc respectée dans l'enceinte du métro.**

		Benzène		
		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
		Exposition de longue durée	Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)	Oui

## 5.3. En station, des niveaux stables et comparables à l'air extérieur

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, ces polluants proviennent de l'extérieur et sont introduits 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.



En 2020 lors des deux périodes, les niveaux sont très légèrement supérieurs à ceux de 2019 mais restent toutefois en deçà de la moyenne relevée depuis le début des mesures dans le métro toulousain. Cette observation est valable pour les deux stations ciblées par notre étude.

Le tableau suivant offre une synthèse de l'ensemble des résultats que nous avons obtenus en 2020 concernant le benzène. Les concentrations mesurées sont homogènes dans l'enceinte de la ligne A de métro, dans l'air extérieur et entre les deux périodes de mesures.



		Concentrations moyenne en benzène (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Du 22 janvier au 6 février	Entrée de la station Esquirol	Échantillon non exploitable
	Quai de la station Esquirol	1,4
	Entrée de la station Mirail-Université	1,3
	Quai de la station Mirail-Université	1,4

Du 16 septembre au 1 <sup>er</sup> octobre	Entrée de la station Esquirol	1,1
	Quai de la station Esquirol	1,2
	Entrée de la station Mirail-Université	0,9
	Quai de la station Mirail-Université	1,1
	Station de fond urbain	1,0

## 5.4. Dans les rames, des niveaux similaires à ceux mesurés en station

Suite aux restrictions imposées par la crise sanitaire, et contrairement aux années précédentes, Atmo Occitanie n'a pas été en mesure d'effectuer des prélèvements de benzène dans les rames lors de la période chaude. Les prélèvements dont les résultats sont indiqués dans le tableau suivant ont été réalisés le 22 janvier 2020.

Pour les deux campagnes de mesures, les concentrations en benzène enregistrées dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que celles relevées sur le quai de la station de métro Esquirol pendant la même période de prélèvement.



		Concentrations en benzène sur une heure (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période froide	Intérieur de la rame	3,0	2,8	1,5
	Quai de la station Esquirol	2,7	3,1	2,2

## 6. Niveaux de concentration du dioxyde de carbone

### Faits marquants

- Respect de la recommandation du règlement sanitaire départemental dans les deux stations de métro et dans les rames.
- Une concentration en CO<sub>2</sub> satisfaisante dans les stations de métro.



### 6.1. Recommandation du règlement sanitaire départemental respectée

Suite aux restrictions imposées par la crise sanitaire, et contrairement aux années précédentes, Atmo Occitanie n'a pas été en mesure d'effectuer d'analyse de dioxyde de carbone dans les rames lors de la période chaude. Les résultats indiqués dans le tableau suivant proviennent de mesures réalisées entre le 6 janvier et le 5 mars 2020.

Les résultats en 2020 sont comparables à ceux obtenus en 2019 dans les mêmes stations de métro.

Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )				
		Respect de la valeur de référence	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	Recommandation du règlement sanitaire départemental	Oui	1 300 ppm	Niveau maximal sur 10 minutes Esquirol : 848 ppm (période froide) Mirail-Université : 806 ppm (période froide)

### 6.2. Un niveau de confinement satisfaisant dans le métro

Sur l'ensemble des mesures réalisées en 2020, les concentrations de CO<sub>2</sub> ont atteint des maxima de 848 ppm pour la station de métro Esquirol et de 806 ppm pour la station de métro Mirail-Université. Les niveaux extrêmes sont donc inférieurs au seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1 300 ppm pour les locaux non-fumeurs.

Le CO<sub>2</sub> provenant de la respiration des personnes peut s'accumuler, et des concentrations élevées traduire un mauvais taux de renouvellement de l'air. Les mesures effectuées en 2020 indiquent un niveau de confinement faible dans les deux stations de métro instrumentées. Le système de ventilation dont sont équipées les stations et les tunnels permet de maintenir le CO<sub>2</sub> à des niveaux satisfaisants.

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

### 6.3. Des concentrations plus importantes dans les rames

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

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes a été de 1 186 ppm pendant la période froide.

Au cours de la période de mesure, les niveaux de CO<sub>2</sub> dans les rames de métro ont respecté le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1 300 ppm pour les locaux non-fumeurs.

## TABLE DES ANNEXES

---

**ANNEXE 1** : Choix des valeurs de référence de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines pour le métro toulousain

**ANNEXE 2** : Aspects de la réglementation en ambiance de travail

**ANNEXE 3** : Caractéristiques techniques du métro toulousain

**ANNEXE 4** : Caractéristiques techniques des stations de métro parisien

**ANNEXE 5** : Lecture d'un box-plot

**ANNEXE 6** : Protocole INERIS

**ANNEXE 7** : Dispositif d'évaluation de la qualité de l'air dans les zones accessibles au public

**ANNEXE 8** : Généralités sur les polluants étudiés

# ANNEXE 1 : 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 PM<sub>10</sub>

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 (C.S.H.P.F.), 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 ( $C_{sout}$ ) à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro ( $T_{sout}$ ), de la concentration extérieure en PM<sub>10</sub> (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 643  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2020.

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 PM<sub>10</sub> est la même qu'en milieu extérieur.
- Les teneurs en PM<sub>10</sub> sont constantes sur une journée (abstraction des pics).

	Concentration limite dans le métro ( $C_{sout}$ ) exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro ( $T_{sout}$ )				
	2016	2017	2018	2019	2020
	P90.4ext = 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	P90.4ext = 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>T<sub>sout</sub> = 15 mn</b>	2520	2138	2604	2519	2501
<b>T<sub>sout</sub> = 30 mn</b>	1272	1083	1314	1272	1263
<b>T<sub>sout</sub> = 45 mn</b>	856	731	883	856	850
<b>T<sub>sout</sub> = 1 h</b>	648	556	668	648	643

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  $643 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour 2020.

La valeur guide 2020 sur une demi-heure est fournie dans le tableau suivant à titre indicatif.

Particules de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$					
		Conformité à la valeur guide	Temps d'exposition des usagers par jour	Valeur guide 2020	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	½ heure	$1\,263 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum sur une demi-heure :
					Période chaude Esquirol : $307 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Mirail-Université : $541 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Période froide Esquirol : $304 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Mirail-Université : $347 \mu\text{g}/\text{m}^3$

## 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 1 h maximum par jour, à raison de deux voyages par jour de 30 mn. C'est donc la valeur guide de  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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'ANSES a proposé plusieurs valeurs guides de qualité d'air intérieur (V.G.A.I.), 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 (D.G.S.) a demandé au Haut Conseil de la santé publique de France (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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle
- Valeur repère de qualité de l'air : 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle
- Valeur cible : 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle

La valeur de 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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 1<sup>er</sup> janvier 2016.

## ANNEXE 2 : 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. À titre d'information voici quelques aspects de cette réglementation<sup>7</sup>:

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

- Soit des valeurs limites admises (V.L.) à caractère indicatif dans le cas général.
- Soit des valeurs limites réglementaires (V.R.), indicatives (V.R.I.) ou contraignantes (V.R.C.) 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 V.L. doivent être considérées comme des objectifs minimaux.

Deux types de valeurs limites ont été retenus :

- Des valeurs limites court terme (V.L.C.T.), 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 V.L.C.T. peuvent être considérées comme équivalentes. [...] On privilégiera désormais le sigle V.L.C.T. par rapport à la VLE
- Des valeurs limites sur 8 heures ou valeur limite de moyenne d'exposition (V.M.E.) destinées à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. La V.M.E. peut être dépassée sur une courte durée sous réserve de ne pas dépasser la V.L.C.T. lorsqu'elle

---

<sup>7</sup> I.N.R.S. (Institut National de Recherche et de Sécurité), valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984 aide-mémoire technique, juin 2006.

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 V.M.E. continuera d'être utilisé.

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

« Dans les locaux à pollution spécifique (où des substances dangereuses ou gênantes sont émises), les concentrations moyennes en poussières inhalables<sup>8</sup> et alvéolaires<sup>9</sup> de l'atmosphère inhalé par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m<sup>3</sup> d'air.

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

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

---

<sup>8</sup> Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique).

<sup>9</sup> Poussières dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 4 µm (PM<sub>4</sub>).

## ANNEXE 3 : Caractéristiques techniques du métro toulousain

### Caractéristiques du matériel roulant :

- Rames type VAL 208 (ancienne et nouvelle génération) : 70 rames pouvant fonctionner au besoin sur les deux lignes.
- Rames type VAL 206 (Véhicule Automatique Léger) : 28 rames ne fonctionnant que sur la ligne A.
- Le matériel roulant est sur pneumatiques.
- Environ 160 places dont 44 places assises.
- Les rames de 26 mètres, constituées de deux voitures, peuvent être couplées pour obtenir un train de 52 mètres formé par 4 voitures et d'environ 320 places.
- La vitesse maximale du matériel est de 80 km/h.

### Caractéristiques de la ligne A :

- Inaugurée en 1993.
- Les quais de 52 mètres permettent d'accueillir des rames doubles depuis le 10 janvier 2020.
- 12,5 km orientés dans l'axe sud-ouest / nord-est passant par le centre de Toulouse essentiellement souterrain.
- 18 stations de métro dont la station Jean Jaurès permettant l'interconnexion avec la ligne B.
- Vitesse commerciale moyenne : 35 km/h.
- 22 minutes et 30 secondes pour effectuer un parcours complet entre terminus,
- Fréquence de passage de rame : de 110 secondes au minimum (heures de pointe), 3 minutes (heures creuses semaine), 7 minutes (heures creuses dimanche et jours fériés), 9 minutes en début de service.  
Le doublement des rames a induit une baisse de la fréquence.
- Les rames circulent de 5 h 15 jusqu'à minuit (3 h les vendredis et samedis).
- 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 4 : 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 1<sup>er</sup> et 4<sup>e</sup> arrondissements de Paris.

En 2019, elle était la douzième station la plus fréquentée du réseau, avec 10,8 millions de voyageurs entrant dans la station soit près de 30 000 par 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 27 stations, la longueur moyenne des inter-stations 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 2020, le parcours complet de la ligne demande environ 29 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 50 rames en 2020. Les rames en circulation, les MP 89, sont montées sur pneumatique. 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.

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.

## 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 8<sup>e</sup> arrondissement de Paris.

En 2019, elle était la dix-neuvième station la plus fréquentée du réseau, avec 9,54 millions d'entrants directs soit environ 26 000 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 25 stations, la longueur moyenne des inter-stations est de 688 mètres.

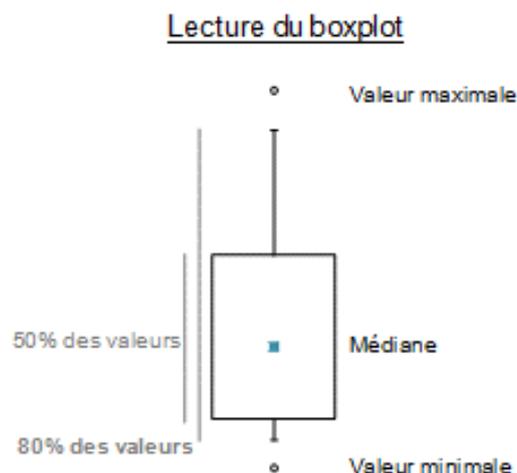
La ligne 1 est presque entièrement souterraine, à l'exception de la station Bastille et d'un tronçon aérien pour le franchissement de la Seine au milieu du pont de Neuilly, entre les stations Esplanade de la Défense et Pont de Neuilly.

En 2019, le parcours complet de la ligne demande trente-six 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-trois rames en 2020. Les rames en circulation, les MP 05 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.

## ANNEXE 5 : Lecture d'un box-plot



Un box-plot (ou boîte à moustaches) est une méthode efficace de présentation graphique de données numériques. Elle décrit les informations suivantes: la plus petite observation (valeur minimale), le quartile 1 (25 % des valeurs), la médiane (50 %), le quartile 3 (75 %) et la plus grande observation (valeur maximale). Le box-plot indique également les valeurs atypiques éventuelles. Il est construit de bas en haut, du quartile inférieur au quartile supérieur. Les moustaches connectent la boîte aux plus petites et aux plus grandes valeurs qui ne sont pas des valeurs atypiques éventuelles.

Afin d'interpréter un box-plot, il convient de regarder les valeurs numériques des trois quartiles, qui représentent respectivement 25 %, 50 % et 75 % de l'échantillon, et regarde la forme globale de la boîte et des moustaches pour obtenir les indications sur la symétrie ou l'asymétrie et les valeurs atypiques éventuelles.

## ANNEXE 6 : Protocole INERIS

Répondant à la demande de la Direction générale de la prévention des risques au sein du ministère de la Transition écologique et solidaire, l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) a publié en novembre 2020 un guide méthodologique pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines (E.F.S.)<sup>10</sup>.

Parmi les recommandations formulées, la création de quatre tableaux normalisés présentant les résultats obtenus :

- Sur la totalité de la campagne de mesures
- Sur les jours de la semaine
- Sur les week-ends
- Sur les périodes de pointe en semaine

Les données utilisées pour construire ces tableaux sont des données de type « quart-horaire », une mesure est enregistrée chaque pour chaque intervalle de 15 minutes, sauf pour le CO<sub>2</sub> pour lequel une mesure est prise chaque minute. Seules les mesures effectuées durant les heures de service du métro ont été retenues.

Le taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue, noté « taux de couverture » est le nombre de mesures valides relevées durant la période de fonctionnement de l'analyseur sur la période considérée.

Les quatre tableaux synthétisant la présente étude vont être présentés ci-dessous, ne seront placées en colonnes que les polluants effectivement mesurés dans la station considérée :

### Sur la totalité de la campagne de mesures

6 janvier au 5 mars 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
<b>Période de fct. de l'analyseur</b>	28/01-10/02	08/01-27/01	08/01-27/01	06/01-07/01 et 22/01-05/03
<b>Nombre de valeurs</b>	1021	1512	1518	35685
<b>Taux de couverture</b>	99%	100%	100%	100%
<b>Moyenne</b>	95	162	17	564
<b>Médiane</b>	97	165	17	560
<b>P10-P90</b>	50 - 141	76 - 238	16 - 18	437 - 711
<b>(Min-Max)</b>	(12 - 171)	(5 - 307)	(13 - 19)	(340 - 883)

<sup>10</sup> <https://www.ineris.fr/fr/recommandations-realisation-mesures-harmonisees-qualite-air-enceintes-ferroviaires-souterraines>

<b>6 janvier au 4 mars 2020</b> Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Température</b> (°C)	<b>CO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Période de fct. de l'analyseur	17/01-03/03	17/01-03/03	06/01-24/02
Nombre de valeurs	4180	4207	55459
Taux de couverture	97%	97%	100%
Moyenne	130	18	392
Médiane	128	18	382
P10-P90	63 - 200	17 - 20	333 - 463
(Min-Max)	(3 - 366)	(15 - 21)	(294 - 636)

<b>16 septembre au 5 novembre 2020</b> Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	<b>PM<sub>2.5</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Température</b> (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-01/10	01/10-15/10 et 28/10-05/11	01/10-15/10 et 28/10-05/11
Nombre de valeurs	1166	1693	1701
Taux de couverture	100%	100%	100%
Moyenne	110	155	21
Médiane	105	163	21
P10-P90	49 - 188	64 - 235	19 - 23
(Min-Max)	(5 - 249)	(0 - 308)	(17 - 24)

<b>16 septembre au 5 novembre 2020</b> Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	<b>PM<sub>10</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	<b>Température</b> (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-05/11	16/09-05/11
Nombre de valeurs	3830	3861
Taux de couverture	99%	99%
Moyenne	124	22
Médiane	121	21
P10-P90	36 - 211	19 - 26
(Min-Max)	(1 - 408)	(16 - 29)

## Sur les jours ouvrés de la semaine

6 janvier au 5 mars 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	28/01-10/02	08/01-27/01	08/01-27/01	06/01-07/01 et 22/01-05/03
Nombre de valeurs	673	990	996	25244
Taux de couverture	99%	99%	100%	100%
Moyenne	99	170	17	581
Médiane	105	181	18	582
P10-P90	52 - 140	78 - 238	16 - 18	441 - 722
(Min-Max)	(12 - 171)	(5 - 307)	(13 - 19)	(340 - 883)

6 janvier au 4 mars 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	17/01-03/03	17/01-03/03	06/01-24/02
Nombre de valeurs	2788	2815	37189
Taux de couverture	95%	96%	100%
Moyenne	133	18	405
Médiane	131	18	399
P10-P90	68 - 204	17 - 20	339 - 478
(Min-Max)	(3 - 348)	(15 - 21)	(294 - 636)

16 septembre au 5 novembre 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-01/10	01/10-15/10 et 28/10-05/11	01/10-15/10 et 28/10-05/11
Nombre de valeurs	818	1171	1179
Taux de couverture	100%	100%	100%
Moyenne	122	170	21
Médiane	117	181	21
P10-P90	58 - 196	80 - 246	20 - 23
(Min-Max)	(5 - 249)	(0 - 308)	(17 - 24)

16 septembre au 5 novembre 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-05/11	16/09-05/11
Nombre de valeurs	2608	2639
Taux de couverture	98%	99%
Moyenne	128	22
Médiane	123	21
P10-P90	48 - 214	19 - 26
(Min-Max)	(1 - 354)	(16 - 29)

## Sur les week-ends

6 janvier au 5 mars 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	28/01-10/02	08/01-27/01	08/01-27/01	06/01-07/01 et 22/01-05/03
Nombre de valeurs	348	522	522	10441
Taux de couverture	100%	100%	100%	100%
Moyenne	87	146	17	522
Médiane	83	143	17	500
P10-P90	48 - 141	76 - 237	16 - 18	431 - 664
(Min-Max)	(14 - 163)	(25 - 288)	(14 - 19)	(362 - 784)

6 janvier au 4 mars 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	17/01-03/03	17/01-03/03	06/01-24/02
Nombre de valeurs	1392	1392	18270
Taux de couverture	100%	100%	100%
Moyenne	124	18	365
Médiane	121	19	364
P10-P90	55 - 195	17 - 19	324 - 408
(Min-Max)	(11 - 366)	(15 - 20)	(300 - 465)

16 septembre au 5 novembre 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-01/10	01/10-15/10 et 28/10-05/11	01/10-15/10 et 28/10-05/11
Nombre de valeurs	348	522	522
Taux de couverture	100%	100%	100%
Moyenne	84	120	21
Médiane	72	125	21
P10-P90	38 - 151	52 - 185	19 - 22
(Min-Max)	(6 - 182)	(12 - 268)	(17 - 23)

16 septembre au 5 novembre 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-05/11	16/09-05/11
Nombre de valeurs	1222	1222
Taux de couverture	100%	100%
Moyenne	116	21
Médiane	118	21
P10-P90	25 - 205	18 - 27
(Min-Max)	(4 - 408)	(16 - 28)

## Sur les heures de pointe en jours ouvrés

6 janvier au 5 mars 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	28/01-10/02	08/01-27/01	08/01-27/01	06/01-07/01 et 22/01-05/03
Nombre de valeurs	163	239	243	5352
Taux de couverture	100%	98%	100%	100%
Moyenne	116	200	18	626
Médiane	126	208	18	630
P10-P90	67 - 148	120 - 257	17 - 19	461 - 775
(Min-Max)	(40 - 165)	(66 - 307)	(16 - 19)	(369 - 883)

6 janvier au 4 mars 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)	CO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Période de fct. de l'analyseur	17/01-03/03	17/01-03/03	06/01-24/02
Nombre de valeurs	666	666	7800
Taux de couverture	95%	95%	100%
Moyenne	136	18	425
Médiane	128	18	427
P10-P90	80 - 203	17 - 20	352 - 493
(Min-Max)	(25 - 348)	(15 - 21)	(311 - 617)

16 septembre au 5 novembre 2020 Esquirol Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-01/10	01/10-15/10 et 28/10-05/11	01/10-15/10 et 28/10-05/11
Nombre de valeurs	187	269	269
Taux de couverture	100%	100%	100%
Moyenne	138	196	21
Médiane	129	201	22
P10-P90	68 - 205	119 - 263	20 - 23
(Min-Max)	(41 - 249)	(82 - 308)	(18 - 24)

16 septembre au 5 novembre 2020 Mirail-Université Ligne A du métro de Toulouse	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Température (°C)
Période de fct. de l'analyseur	16/09-05/11	16/09-05/11
Nombre de valeurs	605	605
Taux de couverture	99%	99%
Moyenne	134	22
Médiane	128	21
P10-P90	61 - 211	19 - 26
(Min-Max)	(25 - 351)	(16 - 29)

## ANNEXE 7 : Protocole d'évaluation de la qualité de l'air dans les zones accessibles au public

**La situation sanitaire exceptionnelle rencontrée en 2020 a entraîné des restrictions qui ont entravé les actions menées par Atmo Occitanie. Exceptionnellement, les mesures sur les quais et dans les rames du CO<sub>2</sub>, les prélèvements de NO<sub>2</sub> dans les rames, les prélèvements de benzène dans les rames et la mesure des concentrations en particules PM<sub>10</sub> dans les rames n'ont été réalisés que pour la période froide.**

Les campagnes de mesures se sont déroulées :

- du 16 septembre 2020 au 5 novembre 2020 pour la période chaude ;
- du 6 janvier 2020 au 4 mars 2020 pour la période froide.

### Dispositifs installés sur les quais des stations de métro

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

- la station de métro Esquirol a été équipée d'appareils permettant la mesure de NO<sub>2</sub>, particules (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) ;
- la station de métro Mirail-Université a été équipée d'appareils de mesures de PM<sub>10</sub>.

Ces analyseurs permettent la mesure en continu 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.

Des mesures de benzène, par tubes échantillonneurs passifs ont été réalisées sur les quais ainsi qu'à l'entrée des stations de métro Esquirol et Mirail-Université.

À l'aide d'un analyseur portable, les concentrations en dioxyde de carbone ont été relevées sur les quais des deux stations ciblées par cette étude.

### Dispositifs embarqués dans les rames

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

La concentration en particules fines de type PM<sub>10</sub> est mesurée dans les rames à l'aide d'un analyseur portable. Des mesures sont ainsi menées sur plusieurs aller-retour aux heures de pointe du matin, heures creuses du matin et heures de pointe du soir.

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

L'évaluation des teneurs en benzène est réalisée en prélevant l'air de la rame grâce à une pompe pendant une heure. Il est injecté au travers d'une cartouche absorbante thermodésorbable. Les cartouches absorbantes sont constituées d'un tube en verre contenant deux adsorbants des COV séparés par de la laine de quartz.

Sur une journée, plusieurs prélèvements ont été réalisés à l'aide de pompes manuelles sur l'ensemble du trajet de terminus à terminus de la ligne A du métro. Les prélèvements sont ensuite analysés par un laboratoire extérieur.

Les concentrations en dioxyde de carbone ont été relevées à l'intérieur des rames à l'aide du même type d'analyseur que celui employé sur les quais des stations de métro.

## ANNEXE 8 : Généralités sur les polluants étudiés

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

#### Sources

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) sont émis lors de la combustion incomplète des combustibles fossiles. Au contact des oxydants présents dans l'air, comme l'oxygène et l'ozone, le NO se transforme rapidement en NO<sub>2</sub>.

Le NO<sub>2</sub> est un gaz irritant pour les bronches. Le NO<sub>2</sub> participe aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

Les principales sources sont les véhicules et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffage...). Le NO<sub>2</sub> est également présent à l'intérieur des locaux où fonctionnent des appareils au gaz tels que gazinières, chauffe-eau au gaz.

Le pot catalytique a permis, depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence. Néanmoins, l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de l'âge moyen des véhicules et de l'augmentation forte du trafic automobile.

Des études montrent qu'une fois sur 2 les européens prennent leur voiture pour faire moins de 3 km, une fois sur 4 pour faire moins de 1 km et une fois sur 8 pour faire moins de 500 mètres ; or le pot catalytique n'a une action sur les émissions qu'à partir de 10 km.

#### 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/m<sup>3</sup>, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

#### Effets sur l'environnement

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

### Les particules de type PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>

#### Sources

Les particules, notées PM pour « particulate matter » soit « matière particulaire » en français, peuvent être d'origine naturelle (embruns océaniques, éruption volcaniques, feux de forêt, érosion éolienne des sols, pollens...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation automobile, centrale thermique, sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux...).

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. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM<sub>10</sub>), à 2,5 micromètres (PM<sub>2.5</sub>) et à 1 micromètre (PM<sub>1</sub>).

### 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 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  $PM_{10}$  et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardio-vasculaires.

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.

## Le benzène - $C_6H_6$

### Sources

La contamination de l'air extérieur résulte des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte, quant à elle, 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...).

### 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 (C.I.R.C.) 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 (U.S.-E.P.A.). À ce titre, il est soumis à d'importantes restrictions d'usage.

## Le dioxyde de carbone – $CO_2$

### Sources

Le dioxyde de carbone, est un composé chimique de formule  $CO_2$ . Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante. Le  $CO_2$  est un gaz à effet de serre bien connu, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine infra-rouge, de sorte qu'il tend à bloquer la réémission de l'énergie thermique reçue du soleil.

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

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

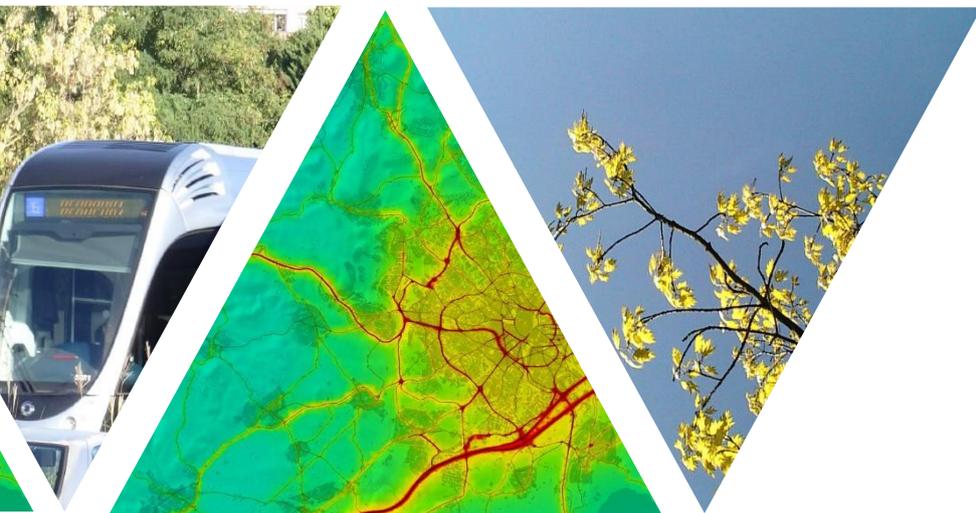
La recommandation du règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser 1000 ppm dans les locaux, avec une tolérance de 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer.

#### ● 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 CO<sub>2</sub> supérieures à 1000 ppm en moyenne sur une journée d'école ;
- dans les bureaux, une augmentation de la fréquence de symptômes du syndrome des bâtiments malsains (ou SBS) peut être associée à des concentrations de CO<sub>2</sub> supérieures à 850 ppm en moyenne sur une journée de travail.

Concernant les effets intrinsèques du CO<sub>2</sub>, il est observé qu'une récente étude expérimentale sur 22 sujets humains adultes suggère un effet propre du CO<sub>2</sub> sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) à partir de 1 000 pm.



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

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



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

Agence de Toulouse  
10bis chemin des Capelles  
31300 TOULOUSE

Tel : 09.69.36.89.53  
(Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)

Crédit photo : Atmo Occitanie