

Surveillance de la qualité de l'air dans le métro de Toulouse – ligne A

Année 2022

ETU-2023-171 Edition Mai 2024



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. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site :

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

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	1
1. INTRODUCTION	4
2. MÉTHODE	5
2.1. DISPOSITIF D'ÉVALUATION.....	5
2.2. RÉGLEMENTATIONS PRISES EN COMPTE	6
2.2.1. Valeurs applicables aux usagers du métro	6
2.2.2. Valeurs réglementaires pour les ambiances de travail	7
3. RÉSULTATS DES MESURES	8
3.1. LES PARTICULES.....	8
3.1.1. Des concentrations ponctuellement supérieures à l'indicateur de gestion le plus protecteur de la santé des usagers	8
3.1.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs.....	10
3.1.3. L'activité du métro source de particules	10
3.1.4. Des niveaux de particules du même ordre de grandeur dans les rames et sur les quais des stations de métro	12
3.1.5. Des concentrations moyennes en PM ₁₀ supérieures à celles du métro parisien	13
3.2. LES MÉTAUX	15
3.2.1. Des concentrations en nickel et manganèse supérieures aux valeurs réglementaires applicables en air extérieur.....	15
3.2.2. L'activité métro source de métaux	16
3.2.3. Des concentrations plus élevées en période chaude.....	17
3.2.4. De fortes variations des concentrations entre 2012 et 2022	17
3.2.5. Des concentrations supérieures aux autres réseaux de métro pour la plupart des métaux en concentration.....	18
3.3. LE DIOXYDE D'AZOTE.....	19
3.3.1. Respect de la valeur guide pour la santé des usagers	19
3.3.2. Respect de la valeur limite d'exposition pour la santé des travailleurs	19
3.3.3. Des niveaux de concentration inférieurs au fond urbain extérieur	20
3.3.4. Dans les rames, des concentrations analogues à celles sur les quais	21
3.3.5. Des concentrations inférieures à celles du métro parisien	21
3.4. LE BENZÈNE	23
3.4.1. Respect de la valeur guide pour la protection de la santé des usagers.....	23
3.4.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs.....	23
3.4.3. Sur les quais, des niveaux stables et légèrement supérieurs à l'air extérieur.....	24
3.4.4. Des niveaux en diminution depuis 2017	24
3.4.5. Dans les rames, des concentrations analogues à celles sur les quais	25
3.5. LE DIOXYDE DE CARBONE.....	26
3.5.1. Un niveau de confinement satisfaisant dans l'enceinte des stations et les rames du métro	26
3.5.2. Des concentrations plus faibles dans les rames que sur les quais de Esquirol.....	26
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	27
TABLE DES ANNEXES	29

RÉSUMÉ

Depuis 2004, en partenariat avec TISSEO Collectivités, Atmo Occitanie étudie 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 connaître les niveaux de concentration rencontrés sur l'ensemble du réseau.

Ce rapport rend compte de l'état de la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain en 2022.

Etat de la qualité de l'air en 2022 dans la ligne A du métro

Le temps moyen passé par un usager dans le métro toulousain est de 30 min¹.

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Sur ce pas de temps, les concentrations de particules PM₁₀ mesurées sur les quais de la ligne A respectent l'indicateur de gestion (C_{sout-Lim}) de 940 µg/m³ de l'Anses. En revanche, les concentrations sur 30 minutes des particules PM₁₀ et PM_{2.5} dépassent les valeurs de gestion de l'Anses (C_{sout-OMS}) les plus contraignantes, jusqu'à 41% du temps total de mesure pour les PM₁₀ dans la station de métro Esquirol.

Les concentrations mesurées sont très inférieures au seuil réglementaire fixé pour la santé des travailleurs.

Les particules sont produites par l'activité du métro lors de l'usure du matériel et par remise en suspension dans l'air.

Nous constatons que les concentrations peuvent présenter une forte variabilité entre les deux périodes de mesure. Ainsi, la station de métro Esquirol, enregistre des concentrations en particules jusqu'à 30% plus élevées en période chaude qu'en période froide.

Les concentrations en particules mesurées dans le métro toulousain sont **nettement plus élevées que la concentration moyenne en air ambiant de la situation de fond urbain** (Sur le quai de la station de métro Esquirol : Particules PM₁₀ 13 fois plus élevées – particules PM_{2.5} 15 fois plus élevées – particules PM₁ 5 fois plus élevées). **L'usager du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.**

En revanche, les concentrations de particules PM₁₀ ne varient que très peu entre le quai et les rames.

Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'enceinte du métro sont en hausse en 2022, avec les niveaux les plus hauts enregistrés depuis 2015. **Les concentrations en période froide de PM₁ en 2022 sont plus faibles que celles mesurées en 2020 tandis que les concentrations en période chaude 2022 sont les plus élevées depuis 2019.** Depuis l'inauguration en 2020 du passage de la ligne A en XXL (doublement des wagons), **TISSEO a constaté une usure plus rapide des matériaux de freinage. Cette modification des rames entraîne une utilisation accrue du freinage mécanique, plus émetteur de particules, au détriment du freinage électrique. Cela peut expliquer la hausse des concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'air de la ligne A. Le doublement du nombre de wagons ne semble pas impacter les niveaux de particules PM₁.**

¹ Source : TISSEO Collectivités

Les concentrations moyennes de PM₁₀ et PM_{2,5} mesurées dans le métro toulousain sont supérieures à celles relevées dans le réseau francilien.

Les métaux

Les concentrations en manganèse et nickel dans la station Esquirol sont supérieures aux valeurs guide et réglementaire applicables à l'air extérieur, prises comme référence. En revanche, les niveaux d'arsenic, de cadmium et de plomb sont en deçà.

L'atmosphère de la station de métro Esquirol apparaît enrichie de toutes les espèces métalliques analysées. Les métaux représentent ainsi 50% des particules PM₁₀. Des concentrations très élevées, en comparaison des niveaux rencontrés en fond urbain, sont ainsi mesurées.

Le métro est source de particules métalliques. En effet, les roues, rails et aiguillages produiraient du fer et du chrome tandis que les semelles composites des matériaux de freinages seraient sources de baryum. En outre, les caténaires et moteurs électriques seraient à l'origine d'émissions de cuivre quand le manganèse proviendrait des aiguillages.

L'augmentation des concentrations, lors de la saison chaude pour les particules, se retrouve aussi dans les concentrations de métaux et tout particulièrement dans les éléments les plus représentés, comme le fer, le cuivre, le baryum et le zinc. Seul l'étain est en diminution lors de cette période de mesure.

Entre 2012 et 2022, les concentrations des différentes espèces métalliques montrent des évolutions différentes. Les concentrations de fer et de zinc observées en 2022 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2012. Des métaux sont en forte hausse (arsenic, baryum et nickel) tandis que d'autres en forte baisse (cadmium, plomb, étain).

En comparaison des concentrations mesurées dans d'autres métros français, il apparaît que certaines espèces métalliques, telles que le fer, le cuivre ou le zinc, sont présentes en plus grande quantité dans le métro toulousain.

Le dioxyde d'azote (NO₂) et le benzène

Les concentrations de NO₂ et de benzène mesurées sur les quais et dans les rames de métro de la ligne A en 2022 respectent les valeurs guides pour l'air intérieur ainsi que l'ensemble des valeurs moyennes d'exposition pour les ambiances de travail.

Les concentrations de NO₂ observées dans le métro sont plus faibles qu'en fond urbain. En revanche pour le benzène, Les concentrations sur les quais des stations de métro sont légèrement plus élevées que celles observées en air extérieur à l'entrée de ces stations ou en fond urbain.

L'évolution des concentrations sur le quai d'Esquirol est similaire à celle observée en fond urbain depuis 2017.

Les concentrations de benzène ont diminué entre 2017 et 2019 puis se sont globalement stabilisées.

La concentration moyenne et maximale du NO₂ sur le quai de la station de métro toulousain est 2 à 3 fois plus faible que celles observées dans les trois stations du métro et RER francilien.

Les enceintes ferroviaires souterraines ne sont que très peu sources de NO₂ et benzène ce qui explique les niveaux faibles mesurés. Ces polluants sont donc principalement importés de l'extérieur dans les stations de métro par la ventilation.

Le dioxyde de carbone (CO₂)

Les concentrations en CO₂ mesurées sur les quais sont inférieures au seuil du règlement sanitaire départemental. Le système de ventilation de la ligne de métro assure donc un renouvellement de l'air correct. En revanche, les concentrations sur 10 minutes mesurées dans les rames du métro ont dépassé ce seuil à plusieurs reprises, lors de la période chaude.

Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont exposés à des fortes concentrations en particules et espèces métalliques dans le cadre de leurs trajets quotidiens sur la ligne A. C'est pourquoi il est important de poursuivre les efforts afin de tendre vers des niveaux de concentration plus faibles en particules. Néanmoins, il est à noter que ces trajets s'effectuent dans un laps de temps court (en moyenne 30min par jour).

1. INTRODUCTION

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. Dans ce cadre, Atmo Occitanie réalise tous les ans, depuis 2004, des mesures d'évaluation de la qualité de l'air sur l'une des deux lignes du réseau métro toulousain.

En 2022, Atmo Occitanie a évalué la qualité de l'air sur deux quais et dans des rames de la ligne A. Pour se faire, nous avons installé différents dispositifs de mesure sur les quais des stations Esquirol et Mirail-Université. Nous avons également réalisé des mesures en heures de pointe et en heures creuses dans des rames de métro sur une journée.

Afin de situer la qualité de l'air dans le métro toulousain et en l'absence de seuils réglementaires, Atmo Occitanie compare les concentrations mesurées à des valeurs de gestion ou des valeurs guides selon les polluants. En 2022², l'Anses a publié un rapport où elle propose des indicateurs de gestion vers lesquels tendre afin d'offrir un environnement sûr pour les voyageurs. Ces indicateurs ont vocation à être utilisés comme des repères pour situer les niveaux de pollution en particules PM₁₀ et PM_{2,5} dans les métros. Atmo Occitanie compare donc dorénavant les concentrations mesurées en particules dans le métro toulousain à ces nouvelles valeurs de gestion.

Le présent rapport rend compte de l'état de la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain en 2022. Ainsi, il présente les niveaux de polluants mesurés sur les quais et dans les rames :

Les concentrations mesurées sur les quais sont mises en perspective :

- Des valeurs guides applicables aux usagers
- Des valeurs réglementaires fixées pour les ambiances de travail.
- Des niveaux mesurés en air extérieur sur l'agglomération toulousaine
- Des niveaux mesurés dans le métro parisien.

Ce rapport est diffusé à Tisséo Collectivités et mis à la disposition de tous sous la forme d'un rapport accessible sur le site www.atmo-occitanie.org. Cette action est menée dans le cadre d'une convention de partenariat entre Atmo Occitanie et Tisséo Collectivités. Elle s'inscrit dans le cadre de l'axe 3 du projet associatif d'Atmo Occitanie : « Évaluer et suivre l'impact des activités humaines et de l'aménagement du territoire sur la qualité de l'air ».

² <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0148Ra.pdf>

2. MÉTHODE

2.1. Dispositif d'évaluation

Pour évaluer la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain, Atmo Occitanie a réalisé deux campagnes de mesures et s'est appuyé sur l'installation de différents dispositifs de mesure sur les quais des stations Esquirol et Mirail Université et sur la réalisation de mesures en heures de pointe et en heures creuses dans des rames de métro pendant une journée. Le protocole d'évaluation est disponible en *annexe 1*. Les polluants mesurés sont présentés en *annexe 2*.

Les polluants mesurés et les périodes de mesure sont indiqués dans l'encadré ci-après.

PRÉSENTATION DES CAMPAGNES DE MESURE

DATES

PERIODE FROIDE : Du 20/01 au 24/03/2022

PERIODE CHAUDE : Du 20/09 au 16/11/2022

POLLUANTS MESURÉS

Particules en suspension PM₁₀ : sur le quai des stations de métro Esquirol, Mirail-Université et dans les rames

Dioxyde d'azote (NO₂) : sur le quai de la station de métro Esquirol et dans les rames

Particules fines PM_{2,5} : sur le quai de la station de métro Esquirol

Benzène : sur le quai des stations de métro Esquirol et Mirail-Université, dans les rames

Particules très fines PM₁ : sur le quai de la station de métro Esquirol

Dioxyde de carbone (CO₂) : sur le quai des stations de métro Esquirol, Mirail-Université et dans les rames

Métaux : sur le quai de la station de métro Esquirol

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

2.2. Réglementations prises en compte

En l'absence de seuils réglementaires à ne pas dépasser dans les métros, Atmo Occitanie s'appuie sur des valeurs guides applicables aux usagers du métro afin de situer les concentrations mesurées dans le métro toulousain.

Atmo Occitanie évalue également les concentrations mesurées dans le métro au regard des valeurs réglementaires fixées pour les ambiances de travail.

2.2.1. Valeurs applicables aux usagers du métro

Les valeurs applicables aux usagers du métro sont issues de plusieurs organismes :

- Les valeurs de gestion de la qualité de l'air des enceintes ferroviaires souterraines (EFS) ont été fixées par l'Anses³ en 2022. Elles correspondent à des concentrations en particules en suspension PM₁₀ et PM_{2,5} à viser dans les enceintes ferroviaires souterraines (voir *annexe 3*). Ainsi, l'Anses recommande à minima :
 - De ne pas dépasser les concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} dans l'air des EFS calculées à partir des valeurs guides de qualité de l'air ambiant fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (C_{sout_OMS}),
 - Et à plus forte raison de ne pas dépasser les concentrations en PM₁₀ dans l'air des EFS calculées à partir de la valeur limite journalière en vigueur pour les PM₁₀ de l'air ambiant (C_{sout_Lim}).
- La « valeur guide de qualité d'air intérieur » (VGAi) du dioxyde d'azote fixée par l'Anses⁴,
- La valeur guide pour l'air intérieur définie réglementairement pour le benzène⁵,
- Le seuil fixé par le titre III des Règlements sanitaires départementaux (RSD) pour le CO₂.

Ces différentes valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	Valeurs applicables aux usagers du métro	Période
PM ₁₀	$C_{sout_OMS} = 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $C_{sout_lim} = 940 \mu\text{g}/\text{m}^3$	30 min ⁶
PM _{2,5}	$C_{sout_OMS} = 140 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
NO ₂	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Horaire
Benzène	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Année civile
CO ₂	1300 ppm	-

Il n'existe pas de valeur guide concernant l'exposition aux métaux dans l'air intérieur. En revanche, certains métaux sont réglementés dans le droit français pour l'air extérieur. A titre d'information, nous avons utilisé ces réglementations pour situer les niveaux de métaux dans l'enceinte de la ligne A du métro. Nous rappelons cependant que cette réglementation est fixée sur une année de mesures tandis que nous avons estimé que la présence des usagers dans le métro est estimée, par Tisséo, à environ une demi-heure.

³ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0148Ra.pdf>

⁴ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0021Ra.pdf>

⁵ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2004etVG004Ra.pdf>

⁶ Temps de présence maximal d'un usager dans le métro toulousain – Source Tisséo Collectivités

2.2.2. Valeurs réglementaires pour les ambiances de travail

La valeur limite moyenne d'exposition au poste de travail (VME) est définie comme la concentration moyenne autorisée dans l'air des postes de travail pour 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 PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁. Nous comparons donc les concentrations en particules avec la VME fixée pour les particules alvéolaires c'est-à-dire de diamètre inférieur à 4 µm en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2023. Dans les rapports antérieurs, la VME fixée pour les particules alvéolaires était fixée à 5 000 µg/m³.**

Le dioxyde d'azote est quant à lui encadré par une valeur limite d'exposition à court terme (VLCT) d'une période de 15min. Elle vise à protéger les travailleurs des effets néfastes (effets toxiques immédiats ou à court terme, tels que des phénomènes d'irritation) sur la santé dus à des pics d'exposition.

	Valeurs réglementaires pour les ambiances de travail	Période
PM _{<4µm}	900 µg/m ³	8h
NO ₂	6000 µg/m ³	15 min
Benzène	3250 µg/m ³	8h
CO ₂	1300 ppm	-

3. RÉSULTATS DES MESURES

Dans les chapitres ci-dessous, nous présentons les concentrations des sept polluants mesurés dans l'enceinte de la ligne A du métro de Toulouse. Pour chacun d'eux, nous proposons une évaluation de leur situation vis-à-vis des valeurs guides applicables aux usagers et des seuils réglementaires fixés pour les ambiances de travail, ainsi qu'une comparaison avec les concentrations mesurées en air extérieur sur l'agglomération toulousaine et celles mesurées dans le métro parisien, dont les caractéristiques sont présentées en *annexe 4*. Enfin, nous présentons les concentrations mesurées dans les rames.

3.1. Les particules

3.1.1. Des concentrations ponctuellement supérieures à l'indicateur de gestion le plus protecteur de la santé des usagers

Aucune concentration, moyennée sur une demi-heure, de particules PM₁₀ mesurée dans l'enceinte de la ligne A ne dépasse la valeur de gestion de 940 µg/m³ fixée à partir de la valeur limite réglementaire (C_{sout_lim}) recommandée par l'Anses.

En revanche, les valeurs de gestion les plus protectrices fixées à partir des valeurs guide OMS (C_{sout_OMS}) sur 30min sont régulièrement dépassées.

Particules de diamètre inférieur à 10 µm					
		Conformité à la valeur de gestion	Temps d'exposition des usagers	Valeur de gestion	Maximum des concentrations de 30min sur les deux périodes de mesure ⁷
Exposition de courte durée	C _{sout_OMS} calculée à partir de la valeur guide de l'OMS	NON	30 min ⁸	250 µg/m ³	Période froide Esquirol : 754 µg/m ³ Mirail Université : 640 µg/m ³
	C _{sout_lim} calculée à partir de la valeur limite de la directive EU	OUI	30 min	940 µg/m ³	Période chaude Esquirol : 763 µg/m ³ Mirail Université : 663 µg/m ³
Particules de diamètre inférieur à 2.5 µm					
		Conformité à la valeur de gestion	Temps d'exposition des usagers	Valeur de gestion	Maximum des concentrations de 30min sur deux périodes de mesure ¹⁰
Exposition de courte durée	C _{sout_OMS} calculée à partir de la valeur guide de l'OMS	NON	30 min	140 µg/m ³	Période froide Esquirol : 352 µg/m ³ Période chaude Esquirol : 657 µg/m ³

⁷ Calculé sur 30 minutes glissantes

⁸ Source TISSEO Collectivités.

Afin de mieux appréhender les niveaux auxquels les usagers sont confrontés, nous avons répertorié dans le tableau ci-dessous, les informations relatives à la situation par rapport aux valeurs de gestion les plus protectrices fixées à partir des valeurs guide OMS :

- La durée de la période ouvrée, en heure, cumulée où les concentrations de particules étaient en dépassement de la valeur C_{sout_OMS} ;
- La durée d'échantillonnage de la période ouvrée totale de chaque polluant.
- Le pourcentage de temps durant lequel les concentrations de particules étaient supérieures à la valeur C_{sout_OMS} .

La durée d'échantillonnage varie selon le polluant et la station car la méthode utilisée pour la mesure des PM_{10} et $PM_{2.5}$ ne permet pas leur enregistrement simultané.

Pour les particules PM_{10} , la valeur C_{sout_OMS} a été dépassée :

- **Pendant près la moitié (41%) de la campagne de mesure** dans la station Esquirol ;
- **Pendant moins d'1/4 (14%) de la campagne de mesure** dans la station Mirail-Université.

Pour les particules $PM_{2.5}$, **la valeur C_{sout_OMS} a été dépassée pendant près de la moitié de la campagne de mesure sur le quai de la station Esquirol.**

		Ligne de métro A		
		Durée cumulée des dépassements (Période ouvrée des deux campagnes)	Durée totales des deux campagnes de mesures (Période ouvrée)	Pourcentage de dépassement sur la période de mesure
		Heure		
2022	PM ₁₀ ESQUIROL	240	584	41%
	PM ₁₀ MIRAIL-UNIVERSITE	288	2050	14%
	PM _{2.5} ESQUIROL	280	703	40%

3.1.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs

En atmosphère de travail, les normes en vigueur sont fixées par le code du travail et passent par la définition de différentes valeurs limites. Les informations autour de cette réglementation sont disponibles en *annexe 5*.

L'Institut national de la santé et sécurité au travail (INRS) établit une valeur limite d'exposition professionnelle (VME) pour les particules totales ($4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et pour les particules alvéolaires⁹ ($900 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Il a donc été décidé par Atmo Occitanie de comparer les concentrations de particules mesurées à la valeur la plus contraignante, la VME pour les particules alvéolaires.

La VME est respectée dans l'enceinte du métro.

Particules en suspension (PM_{10}) et fines ($\text{PM}_{2.5}$ et PM_1)				
Particules		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Période
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'exposition professionnelle (VME)	OUI	$900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur huit heures	Maximum sur huit heures : Particules PM_{10} Mirail-Université : $448 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Esquirol : $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Particules $\text{PM}_{2.5}$ Esquirol : $285 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Particules PM_1 Esquirol : $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$
				Période chaude

3.1.3. L'activité du métro source de particules

L'activité du métro est source de particules. En roulant sur les rails et en freinant, les rames produisent des particules et les remettent en suspension. Les concentrations mesurées sur les quais du métro sont liées, entre autres, au type de rames en circulation, à la fréquence de passage des rames, à la configuration des stations de métro et à la performance du système de ventilation.

En complément des concentrations en particules PM_{10} mesurées sur les quais des stations de métro Esquirol et Mirail Université, nous avons mesuré les niveaux de particules fines $\text{PM}_{2.5}$ et très fines PM_1 dans l'enceinte de la station de métro Esquirol, en alternance avec les mesures de PM_{10} , lors des deux périodes de mesures.

Le graphique ci-dessous présente les concentrations de particules sur les stations de métro ainsi que dans l'air ambiant lors des deux campagnes de mesure (chaude et froide).

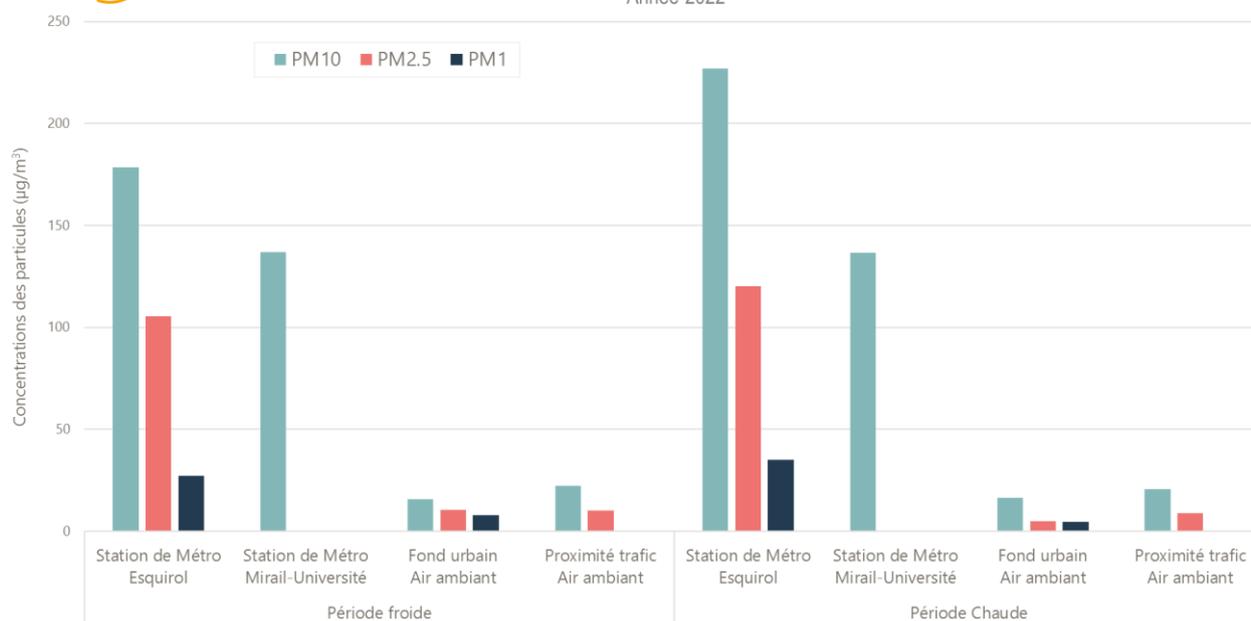
En 2022, les concentrations de particules PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ et PM_1 relevées dans la station de métro Esquirol sont nettement plus élevées lors de la période chaude (respectivement 27%, 14% et 30 % de plus que leurs concentrations respectives lors de la période froide) tandis que les niveaux de PM_{10} sont quasi stables sur le quai de la station de métro Mirail-Université.

⁹ De taille inférieure à $4 \mu\text{m}$

Les particules PM₁₀ sont composées pour plus de la moitié de particules PM_{2.5} et près de 15% de PM₁.



Concentrations moyennes des particules (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) mesurées sur les stations de métro de la ligne A ainsi que sur les stations air ambient de fond et trafic, de l'agglomération toulousaine
Année 2022



Depuis le début des mesures, nous avons mis en évidence que les particules sont plus concentrées dans l'enceinte du métro que dans le fond urbain et qu'en proximité trafic, et ce, pour les différentes tailles de particules étudiées. Les mesures faites en 2022 confirment ces observations. En effet, en comparaison du fond urbain, les concentrations de particules mesurées sur le quai de la station Esquirol sont :

- 13 fois plus élevées pour les PM₁₀ (8 fois plus dans la station de métro Mirail Université) ;
- 15 fois plus élevées pour les PM_{2.5} qui représentent 56% des PM₁₀ ;
- 5 fois supérieures pour les PM₁ qui représentent 15% des PM₁₀.

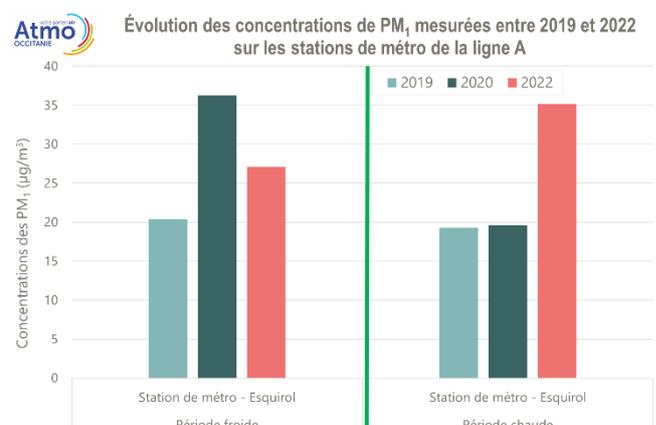
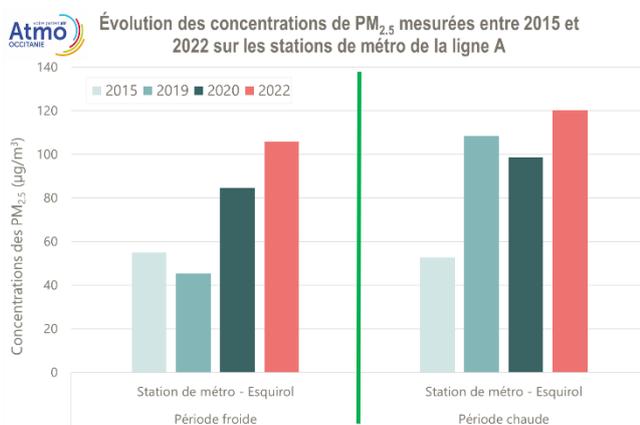
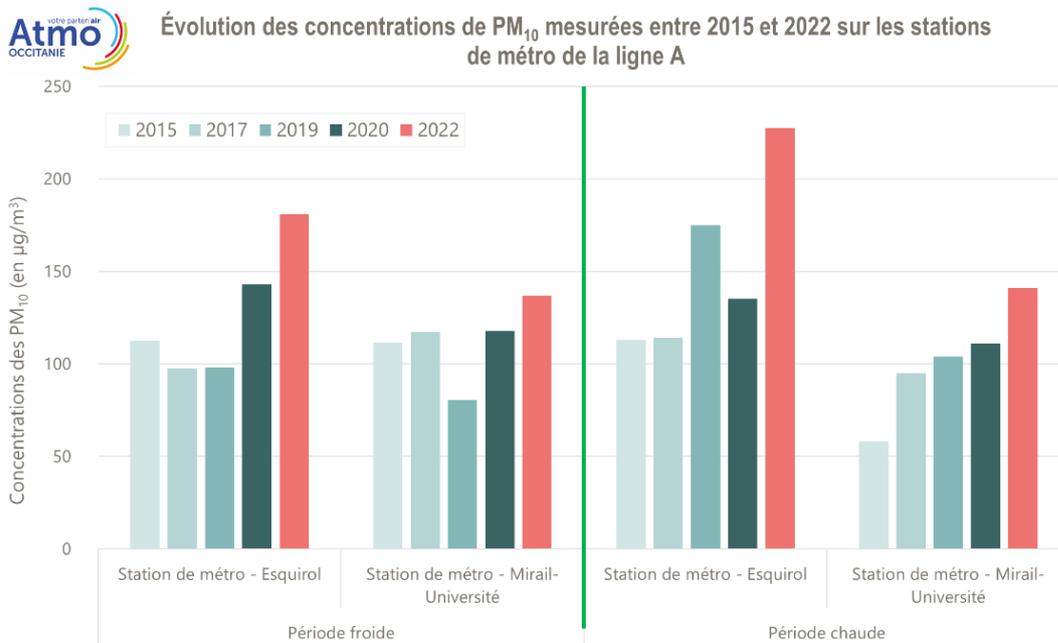
En comparaison des niveaux observés en proximité du trafic, les concentrations de particules mesurées sur le quai de la station Esquirol sont :

- 9 fois plus élevés pour les PM₁₀ (6 fois plus dans la station de métro Mirail Université)
- 12 fois plus élevées pour les PM_{2.5}.

L'utilisateur du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration durant un court laps de temps.

Les figures ci-après représentent l'évolution des niveaux de particules relevés lors des périodes chaude et froide, sur le quai des stations de métro de la ligne A (PM₁₀ Esquirol et Mirail-Université – PM_{2.5} Esquirol) en 2015, 2017, 2019 et 2020 et 2022. **Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'enceinte du métro sont en hausse en 2022, avec les niveaux les plus hauts enregistrés depuis 2015. En 2020, TISSEO a inauguré le doublement du nombre de wagons à chaque passage de rames afin d'augmenter progressivement la capacité de la ligne A. Ce doublement a pour conséquence une utilisation accrue du freinage mécanique plus émetteur de particules au détriment du freinage électrique. Ainsi, TISSEO a constaté une usure plus rapide des matériaux de freinage. Cela semble se traduire par une hausse des concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'air de la ligne A.**

Les mesures de PM_{10} ont débuté en 2019 dans l'enceinte du métro. **Les concentrations 2022 en période froide des PM_{10} sont plus faibles que celles mesurées en 2020 tandis que les concentrations en période chaude 2022 sont les plus élevées depuis 2019. Le doublement du nombre de wagons ne semble pas impacter les niveaux de particules PM_{10} .** Cette situation est cohérente avec les conclusions des précédentes études qui mettaient en évidence que les particules émises dans le métro sont majoritairement des particules avec un diamètre proche de $10\mu m$.



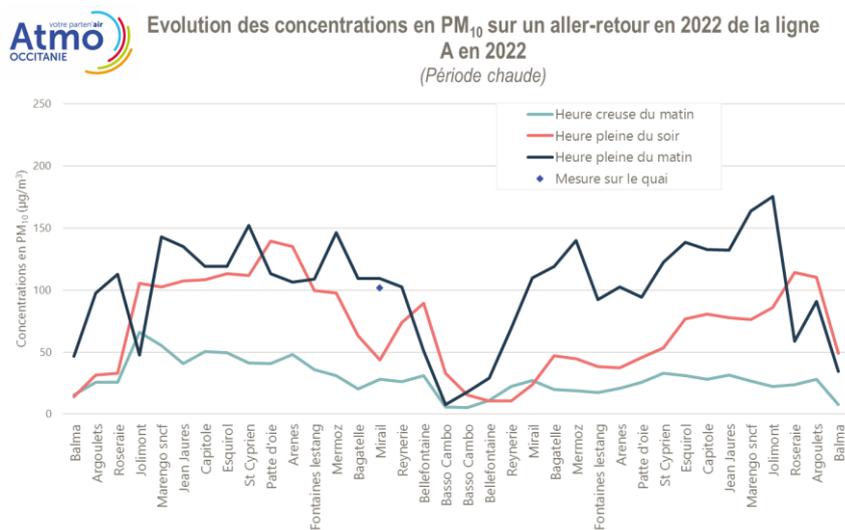
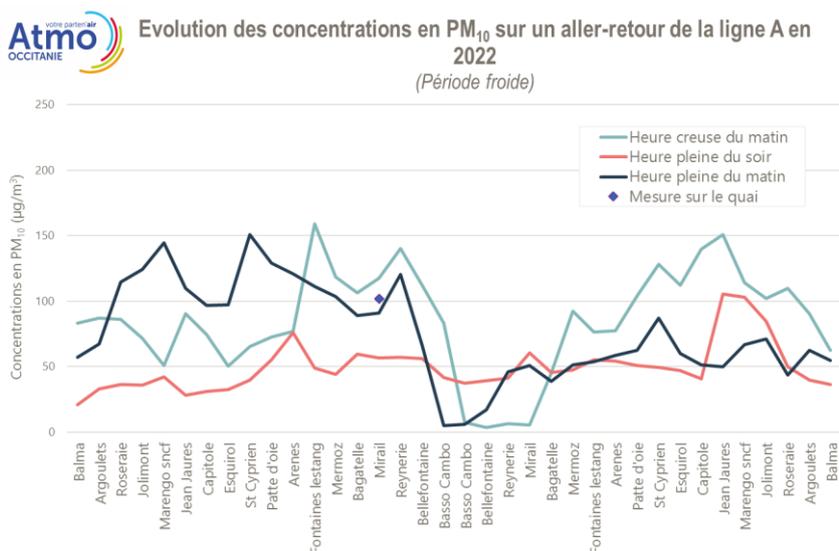
3.1.4. Des niveaux de particules du même ordre de grandeur dans les rames et sur les quais des stations de métro

Les graphiques ci-dessous présentent les concentrations en PM_{10} mesurées dans une rame de métro lors d'un trajet aller-retour (Balma-Gramont – Basso-Combo – Balma-Gramont) en heures de pointe du matin et du soir et en heure creuse, durant la période froide et chaude. La concentration mesurée sur le quai de la station Mirail Université est également représentée.

Les niveaux de particules dans les rames de métro fluctuent fortement le long du parcours et en fonction de la période de mesure. La fréquentation plus élevée aux heures de pointe ne semble pas induire de concentrations de particules plus élevées dans la rame de métro.

En revanche, les mesures effectuées sur le quai sont proches de celles mesurées dans les rames.

Il est aussi intéressant de noter la chute des concentrations de particules à l'approche de la station aérienne Basso-Combo terminus de la ligne. Cette baisse des concentrations est moins visible sur la station Jolimont, également aérienne. Le temps d'arrêt plus court à Jolimont pourrait expliquer cette différence.



3.1.5. Des concentrations moyennes en PM₁₀ supérieures à celles du métro parisien

Depuis janvier 2008, la RATP rend publique les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien (réseau SQUALES). Les données sont mises à disposition en open data¹⁰.

¹⁰ <https://data.R.A.T.P../explore/?sort=modified>

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesurés pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en PM₁₀ et PM_{2.5} rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien lors de la réalisation des deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Les concentrations moyennes de PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées dans le métro toulousain sont supérieures à celles relevées dans le réseau francilien. En outre, elles présentent une variabilité saisonnière plus marquée que celle observée dans les stations de la RATP avec un écart entre les concentrations de particules qui se creuse lors de la période chaude. Les niveaux de particules dans le réseau toulousain sont ainsi nettement supérieurs à ceux du réseau francilien lors de cette période.

En revanche, les concentrations maximales de PM₁₀ mesurées dans le métro toulousain sont plus faibles que celles de dans la station Auber (RER A).

Du 02 février au 24 mars 2022		Concentrations en en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		PM ₁₀		PM _{2.5}	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire	Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris¹¹	Châtelet (ligne 4)	46	474		
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	35	280		
	Châtelet (RER A)	82	217		
	Auber (RER A)	151	944	47	376
	Nation (RER)	82	448	34	191
Toulouse	Esquirol (ligne A)	179	549	105	342
	Mirail-Université (ligne A)	137	618		

Du 14 septembre au 22 novembre 2022		Concentrations en en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
		PM ₁₀		PM _{2.5}	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire	Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	41	202		
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	34	199		
	Châtelet (RER A)	86	283		
	Auber (RER A)	118	790	41	293
	Nation (RER A)	83	521	34	204
Toulouse	Esquirol (ligne A)	227	725	120	583
	Mirail-Université (ligne A)	137	592		

¹¹ Le réseau SQUALES est équipé d'analyseurs de particules qui prennent en compte la fraction volatile des particules contrairement aux analyseurs de particules mis en œuvre dans le métro toulousain. 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.

3.2. Les métaux

En 2012, Atmo Occitanie avait réalisé des prélèvements de particules dans l'air de la ligne A du métro toulousain dans le but de déterminer leur composition chimique. Nous avons ainsi mis en évidence des concentrations élevées d'espèces métalliques et avons établi que les particules présentes dans le métro toulousain étaient principalement constituées de métaux issus de l'usure des rails conducteurs et des systèmes de freinage¹².

En 2020 l'INERIS a listé, dans le guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, les métaux à mesurer dans les particules PM₁₀.

Dans le cadre de la prise en compte de ce guide, dans notre protocole d'évaluation de la qualité de l'air dans l'enceinte du métro toulousain, Atmo Occitanie a réalisé des prélèvements de métaux dans les particules PM₁₀ sur le quai de la station de métro Esquirol et en fond urbain pendant 14 jours lors des deux périodes de mesures.

3.2.1. Des concentrations en nickel et manganèse supérieures respectivement aux valeurs réglementaire et guide applicables en air extérieur

Les **concentrations en manganèse et nickel dans la station de métro Esquirol sont supérieures respectivement aux valeurs guide et réglementaire applicables à l'air extérieur** prises comme référence. En revanche, **les niveaux d'arsenic, de cadmium et de plomb sont en deçà**. Cependant, il est à noter que ces valeurs réglementaires sont fixées sur une année de mesures tandis que les usagers sont présents environ 30 minutes dans le métro.

MÉTAUX					
MTx		Seuils réglementaires ¹³ (moyenne annuelle)	Annuelle 2022	Comparaison seuils réglementaires	
Exposition de longue durée	ARSENIC	Valeur cible	6 ng/m ³	Esquirol : 5,5 ng/m ³	Inférieure
	CADMIUM	Valeur cible	1,4 ng/m ³	Esquirol : 1,4 ng/m ³	Inférieure
	NICKEL	Valeur cible	20 ng/m ³	Esquirol : 315 ng/m ³	Supérieure
	PLOMB	Objectif de qualité	250 ng/m ³	Esquirol : 9,2 ng/m ³	Inférieure
		Valeur limite	500 ng/m ³		Inférieure
			Lignes directrices OMS (moyenne annuelle)	Annuelle 2022	Comparaison valeurs guides OMS
	MANGANÈSE	Valeur guide ¹⁴	150 ng/m ³	Esquirol : 693 ng/m ³	Supérieure

¹² https://www.atmo-occitanie.org/sites/default/files/imports/pdf/ORAMIP_metro_hiver_2012.pdf

¹³ Valeurs cibles, objectif de qualité et valeur limite définies dans décret français du 21/10/10

¹⁴ Valeur guide fournie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et validée par l'INERIS le 29/03/2024

3.2.2. L'activité métro source de métaux

Le tableau ci-après récapitule les concentrations moyennes mesurées lors des deux campagnes de mesure dans la station Esquirol ainsi qu'en fond urbain.

L'atmosphère de la station de métro Esquirol apparaît enrichie de toutes les espèces métalliques analysées. **Ainsi, les particules PM₁₀ mesurées dans le métro sont composées à 50% de métaux tandis qu'ils ne représentent que 2% des particules prélevées dans l'air ambiant de fond.**

Des concentrations très élevées, jusqu'à 1 000 fois supérieures pour le cuivre, en comparaison des niveaux rencontrés dans l'air extérieur en fond urbain, sont ainsi mesurées.

Le fer est l'élément prédominant. Ses concentrations dépassent la dizaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et sont 300 fois plus élevées qu'en air extérieur. Il proviendrait des roues, des rails et des aiguillages. Le baryum, dont les concentrations sont plus de 680 fois supérieures au fond urbain, serait présent dans les semelles composites des matériaux de freinage. Le cuivre (1020 fois plus élevé que le fond urbain) serait issu des caténaires et des moteurs électriques, tandis que le chrome (180 fois plus élevé que le fond urbain) proviendrait des roues, des rails et des aiguillages. Enfin le manganèse (237 fois plus élevé que le fond urbain) trouverait son origine dans des aiguillages¹⁵.

		Moyennes en particules métalliques des deux périodes de mesures (en ng/m^3)										
		Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Baryum (Ba)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Etain (Sn) ¹⁶	Manganèse (Mn)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)
Esquirol		5,5	1,4	260	2 776	84 252	9 158	19	693	315	9,2	2 469
Fond urbain		0,2 ¹⁷	0,2	1,4	4,1	251	9,0	1,0	2,9	0,5	2,0	9

¹⁵ Thèse "caractérisation des particules en gares souterraines" Fortain, 2008

¹⁶ En 2022, l'étain a été analysé par le laboratoire à la place de l'antimoine.

¹⁷ Conformément aux recommandations nationales du Laboratoire Central de la Qualité de l'Air (LCSQA) pour le calcul des moyennes annuelles, les valeurs se situant sous la limite de quantification (limite en dessous de laquelle l'appareil de mesure n'est pas en capacité de fournir la concentration exacte de l'élément recherché) sont considérées comme égales à la moitié de cette limite. Ces dernières sont surlignées en jaune.

3.2.3. Des concentrations plus élevées en période chaude

L'augmentation des concentrations observée lors de la saison chaude pour les particules se retrouve aussi dans les concentrations de métaux et tout particulièrement dans les éléments les plus représentés, comme le fer, le cuivre, le baryum et le zinc. Seul l'étain est en diminution lors de cette période de mesure.

	Moyennes annuelles 2022 des métaux (en ng/m ³)										
	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Baryum (Ba)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Etain (Sn)	Manganèse (Mn)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zc)
Période froide	5,4	1,3	213	2 512	71 199	7 948	22	580	318	8,9	2 160
Période chaude	5,5	1,4	306	3 040	97 305	10 369	15	806	313	10	2 778
Variation saisonnière ¹⁸	+1%	+12%	+43%	+21%	+37%	+30%	-32%	+39%	-2%	+7%	+29%

3.2.4. De fortes variations des concentrations entre 2012 et 2022

Nous comparons dans le tableau ci-dessous les concentrations en espèces métalliques mesurées en 2022 à celles rencontrées en 2012.

Les concentrations de fer et de zinc observées en 2022 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2012. En revanche, les concentrations d'arsenic, du baryum et du nickel sont en nette augmentation (respectivement +202%, +722% et +965%) tandis que les concentrations de cadmium, de plomb et d'étain sont en diminution (respectivement -65%, -92% et -95%).

ng/m ³	Concentrations moyennes annuelles		
	Ligne A - 2012	Ligne A - 2022	Evolution des concentrations entre 2022 et 2012
Arsenic	1,8	5	+202%
Baryum	336	2763	+722%
Cadmium	4	1,4	-65%
Chrome	205	259	+27%
Cuivre	5443	9118	+68%
Fer	70678	83907	+19%
Manganèse	443	690	+56%
Nickel	29	314	+965%
Plomb	120	9	-92%
Etain	369	18	-95%
Zinc	2028	2458	+21%

¹⁸ La variation saisonnière représente l'augmentation, ou la diminution, des concentrations lors de la saison chaude.

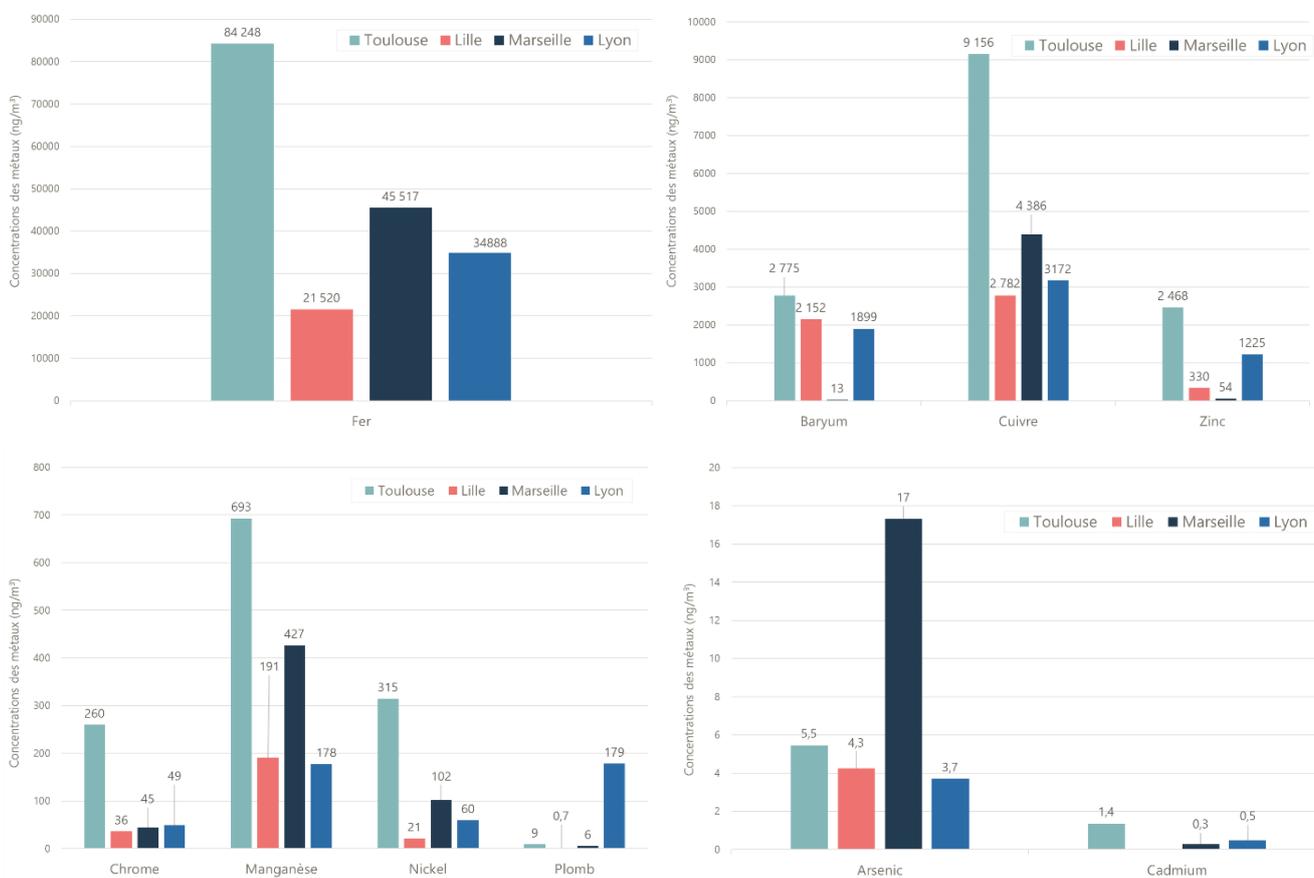
3.2.5. Des concentrations supérieures aux autres réseaux de métro pour la plupart des métaux en concentration

En 2021, des mesures des métaux ont été menées dans trois stations des métros lillois, marseillais et lyonnais. Les graphiques suivants comparent les concentrations des 10 métaux mesurés dans l'enceinte du métro toulousain à celles mesurées dans ces trois autres métros.

On observe que pour la plupart des métaux, exceptés l'arsenic et le plomb, les niveaux mesurés dans le métro toulousain sont supérieurs aux métros des autres villes. Le fer, le cuivre, le zinc, le chrome et le manganèse sont présents en nettement plus grande quantité dans le métro toulousain.



Comparaison des concentrations des métaux mesurées dans le métro toulousain, lillois, marseillais et lyonnais



3.3. Le dioxyde d'azote

3.3.1. Respect de la valeur guide pour la santé des usagers

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.

Dioxyde d'azote (NO ₂)				
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Maximum horaire
Exposition de courte durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	OUI	200 µg/m ³ en maximum horaire	<p>Maximum horaire <u>Quai de la station de métro Esquirol</u> : 45 µg/m³ (période froide)</p> <p>Maximum sur 55 minutes <u>Rames de métro</u> : 23 µg/m³ sur 55 minutes (période froide)</p>

3.3.2. Respect de la valeur limite d'exposition pour la santé des travailleurs

La VLE est respectée dans l'enceinte du métro.

Dioxyde d'azote (NO ₂)				
		Respect de la VLE	Valeur en ambiance de travail	Maximum sur la période
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'Exposition (VLE) ¹⁹	OUI	6 000 µg/m ³ sur 15 minutes	<p>Maximum sur 15 minutes <u>Quai de la station de métro Esquirol</u> : 61 µg/m³ (période chaude)</p> <p>Maximum sur 55 minutes <u>Rames de métro</u> : 23 µg/m³ sur 55 minutes (période froide)</p>

¹⁹ Le détail de la méthodologie d'élaboration de la VLE pour les travailleurs est présenté en *annexe 5*.

3.3.3. Des niveaux de concentration inférieurs au fond urbain extérieur

Le dioxyde d'azote présent dans le métro provient de l'environnement extérieur. Sa source principale étant le trafic routier, son introduction dans le métro toulousain est dû à la ventilation naturelle et mécanique.

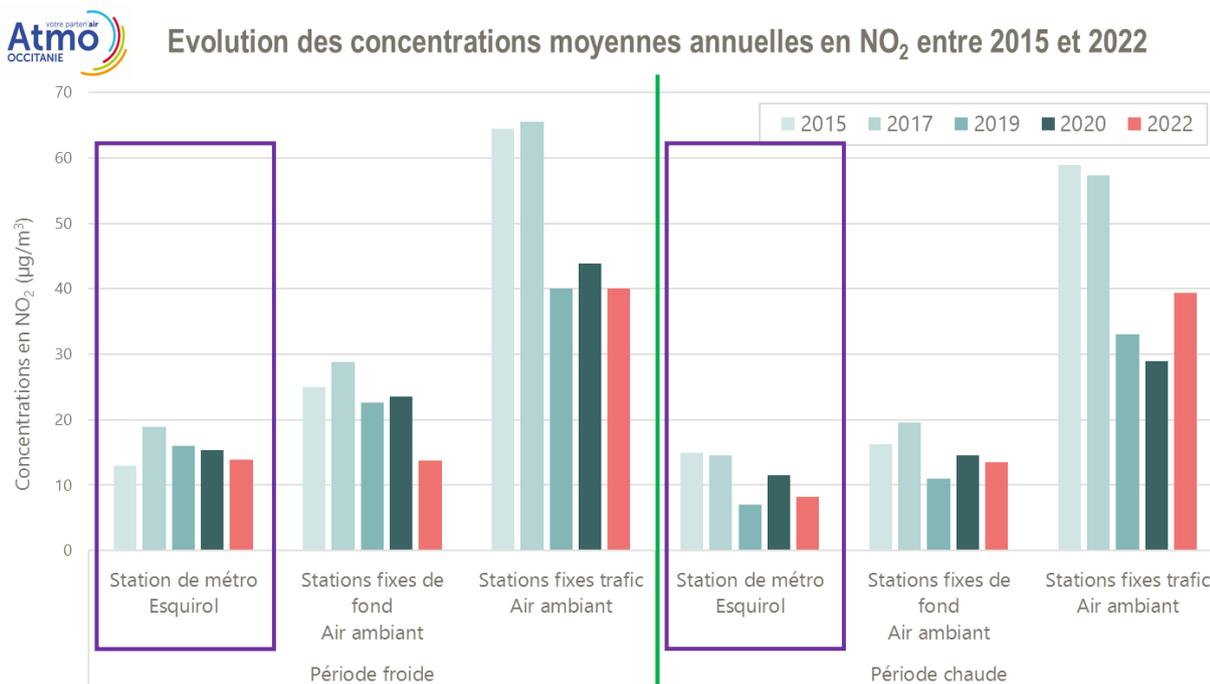
Les niveaux de NO₂ mesurés dans les différents environnements du métro s'expliquent par plusieurs facteurs :

- La densité du trafic routier dans l'environnement de la station de métro. Les teneurs maximales sont rencontrées sur les stations de métro situées en périphérie proche du 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.

Le graphique ci-dessous représente l'évolution des niveaux de NO₂ relevés lors de la période chaude et froide, sur le quai de la station de la ligne A Esquirol, ainsi que sur les stations fixes urbaines de fond et trafic de l'agglomération toulousaine, en 2015, 2017, 2019 et 2020 et 2022.

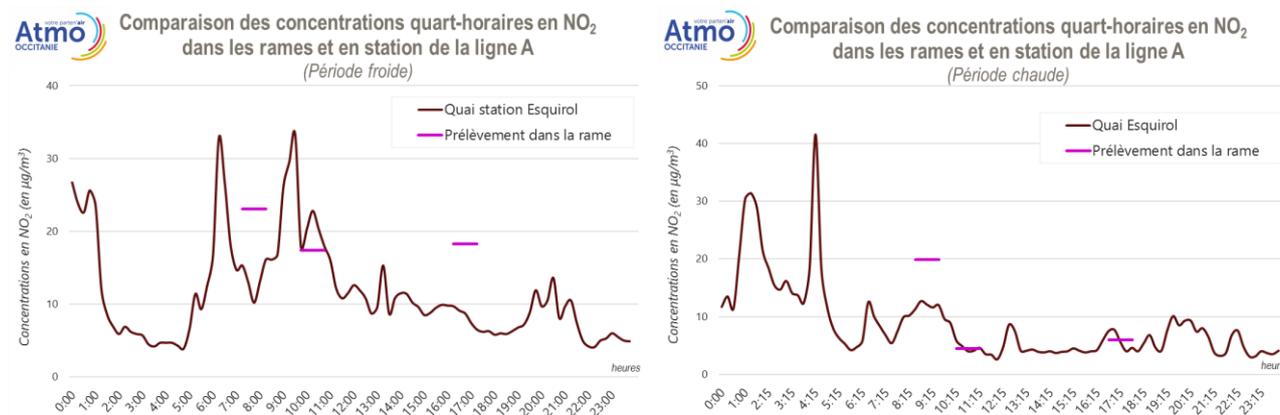
En 2022, la concentration moyenne de NO₂ dans le métro est du même ordre de grandeur que les concentrations relevées dans le fond urbain de Toulouse lors de la période froide et plus faible que le fond urbain en période chaude.

L'évolution des concentrations sur le quai d'Esquirol est similaire à celle observée en fond urbain depuis 2017.



3.3.4. Dans les rames, des concentrations analogues à celles sur les quais

Les concentrations dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur le quai de la station de métro Esquirol.



3.3.5. Des concentrations inférieures à celles du métro parisien

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Depuis 2017, les données sont mises à disposition en open data²⁰.

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesurés pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en NO₂ rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien (métro et RER) lors de la réalisation des deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Dans les environnements souterrains parisiens et toulousains, pendant le service voyageur, aucune source de NO₂ n'est imputable à l'activité métro. Le NO₂ présent est issu de l'environnement extérieur. Les variations de concentration entre les trois réseaux de métro et RER proviennent donc des niveaux de NO₂ dans l'air ambiant extérieur introduit par la ventilation des stations de métro.

Sur les deux périodes, la concentration moyenne et maximale de NO₂ sur le quai de la station de métro toulousain est 2 à 3 fois plus faible que celles observées dans les trois stations du métro et RER francilien.

²⁰ <https://data.R.A.T.P..fr/explore/?sort=modified>

Du 02 janvier au 24 avril 2022		Concentrations en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	32	97
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	39	105
	Auber (RER A)	45	374
Toulouse	Esquirol (ligne A)	14	45

Du 14 septembre au 22 novembre 2022		Moyenne sur la période	Maximum horaire
		Paris	Châtelet (ligne 4)
Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	27		81
Auber (RER A)	38		296
Toulouse	Esquirol (ligne A)	8	39

3.4. Le benzène

3.4.1. Respect de la valeur guide pour la protection de la santé des usagers

En moyenne sur les deux périodes de mesures, les niveaux de benzène mesurés dans le métro respectent la valeur guide réglementaire fixée sur un an.

Benzène				
		Respect de la valeur fixée pour l'air intérieur	Valeur guide	Moyenne sur les deux périodes de mesures
Exposition de longue durée	Valeur guide de la qualité de l'air intérieur	OUI	2 µg/m ³ en moyenne annuelle	<u>Quai de la station de métro Esquirol</u> : 1,1 µg/m ³

3.4.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs

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, au vu 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	Maximum sur les deux périodes de mesures
Exposition de longue durée	Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME)	OUI	3 250 µg/m ³ sur 8 heures	<p>Maximum sur 1 heure et 20 minutes <u>Mesure dans la rame en heures de pointe du soir</u> : 2,9 µg/m³ (période chaude)</p> <p>Maximum sur 15 jours <u>Quai de la station de métro Esquirol</u> : 1,3 µg/m³ (période froide)</p>

3.4.3. Sur les quais, des niveaux stables et légèrement supérieurs à l'air extérieur

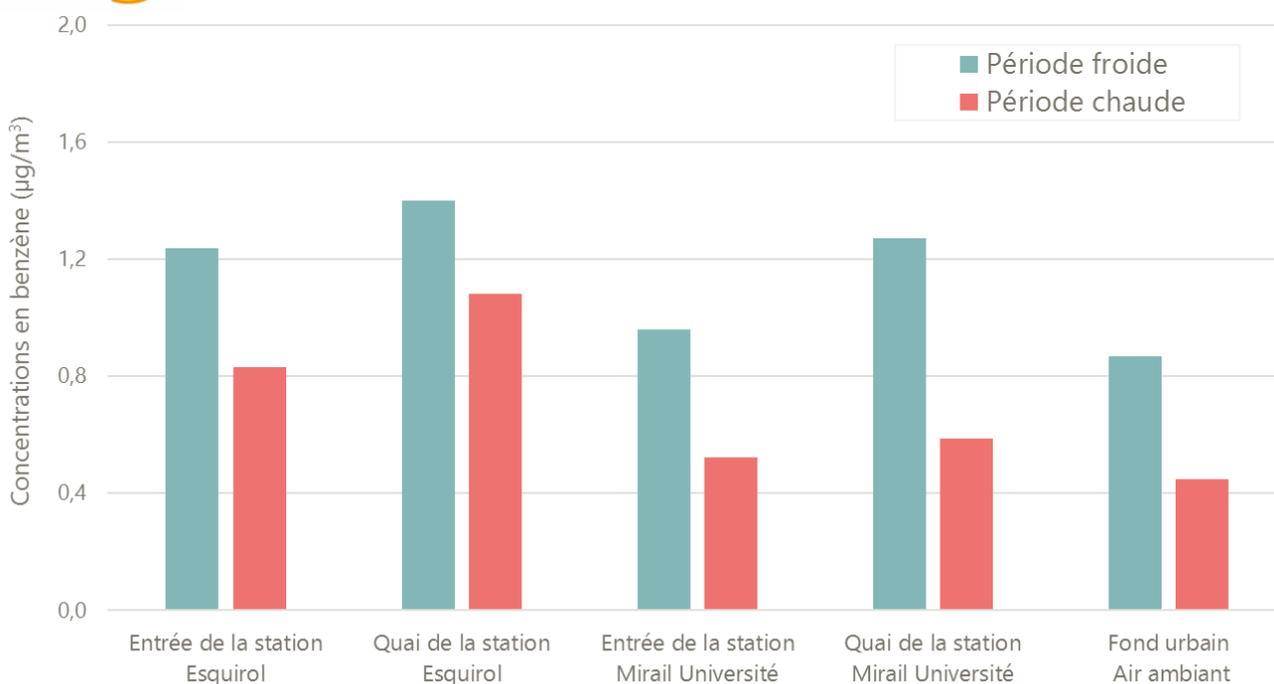
Le benzène présent dans le métro provient essentiellement de l'environnement extérieur et est introduit dans le métro par la ventilation.

Le graphique suivant présente les concentrations de benzène mesurées sur les quais ainsi qu'à l'entrée des stations de métro Esquirol et Mirail-Université et sur la station fixe Berthelot, représentative du fond urbain toulousain.

Les concentrations sur les quais des stations de métro sont légèrement plus élevées que celles observées en air extérieur à l'entrée de ces stations ou en fond urbain.



Concentrations moyennes en benzène dans le métro et en air ambiant
(Période chaude et froide)



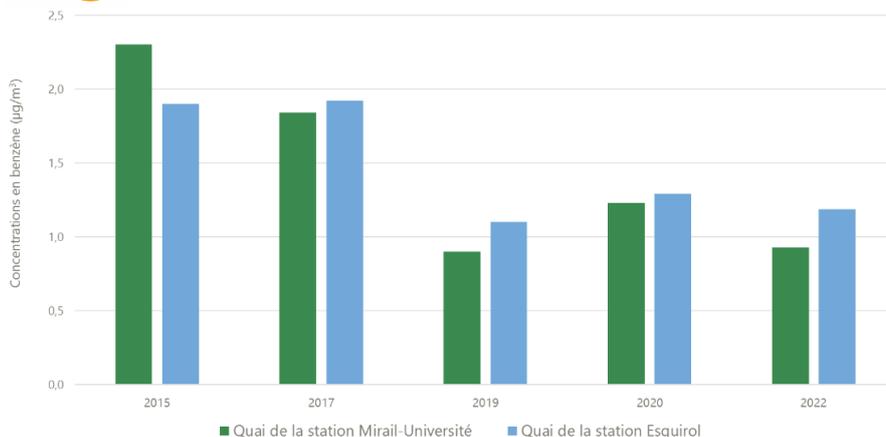
3.4.4. Des niveaux en diminution depuis 2017

Le graphique ci-contre représente l'évolution, entre 2015 et 2022, des concentrations moyennes de benzène sur les quais et à l'entrée des stations de métro Esquirol et Mirail-Université.

Celles-ci ont diminué entre 2017 et 2019 puis se sont globalement stabilisées.



Evolution des concentrations en benzène mesurées sur le quai des stations de métro Esquirol et Mirail-Université (ligne A) entre 2015 et 2022



3.4.5. Dans les rames, des concentrations analogues à celles sur les quais

Les mesures de benzène dans les rames sont menées à la suite des mesures effectuées sur les quais des stations Esquirol et Mirail-Université lors d'une période d'environ 1h20, et ce, lors de la période froide et chaude. Pour les deux campagnes de mesures, les concentrations en benzène mesurées dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que celles relevées sur le quai de la station de métro Esquirol. On note que les concentrations peuvent fortement varier d'une rame à l'autre.



		Concentrations en benzène sur une heure (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période froide	Dans une rame	2,0	1,4	1,0
	Quai de la station Esquirol	1,4	1,3	1,8
Période chaude	Dans une rame	1,3	1,9	2,9
	Quai de la station Esquirol	1,2	0,8	2,0

3.5. Le dioxyde de carbone

3.5.1. Un niveau de confinement satisfaisant dans l'enceinte des stations et les rames du métro

Le CO₂ mesuré dans l'enceinte du métro provient de l'environnement extérieur ainsi que de la respiration des usagers. Les concentrations élevées en CO₂ traduisent donc d'un mauvais taux de renouvellement de l'air.

Les concentrations de CO₂ rencontrées dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain respecte le seuil fixé par le règlement sanitaire. Le niveau de confinement est donc satisfaisant dans les deux stations de métro.

Dioxyde de carbone (CO ₂)				
		Règlement sanitaire départemental	Respect de la valeur de référence	Concentration maximale sur 10min
Exposition de courte durée	Recommandation du règlement sanitaire départemental	1 300 ppm	OUI	Niveau maximal sur 10 minutes Mirail-Université : 785 ppm (période froide) Esquirol : 1048 ppm (période froide)

3.5.2. Des concentrations plus faibles dans les rames que sur les quais de Esquirol

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes a été de 1957 ppm. Elle a été observée pendant l'heure de pointe du soir en période chaude.

Lors de la période froide, les niveaux de CO₂ dans les rames de métro ont respecté le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1 300 ppm pour les locaux non-fumeurs. En revanche, lors de la période chaude ce seuil a été dépassé à plusieurs reprises.

		Moyenne glissantes des concentrations en CO ₂ sur 10min à l'intérieur de la rame (en ppm)		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période froide	Moyenne glissante sur 10min	763	708	742
	Valeur maximale sur 10min	873	880	908
Période chaude	Moyenne glissante sur 10min	1108	1001	1240
	Valeur maximale sur 10min	1652	1317	1957
Nombre de concentrations sur 10min > à la valeur de référence (1300 ppm) (Période chaude)		25	2	21

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent rapport rend compte de l'état de la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne A du métro toulousain en 2022. Ainsi, il présente les niveaux de polluants mesurés sur les quais et dans les rames :

Les particules PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁

En 2022, **les concentrations sur 30 minutes en particules PM₁₀ et PM_{2,5} mesurées sur les quais de la ligne A dépassent les valeurs de gestion de l'Anses les plus contraignantes, jusqu'à 41% du temps de mesure.** Les concentrations mesurées sont très inférieures au seuil réglementaire fixé pour la santé des travailleurs.

Les particules sont produites par l'activité du métro, par l'usure du matériel et par remise en suspension dans l'air.

Nous constatons que les concentrations peuvent présenter une forte variabilité entre les deux périodes de mesure. Ainsi, la station de métro Esquirol enregistre des concentrations en particules jusqu'à 30% plus élevées en période chaude qu'en période froide.

Les concentrations en particules mesurées dans le métro toulousain sont **nettement plus élevées que le fond urbain**. Ainsi sur le quai de la station de métro Esquirol, les concentrations en particules PM₁₀ sont 13 fois plus élevées, les particules PM_{2,5} sont 15 fois plus élevées et les particules PM₁ 5 fois plus élevées. **L'utilisateur du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.**

En revanche, les concentrations de particules PM₁₀ ne varient que très peu entre le quai et les rames.

Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5} dans l'enceinte du métro sont en hausse en 2022, avec les niveaux les plus hauts enregistrés depuis 2015. **Les concentrations en période froide de PM₁ en 2022 sont plus faibles que celles mesurées en 2020 tandis que les concentrations en période chaude 2022 sont les plus élevées depuis 2019.** Depuis l'inauguration en 2020 du passage de la ligne A en XXL (doublement des wagons), **TISSEO a constaté une usure plus rapide des matériaux de freinage**. Cette modification des rames entraîne une utilisation accrue du freinage mécanique, plus émetteur de particules, au détriment du freinage électrique. **Cela peut expliquer la hausse des concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2,5} dans l'air de la ligne A.** Le doublement du nombre de wagons ne semble pas impacter les niveaux de particules PM₁.

Les concentrations moyennes de PM₁₀ et PM_{2,5} mesurées dans le métro toulousain sont supérieures à celles relevées dans le réseau francilien.

Les métaux

Les concentrations en manganèse et nickel dans la station Esquirol sont supérieures, respectivement, à la valeur guide et réglementaire applicables à l'air extérieur prises comme référence. En revanche, les niveaux d'arsenic, de cadmium et de plomb sont en deçà.

L'atmosphère de la station de métro Esquirol apparaît enrichie de toutes les espèces métalliques analysées. Les métaux représentent ainsi 50% des particules PM₁₀. Des concentrations très élevées, en comparaison des niveaux rencontrés en fond urbain, sont ainsi mesurées.

Le métro est source de particules métalliques. En effet, les roues, rails et aiguillages produiraient du fer et du chrome tandis que les semelles composites des matériaux de freinages seraient source de baryum. En outre, les caténaires et moteurs électriques seraient à l'origine d'émissions de cuivre quand le manganèse proviendrait des aiguillages.

L'augmentation observée des concentrations lors de la saison chaude pour les particules se retrouve aussi dans les concentrations de métaux et tout particulièrement dans les éléments les plus représentés, comme le fer, le cuivre, le baryum et le zinc. Seul l'étain est en diminution lors de cette période de mesure.

Entre 2012 et 2022, les concentrations des différentes espèces métalliques montrent des évolutions différentes. Les concentrations de fer et de zinc observées en 2022 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2012. Des métaux sont en forte hausse (arsenic, baryum et nickel), d'autres en forte baisse (cadmium, plomb, étain).

En comparaison des concentrations mesurées dans d'autres métros français, il apparaît que certaines espèces métalliques, telles que le fer, le cuivre ou le zinc, sont présentes en plus grande quantité dans le métro toulousain.

Le dioxyde d'azote et le benzène

Les concentrations de NO₂ et de benzène mesurées sur les quais et dans les rames de métro de la ligne A en 2022 respectent les valeurs guides pour l'air intérieur ainsi que l'ensemble des valeurs moyennes d'exposition pour les ambiances de travail.

Contrairement aux particules, les concentrations de NO₂ et de benzène sont supérieures lors de la période froide.

Les concentrations de NO₂ observées dans le métro sont plus faibles qu'en fond urbain. En revanche pour le benzène, Les concentrations sur les quais des stations de métro sont légèrement plus élevées que celles observées en air extérieur à l'entrée de ces stations ou en fond urbain.

L'évolution des concentrations sur le quai d'Esquirol est similaire à celle observée en fond urbain depuis 2017.

Les concentrations de benzène ont diminué entre 2017 et 2019 puis se sont globalement stabilisées.

La concentration moyenne et maximale du NO₂ sur le quai de la station de métro toulousain est 2 à 3 fois plus faible que celles observées dans les trois stations du métro et RER francilien.

Les enceintes ferroviaires souterraines ne sont que très peu source de NO₂ et benzène ce qui explique les niveaux faibles mesurés. Ces polluants sont donc principalement importés de l'extérieur dans les stations de métro par la ventilation.

Le dioxyde de carbone (CO₂)

Les concentrations en CO₂ mesurées sur les quais sont inférieures au seuil du règlement sanitaire départemental. Le système de ventilation de la ligne de métro assure donc un renouvellement de l'air correct. En revanche, les concentrations sur 10 minutes mesurées dans les rames du métro ont dépassé ce seuil à plusieurs reprises, lors de la période chaude.

Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont exposés à des concentrations de particules et de métaux élevées dans le cadre de leurs trajets quotidiens sur la ligne A. Ces observations mettent en évidence l'importance de poursuivre la surveillance de la qualité de l'air dans les enceintes souterraines afin d'améliorer les connaissances, et de mener des actions permettant une amélioration de la qualité de l'air.

Le programme de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain se poursuit en 2023. Des prélèvements dans les rames de la ligne B ainsi que des mesures sur les quais des stations Compans-Caffarelli et Carmes seront réalisées lors d'une période chaude et froide au cours de l'année.

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC

ANNEXE 2 : GÉNÉRALITES SUR LES POLLUANTS ÉTUDIÉS

ANNEXE 3 : PRÉSENTATION DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR APPLIQUÉES

ANNEXE 4 : PRÉSENTATION DES STATIONS FIXES DE L'AGGLOMERATION TOULOUSAIN PRISES COMME RÉFÉRENCE

ANNEXE 5 : RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL

ANNEXE 6 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MÉTRO TOULOUSAIN

ANNEXE 7 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DE MÉTRO PARISIENNES

ANNEXE 1 : PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC

Les campagnes de mesures se sont déroulées :

- Du 02 février au 24 mars 2022 pour la période froide²¹.
- Du 14 septembre au 22 novembre 2022 pour la période chaude²² ;

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, Atmo Occitanie a installé des appareils de mesure sur les quais de deux stations de métro :

- La station de métro Esquirol a été équipée d'appareils permettant la mesure du NO₂ et des particules PM₁₀ et PM_{2,5} ;
- La station de métro Mirail-Université a été équipée d'un appareil de mesure des particules PM₁₀.

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 les 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 les concentrations auxquelles sont exposés les usagers lors des trajets en métro.

Les dates de mesures pour les quatre polluants sont les suivantes :

- Dioxyde d'azote (NO₂)
 - Benzène
 - Particules en suspensions PM₁₀
 - Dioxyde de carbone (CO₂)
- Le 16 février et le 05 octobre 2022

La concentration en particules fines de type PM₁₀ est mesurée dans les rames à l'aide d'un analyseur portable. Des mesures sont ainsi menées sur plusieurs allers-retours aux heures de pointe du matin, heures creuses du matin et heures de pointe du soir.

²¹ Pour le benzène : du 02 au 16 février 2022 | Pour les métaux : du 03 au 17 février 2022

²² Pour le benzène : du 20 septembre au 05 octobre 2022 | Pour les métaux : du 29 septembre au 13 octobre 2022

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 55 minutes, lors des heures de pointe du matin et du soir ainsi que lors d'heures creuses. 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 2 : GÉNÉRALITES SUR LES POLLUANT ÉTUDIÉS

Le dioxyde d'azote - NO₂

Sources

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) 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 NO₂.

Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Le NO₂ 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 NO₂ 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/m³, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

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 PM₁₀ et PM_{2,5}

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 (PM₁₀), à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) et à 1 micromètre (PM₁).

Effets sur la santé

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

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM₁₀ et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et 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 - C₆H₆

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 – CO₂

Sources

Le dioxyde de carbone, est un composé chimique de formule CO₂. Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante. Le CO₂ est un gaz à effet de serre bien connu, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine 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 CO₂ sont relativement stables et avoisinent les 400 ppm. En air intérieur, son suivi est intéressant car il s'agit d'un très bon indicateur de l'efficacité de ventilation d'un bâtiment et de son niveau de confinement.

En effet, à l'intérieur et en l'absence de sources de combustions, ce sont essentiellement les rejets de gaz carbonique par les occupants lorsqu'ils respirent qui sont à l'origine de l'augmentation des niveaux de CO₂. Le gaz carbonique est donc un indicateur du taux de renouvellement d'air pour l'air intérieur. Ainsi, dans un local mal ventilé, le CO₂ émis voit sa concentration augmenter rapidement.

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

Effets sur la santé

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

- Dans les écoles, une augmentation de la fréquence de symptômes liés à l'asthme chez l'enfant peut être associée à des concentrations de CO₂ supérieures à 1000 ppm en moyenne sur une journée d'école ;
- Dans les bureaux, une augmentation de la fréquence de symptômes du syndrome des bâtiments malsains (ou SBS) peut être associée à des concentrations de CO₂ supérieures à 850 ppm en moyenne sur une journée de travail.

Concernant les effets intrinsèques du CO₂, il est observé qu'une récente étude expérimentale sur 22 sujets humains adultes suggère un effet propre du CO₂ sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) à partir de 1 000 pm.

ANNEXE 3 : PRÉSENTATION DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR APPLIQUÉES

Indicateurs de gestion pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Actuellement, il n'existe pas de valeurs réglementaires nationales concernant les polluants rencontrés dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). En 2019, l'Etat a saisi l'Anses afin d'évaluer la pertinence et la faisabilité d'établir une ou des valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAi) pour les particules, spécifique(s) à l'exposition des usagers dans le EFS, et d'élaborer de telles valeurs le cas échéant.

L'Anses a analysé la méthodologie de calcul proposée par le CSHPF et l'a jugée pertinente. Des précisions à cette méthode ont été apportées par l'Anses de manière à mieux prendre en compte les différents milieux auxquels une personne est soumise dans une journée type :

- Prise en compte des microenvironnements « logement » et « travail » au lieu d'une unique exposition « extérieure »
- Modification des scénarios de durée : 30min, 1h, 1h30 et 2h
- Calcul de C_{sout} pour chaque scénario de durée
- Proposition de deux valeurs basées respectivement sur le code de l'environnement ainsi que les recommandations OMS (2021) afin de proposer une référence pour les PM_{2.5}

L'Anses part du postulat que la norme réglementaire journalière actuelle sur les PM₁₀ correspond à l'exposition maximale qu'un citoyen ne devrait pas dépasser dans une journée.

Le nouveau calcul proposé par l'Anses, définit la valeur de C_{sout} comme la concentration limite acceptable dans une EFS, pour limiter l'exposition des usagers du métro. Cette dernière doit satisfaire à l'équation suivante :

$$(C_{sout} \times T_{sout}) + (C_{travail} \times T_{travail}) + (C_{log} \times T_{log}) < C_{lim} \times 24$$

Avec :

- **T_{sout}** : Durée moyenne d'un trajet dans l'EFS considérée (30min, 1h, 1h30 ou 2h)
- **T_{travail}** : Durée moyenne d'une journée de travail (7,6h/j)
- **C_{travail}²³** : Concentration dans le milieu professionnel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) : Travail extérieur : Percentile 90 (P90) de la distribution des concentrations journalières issues des stations urbaines de fond de l'agglomération considérée pour les PM₁₀ et la valeur intermédiaire 3 de la recommandation OMS pour les PM_{2.5}. Travail en bureau²⁴ : 7,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2.5} et 12,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀.
- **C_{log}** : Concentration dans le logement correspondant à la médiane (P50) des concentrations : 27,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀ et 16,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2.5}. Cette valeur a été calculée sur un échantillon représentatif de logement en France métropolitaine entre 2003 et 2005

²³ La valeur admise pour le travail correspond à la concentration journalière ambiante la plus élevée entre celles obtenues pour le travail extérieur et le travail en bureau, c.à.d entraînant une valeur de C_{sout} la plus protectrice pour la santé. Ce calcul s'est effectué à partir des données des 7 villes possédant un réseau d'EFS.

²⁴ Calculée à partir des données relevées durant une semaine d'enquête entre septembre 2018 et juin 2019 en Nouvelle-Aquitaine, dans des espaces de travail

- **T_{log}** : Durée passée dans le logement (h/j) correspondant à la durée restante sur une journée = 15,9h/j (pour T_{sout}=30min/j)
- **C_{lim}**: Limite journalière du code de l'environnement pour les PM₁₀ ou PM_{2,5} dans l'air ou de la recommandation OMS

Pour le calcul de C_{sout}, deux valeurs de C_{lim} sont utilisées :

- **C_{sout_Lim}** : calculée à partir de la valeur limite de PM₁₀ journalière du code de l'environnement : C_{lim_EU} = 50µg/m³. Il n'existe pas de valeur limite journalière pour les PM_{2,5}.
- **C_{sout_OMS}** : calculée à partir de la valeur journalière de PM₁₀ recommandées par l'OMS C_{lim_OMS_PM10} = 45µg/m³. La valeur des PM_{2,5} est obtenue à partir de la valeur cible intermédiaire 3 de la valeur OMS C_{lim_OMS_PM2,5} = 37,5µg/m³.

L'indicateur de gestion pour les PM_{2,5} est calculé à partir de la cible intermédiaire 3 des recommandations de l'OMS et non grâce à la valeur guide recommandé par l'OMS afin d'obtenir des valeurs applicables.

En effet, les recommandations OMS sur les PM_{2,5} sont particulièrement ambitieuses aussi bien que la concentration annuelle de l'OMS pour les PM_{2,5} est inférieure à la concentration moyenne annuelle mesurée en 2022 sur les stations urbaines de Toulouse (environ 10µg/m³, nettement supérieures aux 5µg/m³ recommandés par l'OMS).

Concentrations maximales dans l'air dans le métro recommandées pour une exposition sur 30 minutes			
	Durée cumulée de fréquentation de l'EFS sur une journée	Concentration calculée à partir de la valeur limite journalière dans l'air ambiant C _{sout_Lim}	Concentration calculée à partir de la valeur guide journalière de l'OMS C _{sout_OMS}
PM₁₀	30 min/j	940 µg/m ³	250 µg/m³
PM_{2,5}	30 min/j	-	140 µg/m³

***Valeurs calculées en utilisant la valeur limite française d'exposition pour la protection de la santé utilisées en l'air ambiant et en assimilant les particules d'EFS aux particules de l'air ambiant**

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 min. C'est donc la valeur guide de 200 µg/m³ fixée sur une heure qui est utilisée.

Une valeur guide fixée par la réglementation pour le benzène

Compte tenu des connaissances actuelles sur les effets sur la santé de cet hydrocarbure, l'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^{er} janvier 2016.

ANNEXE 4 : PRÉSENTATION DES STATIONS FIXES DE L'AGGLOMERATION TOULOUSAINE PRISES COMME RÉFÉRENCE

Pour comparer les concentrations de particules, NO₂ et benzène relevées dans le métro toulousain avec la situation dans l'air ambiant, nous avons moyenné, sur les mêmes périodes d'échantillonnage dans le métro, les données relevées sur les stations fixes présentes sur l'agglomération toulousaine. Ces concentrations ont été utilisées comme données de référence pour la visualisation des moyennes extérieures ambiantes.

Le tableau ci-dessous répertorie les stations qui ont été utilisées pour le calcul de la moyenne des stations de fond urbain et trafic.

		Particules en suspension (PM ₁₀)					Particules fines (PM _{2.5})					Particules très fines (PM ₁)				
		2015	2017	2019	2020	2022	2015	2017	2019	2020	2022	2015	2017	2019	2020	2022
Stations urbaines de fond	Station Berthelot		X	X	X	X		X	X	X	X					
	Station Mazades	X	X	X	X			X	X	X	X				X	X
	Station Jacquier				X	X										
Stations trafic	Station Route d'Albi				X	X		X	X	X	X					
	Station Porte de l'embouchure		X	X	X	X				X	X					

		Dioxyde d'azote (NO ₂)					Benzène (C ₆ H ₆)				
		2015	2017	2019	2020	2022	2015	2017	2019	2020	2022
Stations urbaines de fond	Station Berthelot	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Station Mazades	X	X	X	X						
	Station Jacquier	X	X	X	X	X					
Stations trafic	Station Route d'Albi	X	X	X	X	X					
	Station Porte de l'embouchure		X	X	X	X					

ANNEXE 5 : 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 réglementation²⁵:

« 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.) 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 courts termes 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

²⁵ 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 d'exposition professionnelle pour les poussières : Décret n°2021-1763 du 23 décembre 2021 (article R.4222-10 du code du travail)

« Dans les locaux à pollution spécifique, les concentrations moyennes en poussières totales²⁶ et alvéolaires²⁷ de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluées sur une période de huit heures, ne doivent pas dépasser respectivement 4 et 0,9 milligrammes par mètre cube 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. »

²⁶ Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique).

²⁷ Poussières dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 4 µm (PM₄).

ANNEXE 6 : 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 7 : CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DE MÉTRO PARISIENNES

Station de métro Chatelet (métro ligne 4 et RER A)

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

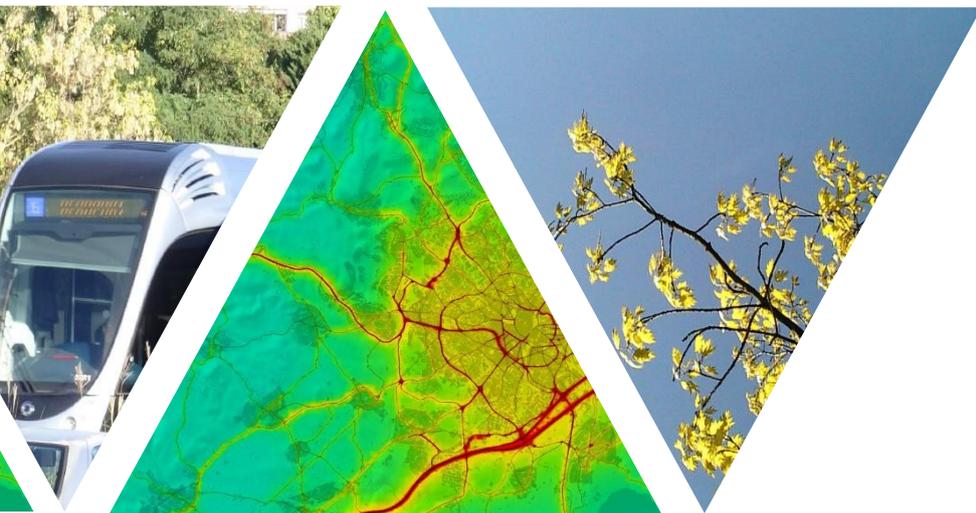
La gare de Chatelet les Halles qui dessert les RER A, B et D est la plus fréquentée du réseau français.

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^e 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.

RER A, station Auber et Nation

- La gare d'Auber a été mise en service en 1971.
- Elle se situe dans le 9^{ème} arrondissement de Paris.
- La gare est desservie par le RER A
- En 2015, sa fréquentation s'élevait à 6 169 061 voyageurs
- Le RER A est long de 109 et dessert 7 départements dont 41 villes.
- Cette ligne comporte 46 gares, dont 35 gérées par la RATP.
- Toutes les gares qui composent le RER A ne sont pas souterraines.
- Le RER A transporte en moyenne 309,4 millions de personnes chaque année
- Le RER A parcourt 109km dont 76km régit par la RATP et 26km en souterrain.
- La station Nation, desservit uniquement par le RER A, est la 6^{ème} gare la plus empruntée.



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

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