

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

Année 2023

ETU-2024-198 Edition Décembre 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	3
2. MÉTHODE	4
2.1. DISPOSITIF D'ÉVALUATION.....	4
2.2. RÉGLEMENTATIONS PRISES EN COMPTE	5
2.2.1. Valeurs applicables aux usagers du métro	5
2.2.2. Valeurs réglementaires pour les ambiances de travail	6
3. RÉSULTATS DES MESURES	7
3.1. PARTICULES EN SUSPENSION (PM ₁₀) ET PARTICULES FINES (PM _{2,5})	7
3.1.1. Des concentrations ponctuellement supérieures à l'indicateur de gestion le plus protecteur de la santé des usagers.....	7
3.1.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs.....	9
3.1.3. L'activité du métro source de particules	9
3.1.4. Des niveaux de particules du même ordre de grandeur dans les rames et sur les quais des stations de métro lors de la période hivernale.....	12
3.1.5. Des concentrations moyennes en PM ₁₀ supérieures à celles du métro parisien et lyonnais lors de la période froide.....	13
3.2. LES MÉTAUX	16
3.2.1. Des concentrations en manganèse supérieures à la valeur guide applicable en air extérieur.....	16
3.2.2. L'activité métro source de particules métalliques	17
3.2.3. Des concentrations globalement plus faibles en saison chaude.....	18
3.2.4. De fortes variations des concentrations entre 2012 et 2023	18
3.2.5. Des concentrations inférieures aux autres réseaux de métro pour la plupart des métaux	19
3.3. LE DIOXYDE D'AZOTE.....	20
3.3.1. Respect de la valeur guide pour la santé des usagers	20
3.3.2. Respect de la valeur limite d'exposition pour la santé des travailleurs	20
3.3.3. Des concentrations inférieures à celles mesurées en air extérieur sur des secteurs impactés par le trafic routier	21
3.3.4. Dans les rames, des concentrations inférieures à celles sur les quais.....	22
3.3.5. Des concentrations inférieures à celles du métro parisien	22
3.4. LE BENZÈNE	24
3.4.1. Respect de la valeur guide pour la protection de la santé des usagers.....	24
3.4.2. Des concentrations très inférieures au seuil réglementaire pour la santé des travailleurs.....	24
3.4.3. Sur les quais, des niveaux stables et légèrement supérieurs à l'air extérieur.....	25
3.4.4. Des niveaux en diminution depuis 2014.....	26
3.4.5. À bord des rames, des concentrations analogues à celles des quais.....	26
3.5. LE DIOXYDE DE CARBONE.....	27
3.5.1. Un niveau de confinement satisfaisant dans l'enceinte des stations et dans les rames du métro	27
3.5.2. Des concentrations plus faibles dans les rames que sur les quais de Compans-Caffarelli.....	27
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	28
TABLE DES ANNEXES	31

RÉSUMÉ

Depuis 2004, en partenariat avec Tisséo Collectivités, Atmo Occitanie assure la surveillance de 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 d'évaluer les concentrations des principaux polluants à enjeu sur l'ensemble du réseau.

Ce rapport rend compte de la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne B du métro toulousain en 2023.

État de la qualité de l'air en 2023 dans la ligne B du métro

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Les concentrations de particules PM₁₀ mesurées sur les quais de la ligne B respectent l'indicateur de gestion de l'Anses basé sur la valeur limite en vigueur. En revanche, les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dépassent ponctuellement l'indicateur de l'Anses construit à partir des valeurs OMS plus contraignantes. Par ailleurs 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. Ainsi **les concentrations en particules mesurées dans le métro toulousain sont nettement plus élevées qu'en air extérieur** (situation de fond urbain ou en proximité du trafic routier).

En 2023 les concentrations de particules dans l'enceinte des deux stations de métro de la ligne B sont en nette hausse avec des niveaux les plus élevés depuis 2014. Cette augmentation est observée pour les deux périodes de mesures. Il est à noter que les concentrations de particules relevées dans la station de métro Compans-Caffarelli sont nettement plus élevées lors de la période froide ce qui peut être lié, au regard de notre historique de mesure, à l'activation de la ventilation l'été.

À bord des rames, les concentrations de particules mesurées sont proches de celles relevées sur les quais lors de la campagne hivernale. En revanche, la corrélation avec la situation sur les quais est moins marquée lors de la période estivale, possiblement en lien avec le fonctionnement de la ventilation.

Les métaux

Les métaux représentent 34 % de la composition des particules PM₁₀ mesurées dans le métro. Cette teneur est bien supérieure à ce que l'on rencontre en fond urbain. Les particules présentes dans le métro toulousain sont principalement constituées de métaux issus de l'usure des rails conducteurs et des systèmes de freinage.

Comme cela a été observé l'année précédente sur la station Esquirol (ligne A), les concentrations en manganèse dans la station Compans-Caffarelli sont supérieures aux valeurs guides ou réglementaires applicables à l'air extérieur prises comme référence. En revanche, les niveaux d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb sont en deçà.

Par rapport à la précédente campagne de mesures des métaux menée en 2012, les concentrations d'arsenic, de cadmium, de zinc et de plomb évaluées en 2023 sont du même ordre de grandeur. **Les concentrations de baryum, de cuivre, de fer, de manganèse et de nickel sont en nette augmentation** tandis que les concentrations d'antimoine et de chrome sont en diminution.

On observe que les niveaux de métaux mesurés dans le métro toulousain sont inférieurs à ceux relevés dans les espaces ferroviaires de Lille, Marseille et Lyon (villes pour lesquelles nous disposons de données récentes).

Le dioxyde d'azote (NO₂) et le benzène (C₆H₆)

En 2023, les concentrations de dioxyde d'azote et de benzène mesurées sur les quais et dans les rames de métro de la ligne B **respectent les valeurs guides pour l'air intérieur ainsi que l'ensemble des valeurs moyennes d'exposition pour les ambiances de travail.**

Contrairement aux observations passées, les concentrations de NO₂ sont restées stables entre les deux périodes de mesures tandis que les niveaux de benzène sont plus élevés en période froide.

Sur la période froide, les concentrations de NO₂ dans le métro sont en hausse par rapport à 2021 et du même ordre de grandeur que les concentrations relevées dans le fond urbain de Toulouse. Lors de la période chaude les niveaux sont nettement en baisse par rapport à 2021 mais dépassent ceux observés en fond urbain. Ces concentrations restent toujours nettement inférieures à celles évaluées en proximité trafic routier. **Pour le benzène, les niveaux restent stables depuis plusieurs années.**

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 correct de l'air.

Il apparaît que les usagers du métro toulousain sont exposés à des niveaux de particules et de métaux potentiellement élevés dans le cadre de leurs trajets quotidiens sur la ligne B. Ces observations mettent en évidence l'importance de maintenir un dispositif la surveillance de la qualité de l'air dans les enceintes souterraines.

1. INTRODUCTION

L'Autorité Organisatrice de la Mobilité de la Grande Agglomération, Tisséo Collectivités, a été en 2004 l'un des premiers gestionnaires de transports en commun de France à mettre en place un plan de surveillance de la qualité de l'air dans l'enceinte de son réseau de 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 de métro toulousain.

En 2023, Atmo Occitanie a évalué la qualité de l'air sur deux quais et dans des rames de la ligne B. Pour ce faire, nous avons installé différents dispositifs de mesure sur les quais des stations Compans-Caffarelli et Carmes. Nous avons également réalisé des mesures en heures de pointe et en heures creuses dans des rames de métro sur une journée.

Afin de contextualiser les mesures réalisées dans le métro toulousain, en l'absence de tout seuil réglementaire, Atmo Occitanie compare les concentrations relevées à des valeurs de gestion ou, selon les polluants, à des valeurs guides. En 2022¹, 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 les concentrations en particules mesurées 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 B du métro toulousain en 2023. 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 enregistrés 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 ».

¹ <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 B du métro toulousain, Atmo Occitanie a réalisé deux campagnes de mesures. L'étude s'appuie sur les résultats de dispositifs de mesure installés sur les quais de deux stations de métro (Compans-Caffarelli et Carmes) ainsi que sur des mesures effectuées à bord des rames de métro pendant une journée aux heures de pointe. 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 25/01 au 16/03/2023

PERIODE CHAUDE : Du 06/09 au 25/10/2023

POLLUANTS MESURÉS

Particules en suspension PM₁₀ : sur les quais des stations de métro Compans-Caffarelli, Carmes et dans les rames.

Particules fines PM_{2,5} : sur le quai de la station de métro Compans-Caffarelli.

Particules très fines PM₁ : sur le quai de la station de métro Compans-Caffarelli.

Métaux : sur le quai de la station de métro Compans-Caffarelli.

Dioxyde d'azote (NO₂) : sur le quai de la station de métro Compans-Caffarelli et dans les rames.

Benzène : sur les quais des stations de métro Compans-Caffarelli, Carmes et dans les rames.

Dioxyde de carbone (CO₂) : sur les quais des stations de métro Compans-Caffarelli, Carmes et dans les rames.

Au total, les deux campagnes menées dans les enceintes de la ligne B ont couvert plus d'un quart de l'année.

2.2. Réglementations prises en compte

Afin de contextualiser les concentrations mesurées dans le métro toulousain, et en l'absence de seuils réglementaires applicables à ce type d'environnement, Atmo Occitanie s'appuie sur des valeurs guides définies pour préserver la santé des usagers du métro.

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

Des valeurs applicables aux usagers du métro sont proposées par plusieurs organismes :

- Valeurs de gestion de la qualité de l'air des enceintes ferroviaires souterraines (EFS) fixées par l'Anses² en 2022 (voir *annexe 3*). L'Anses recommande ainsi :
 - De ne pas dépasser, dans l'air des EFS, les concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5} calculées à partir des valeurs guides de qualité de l'air ambiant fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (C_{sout_OMS}),
 - A minima de ne pas dépasser, dans l'air des EFS, les concentrations en PM₁₀ calculées à partir de la valeur limite journalière en vigueur pour l'air ambiant (C_{sout_Lim}).
- « Valeur guide de qualité d'air intérieur » (VGAi) du dioxyde d'azote fixée par l'Anses³.
- Valeur guide pour l'air intérieur définie réglementairement pour le benzène⁴.
- 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 ⁵
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 en air intérieur. En revanche, certains métaux sont réglementés dans le droit français pour l'air extérieur. À titre d'information, nous avons utilisé ces réglementations pour situer les niveaux de métaux dans l'enceinte de la ligne B du métro. Nous rappelons cependant que cette réglementation est fixée sur une année de mesures alors que nous avons estimé la présence des usagers dans le métro à environ une demi-heure.

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

³ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2011sa0021Ra.pdf>

⁴ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2004etVG004Ra.pdf>

⁵ 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. Elle est calculée sur une durée de 42 heures hebdomadaires, à raison de 8 heures par jour, et 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 (voir annexe 4).**

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

	Valeurs réglementaires pour les ambiances de travail	Période
PM _{<4µm}	900 µg/m ³	8 h
NO ₂	6000 µg/m ³	15 min
Benzène	3250 µg/m ³	8 h
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 B du métro de Toulouse. Pour chacun d'eux, nous évaluons la situation vis-à-vis des valeurs guides applicables aux usagers et des seuils réglementaires fixés pour les ambiances de travail. Une comparaison est également proposée 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 5*. Nous présentons ensuite les concentrations mesurées à bord des rames.

3.1. Particules en suspension (PM₁₀) et particules fines (PM_{2,5})

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

Les concentrations (max. de la moyenne sur 30 minutes) de particules PM₁₀ mesurées dans l'enceinte de la ligne B respectent 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, ces concentrations ne respectent pas les valeurs de gestion les plus protectrices fixées à partir des valeurs guide OMS (C_{sout_OMS}).

Particules de diamètre inférieur à 10 µm					
		Conformité à la valeur de gestion	Temps d'exposition des usagers ⁶	Valeur de gestion	Maximum des concentrations 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	250 µg/m ³	Période froide Compans-Caffarelli : 267 µg/m ³ Carmes : 391 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 Compans-Caffarelli : 141 µg/m ³ Carmes : 484 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 sur les deux périodes de mesure
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 Compans-Caffarelli : 233 µg/m ³ Période chaude Compans-Caffarelli : 142 µg/m ³

⁶ Source Tisséo Collectivités.

⁷ Calculé sur 30 minutes glissantes.

Afin de mieux appréhender les niveaux auxquels les usagers sont exposés, nous avons répertorié, dans le tableau ci-dessous, les informations suivantes :

- La durée cumulée, en heure, où les concentrations de particules étaient supérieures à la valeur C_{sout_OMS} .
- La durée d'échantillonnage totale de chaque polluant.
- Le pourcentage du 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 un suivi simultané des deux diamètres de particules.

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

- **N'a pratiquement pas été dépassée (1 h au total) lors des deux campagnes de mesures** dans la station Compans-Caffarelli ;
- **Elle n'était pas respectée sur environ 4 % du temps total de mesure** dans la station Carmes.

Pour les particules $PM_{2.5}$, **la valeur C_{sout_OMS} a été dépassée pendant 5 % de la durée de la campagne de mesure** sur le quai de la station Compans-Caffarelli.

		Ligne de métro B		
		Durée cumulée des dépassements lors les deux campagnes de mesures (Heure)	Durée totales des deux campagnes de mesures (Heure)	Pourcentage de dépassement sur la période de mesure
2023	PM₁₀ COMPANS-CAFFARELLI	1	673	0 %
	PM₁₀ CARMES	69	1902	4 %
	PM_{2.5} COMPANS-CAFFARELLI	31	570	5 %

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

La Valeur Limite d'exposition professionnelle (VME) est respectée dans l'enceinte du métro.

Les concentrations maximales sur huit heures sont enregistrées lors de la période froide pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} sur la station Compans-Caffarelli tandis que le niveau le plus élevé dans la station Carmes est observé lors de la période chaude.

Particules en suspension (PM ₁₀) et fines (PM _{2.5}) et très fines (PM ₁)				
Particules		Respect de la VME	Valeur en ambiance de travail	Concentration max. sur 8 h glissantes
Exposition de courte durée	Valeur Limite d'exposition professionnelle (VME)	OUI	900 µg/m ³ sur huit heures	Particules PM₁₀ <u>Compans-Caffarelli</u> : 202 µg/m ³ <u>Carmes</u> : 455 µg/m ³ Particules PM_{2.5} <u>Compans-Caffarelli</u> : 173 µg/m ³ Particules PM₁ <u>Compans-Caffarelli</u> : 50 µg/m ³

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 PM₁₀ évaluées sur les quais des stations de métro Compans-Caffarelli et Carmes, nous avons également relevés dans l'enceinte de la station Compans-Caffarelli les niveaux de particules PM_{2.5} et PM₁. Ces mesures ont été effectuées sur les deux périodes de mesures en alternance avec les relevés de PM₁₀.

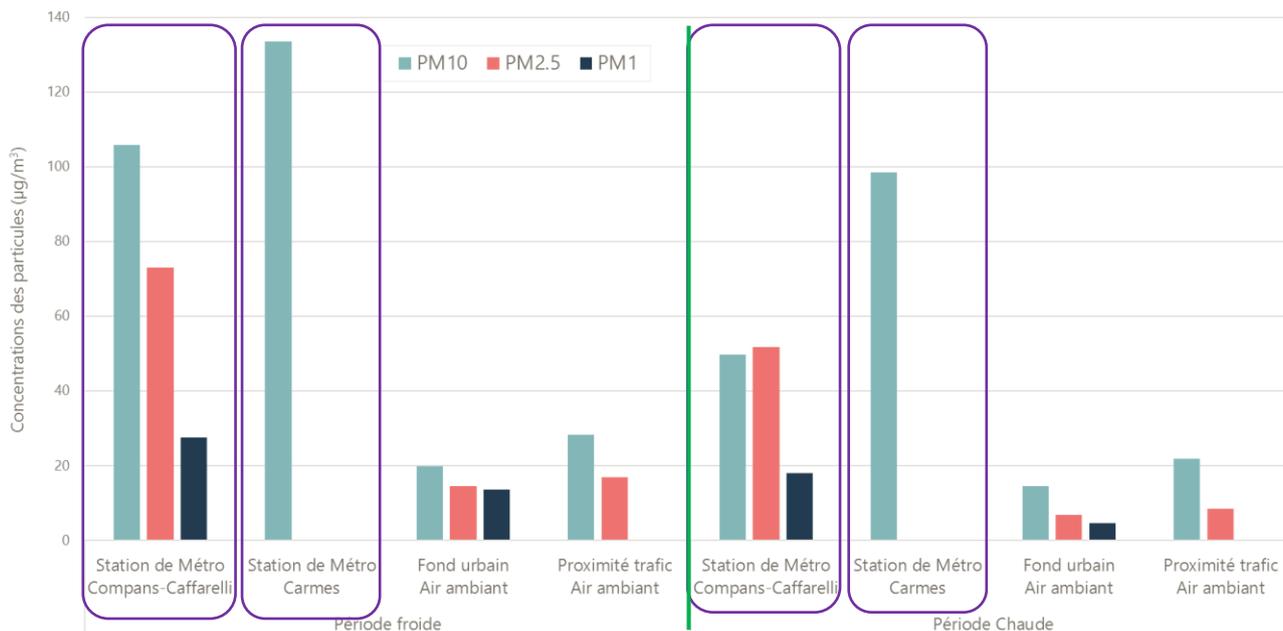
Le graphique de la page suivante présente les concentrations de particules dans les stations de métro ainsi que dans l'air ambiant lors des deux campagnes de mesure (chaude et froide).

Nous constatons qu'en 2023, les concentrations de particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ relevées dans la station de métro Compans-Caffarelli sont nettement plus élevées en période froide (+113 %, +41 % et +54 % respectivement). De même pour les niveaux de PM₁₀ mesurés sur la station Carmes (+35 %).

Les mesures des différentes fractions à Compans-Caffarelli montrent que les particules PM₁₀ sont composées pour plus des deux tiers de particules PM_{2.5} et pour un peu plus d'un quart de PM₁.



Concentrations moyennes des particules (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) mesurées sur les stations de métro de la ligne B ainsi que sur les stations air ambiant de fond et trafic, de l'agglomération toulousaine
Année 2023



Depuis le début des mesures, nous avons mis en évidence que les concentrations de particules sont plus élevées dans l'enceinte du métro qu'en fond urbain ou en proximité trafic routier (pour la station Carmes). Cette observation est valable pour les différentes tailles de particules étudiées. Cela se confirme également en 2023 avec des niveaux supérieurs aux concentrations en air extérieur dans les deux stations de métro étudiées.

En comparaison du fond urbain, les concentrations de particules mesurées sur le quai de la station Compans-Caffarelli en 2023 sont :

- 5 fois plus élevées pour les PM₁₀ (7 fois plus élevées dans la station de métro Carmes) ;
- 6 fois plus élevées pour les PM_{2.5} qui représentent environ les 2/3 des PM₁₀ ;
- 2 fois supérieures pour les PM₁ qui représentent environ 1/4 des PM₁₀.

En comparaison des niveaux observés en proximité du trafic routier, les concentrations de particules mesurées sur le quai de la station Compans-Caffarelli en 2023 sont :

- 3 fois plus élevés pour les PM₁₀ (5 fois plus élevés dans la station de métro Carmes) ;
- 5 fois plus élevées pour les PM_{2.5}.

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

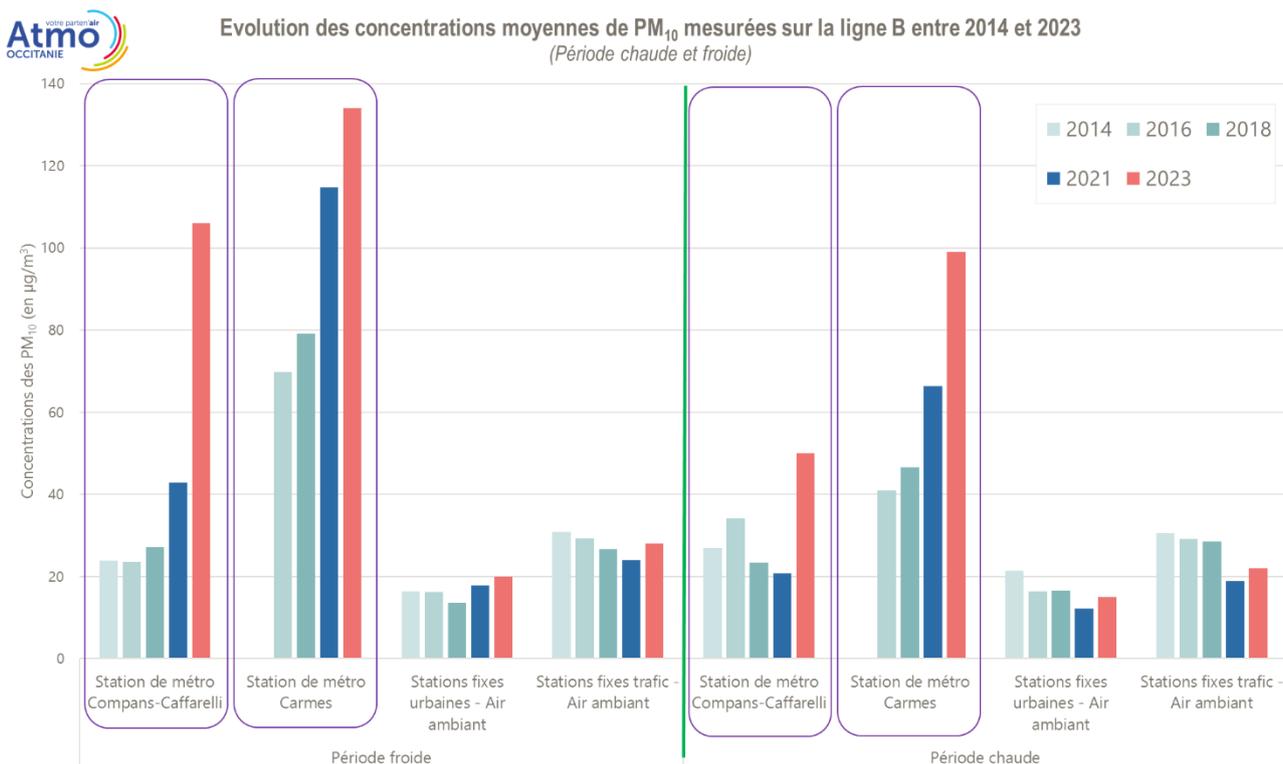
Les concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5} sur les quais des deux stations sont globalement plus élevées lors des périodes froides. La différence de niveaux entre la période froide et la période chaude peut s'expliquer par le régime de ventilation différent d'une saison à l'autre. En effet, lors de la saison estivale, les hautes températures ambiantes obligent un fonctionnement soutenu de la ventilation afin de maintenir une température de confort dans l'enceinte ferroviaire. Ce régime facilite la dispersion des particules.

Les figures en page suivante représentent l'évolution des niveaux de particules relevés lors de la période chaude et froide, sur le quai des stations de métro de la ligne B (PM₁₀ : Compans-Caffarelli et Carmes – PM_{2.5} : Compans-Caffarelli) en 2014, 2016, 2018, 2021 et 2023. **Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'enceinte du métro sont en nette hausse en 2023 avec les niveaux les plus hauts enregistrés depuis**

2014. Cette augmentation est observée lors des deux périodes de mesures. À ce jour les informations fournies par TISSEO concernant l'évolution de la fréquence des rames ou du régime de ventilation ne permettent pas d'expliquer cette augmentation.

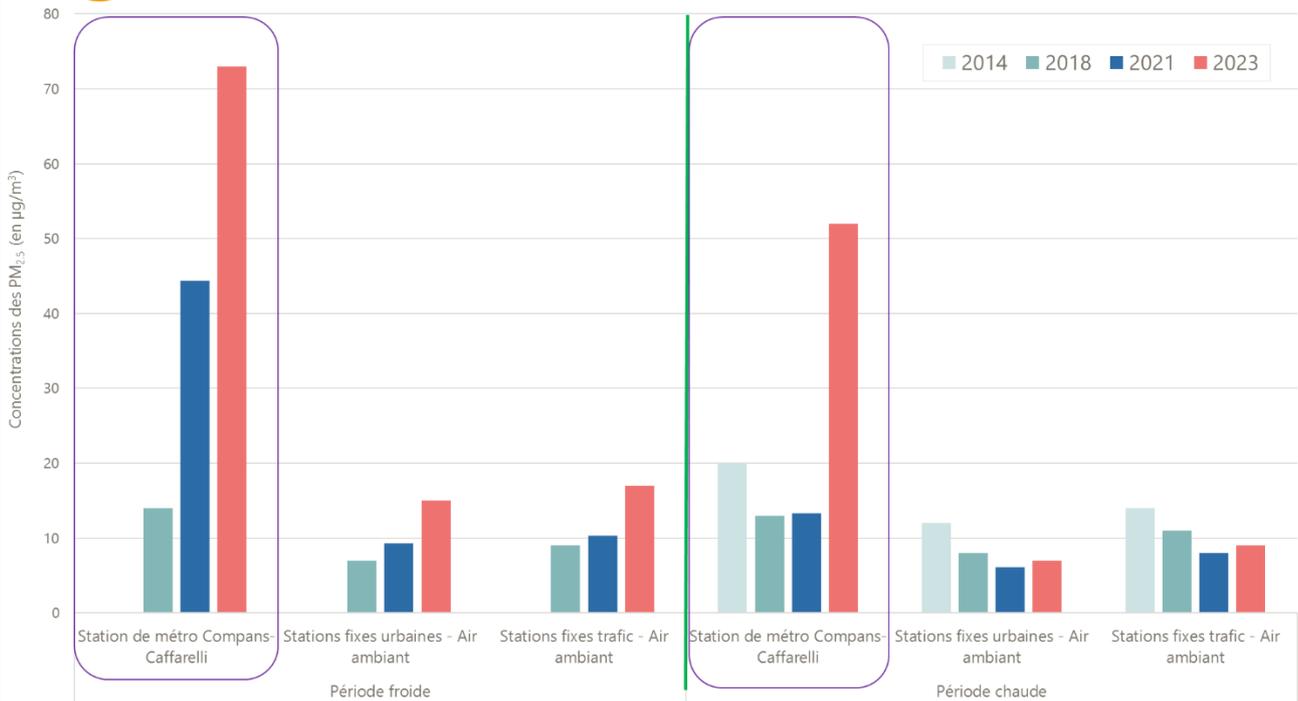
Les concentrations relevées en air extérieur dans l'agglomération de Toulouse ne présentent pas cette dynamique.

Les mesures de PM₁ dans l'enceinte du métro n'ayant débuté qu'en 2023 nous ne pouvons présenter d'historique.





Evolution des concentrations moyennes de PM_{2,5} mesurées sur la ligne B entre 2014 et 2023
(Période chaude et froide)



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

Les graphiques ci-dessous présentent les concentrations en PM₁₀ mesurées dans une rame de métro lors d'un trajet aller-retour (Borderouge – Ramonville – Borderouge) en heure de pointe du matin, heure de pointe du soir et en heure creuse pour les deux périodes de mesure (froide et chaude). Les concentrations évaluées sur le quai de la station Carmes (pour la période froide) et sur celui de la station Compans-Caffarelli (pour la période chaude) sont également représentées.

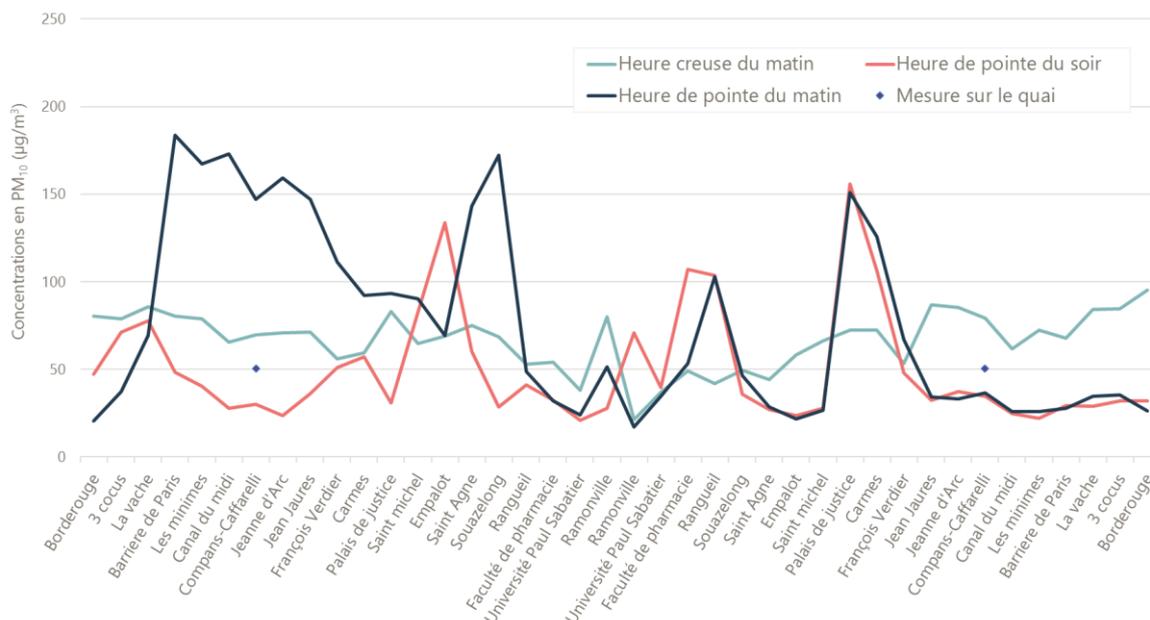


Evolution des concentrations en PM₁₀ sur un aller-retour en 2023
(Période froide)





Evolution des concentrations en PM₁₀ sur un aller-retour en 2023 (Période chaude)



On observe que les niveaux de particules dans les rames de métro fluctuent fortement le long du parcours et en fonction de la période de mesure. Ces fluctuations sont particulièrement évidentes lors de la période chaude avec des niveaux de PM₁₀ globalement supérieurs lors des heures de pointe du matin et du soir. Cette fluctuation est moins marquée lors de la campagne hivernale où la fréquentation, plus élevée en heures de pointe, ne semble pas induire de concentrations de particules plus élevées dans la rame de métro.

Les mesures effectuées sur les quais sont cohérentes avec celles réalisées dans les rames. Les concentrations évaluées en période froide sont nettement supérieures à la campagne estivale.

La différence de fluctuation entre la période chaude et froide peut s'expliquer par l'activation soutenue de la ventilation lors de la période chaude. En effet, cette dernière favorise la dispersion des particules et peut être à l'origine de disparités plus importantes le long du parcours.

3.1.5. Des concentrations moyennes en PM₁₀ supérieures à celles du métro parisien et lyonnais lors de la période froide

Les tableaux présentés en page suivante indiquent la concentration moyenne et la concentration horaire maximale en particules PM₁₀ et PM_{2,5} mesurées sur les quais des stations du réseau toulousain et comparées avec celles relevées sur les réseaux francilien et lyonnais⁸. Les calculs ont été réalisés en ne retenant que les

⁸ Depuis janvier 2008, la RATP rend publics 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 data (<https://data.R.A.T.P..fr/explore/?sort=modified>). Dans la Métropole lyonnaise, le réseau TCL Sytral, en charge des transports en commun, a installé depuis 2022 une station de mesure pérenne dans une station de métro. Les mesures du réseau lyonnais sont menées en collaboration avec ATMO AURA et disponibles en open data (<https://www.tcl.fr/a-propos-de-tcl/qualite-de-lair-dans-le-metro>).

heures de fréquentation du métro par les usagers et sur les périodes des deux campagnes de mesures du métro toulousain.

En période froide, les concentrations moyennes de PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées dans le métro toulousain sont globalement supérieures à celles relevées dans les stations des réseaux francilien et lyonnais. La tendance s'inverse sur la période chaude. Les mesures réalisées sur les quais du métro de Toulouse montrent des niveaux de particules présentant une variabilité saisonnière plus marquée que pour les stations du métro lyonnais et francilien. À Toulouse, les concentrations nettement plus faibles mesurées en période chaude pourraient s'expliquer par le fonctionnement de la ventilation.

Les concentrations horaires maximales de particules PM₁₀ et PM_{2.5} rencontrées dans le métro toulousain sont globalement plus faibles que celles mesurées sur les trois stations de RER de la RATP.

Du 25 janvier au 16 mars 2023		Concentrations 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 ⁹	Châtelet (ligne 4)	35	118		
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	40	283		
	Châtelet (RER A)	59	471		
	Auber (RER A)	86	985	39	729
	Nation (RER)	138	489	62	246
Lyon	Saxe-Gambetta (ligne B)	53	224	17	90
Toulouse	Compans-Caffarelli (ligne B)	105	250	73	215
	Carmes (ligne B)	133	357		

Du 06 septembre au 25 octobre 2023		Concentrations 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)	110	910		
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	54	360		
	Châtelet (RER A)	81	772		
	Auber (RER A)	109	555	49	262
	Nation (RER A)	112	554	45	180
Lyon	Saxe-Gambetta (ligne B)	50	218	14	54
Toulouse	Compans-Caffarelli (ligne B)	50	138	52	138
	Carmes (ligne B)	99	390		

⁹ 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 et lyonnais. À ce jour, dans le métro toulousain, aucune étude n'a été réalisée 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 B 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 freinage¹⁰.

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 présents dans les particules PM₁₀ et qui devaient faire l'objet de mesures.

Dans le cadre du déploiement de ce guide 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 Compans-Caffarelli et en fond urbain pendant 14 jours lors des deux périodes de mesures.

3.2.1. Des concentrations en manganèse supérieures à la valeur guide applicable en air ambiant

Lors de notre période de mesures, les **concentrations moyennes en manganèse dans la station de métro Compans-Caffarelli sont supérieures à la valeur guide OMS applicable à l'air ambiant** prise comme référence. En revanche, **les niveaux d'arsenic, de cadmium, de nickel et de plomb sont en deçà des valeurs réglementaires**. Cependant, il est à noter que ces valeurs réglementaires et guides sont fixées sur une année de mesures tandis que les usagers ne sont présents qu'environ 30 minutes par jour dans le métro.

MÉTAUX					
MTx		Seuils réglementaires (moyenne annuelle)	Moyenne sur la période de mesures	Comparaison seuils réglementaires	
Exposition de longue durée	ARSENIC	Valeur cible	6 ng/m ³	Compans-Caffarelli : 2,7 ng/m ³	Inférieure
	CADMIUM	Valeur cible	5 ng/m ³	Compans-Caffarelli : 1,9 ng/m ³	Inférieure
	NICKEL	Valeur cible	20 ng/m ³	Compans-Caffarelli : 15 ng/m ³	Inférieure
	PLOMB	Objectif de qualité	250 ng/m ³	Compans-Caffarelli : 7,3 ng/m ³	Inférieure
		Valeur limite	500 ng/m ³		Inférieure
			Lignes directrices OMS (moyenne annuelle)	Moyenne sur la période de mesures	Comparaison valeur guide OMS
	MANGANÈSE	Valeur guide	150 ng/m ³	Compans-Caffarelli : 158 ng/m ³	Supérieure

¹⁰ [Qualité de l'air dans le métro toulousain en 2012](#)

3.2.2. L'activité métro source de particules métalliques

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

Toutes les espèces métalliques analysées ont été retrouvées dans l'air ambiant de la station de métro Compans-Caffarelli. Les particules PM₁₀ prélevées sur les quais de cette station de métro sont composées à 34 % de métaux alors que ceux-ci ne représentent que 1 % de la composition des particules prélevées dans l'air ambiant de fond. Nous pouvons remarquer les concentrations très élevées de certains éléments par rapport aux niveaux rencontrés dans l'air extérieur en fond urbain.

Le fer reste l'élément prédominant. Ses concentrations dépassent la dizaine de microgrammes par mètre-cube et sont 75 fois plus élevées qu'en air extérieur. Il proviendrait des roues, des rails et des aiguillages. Le baryum, dont les concentrations sont 263 fois supérieures au fond urbain, serait présent dans les semelles composites des matériaux de freinage. Le cuivre (167 fois plus élevé qu'en fond urbain) serait issu des caténaires et des moteurs électriques. Enfin le manganèse (34 fois plus élevé que le fond urbain) trouverait son origine dans des aiguillages¹¹.

Concentrations moyennes des métaux sur les deux périodes de mesures 2023 (en ng/m ³)											
	Antimoine (Sb)	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Baryum (Ba)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)
Compans-Caffarelli	13,2	2,7	1,9	19	1 396	19 538	2 116	158	15	7,3	579
Fond urbain	0,9	0,3	0,1	2,0	5,3	262	12,7	4,6	0,6	2,8	16

¹¹ Thèse "caractérisation des particules en gares souterraines" Fortain, 2008

3.2.3. Des concentrations globalement plus faibles en saison chaude

La diminution observée en saison chaude pour les concentrations de particules se vérifie également pour les concentrations de la majorité des éléments métalliques, sauf antimoine et cadmium. Les éléments pour lesquels on mesure les niveaux les plus élevés, comme le baryum, le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc sont en diminution. Cela est en adéquation avec les observations déjà vues dans ce rapport. En effet, l'activation de la ventilation lors de la période chaude permet la dispersion des particules émises par l'activité ferrovière. En revanche certains éléments, notamment ceux émis par le trafic routier, peuvent provenir de l'extérieur.

Concentrations saisonnières moyennes des métaux sur la station Compans-Caffarelli 2023 (en ng/m ³)											
	Antimoine (Sb)	Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Chrome (Cr)	Baryum (Ba)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Manganèse (Mn)	Nickel (Ni)	Plomb (Pb)	Zinc (Zn)
Période froide	7,8	3,7	0,15	30	2 282	27 438	3 266	221	23	12	913
Période chaude	18,5	1,6	3,7	9,2	511	11 637	966	95	6,6	3,0	246
Variation saisonnière ¹²	137 %	-57 %	2 367 %	-69 %	-78 %	-58 %	-70 %	-57 %	-71 %	-75 %	-73 %

3.2.4. De fortes variations des concentrations entre 2012 et 2023

Nous comparons dans le tableau ci-dessous les concentrations en espèces métalliques mesurées en 2023 avec celles relevées en 2012.

Les concentrations d'arsenic, de cadmium, de zinc et de plomb observées en 2023 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2012. En revanche, les concentrations de baryum, de cuivre, de fer, de manganèse et de nickel sont en nette augmentation (avec respectivement +555 %, +252 %, +107 %, +123 % et +193 %) tandis que les concentrations d'antimoine et de chrome sont en diminution (respectivement -85 % et -26 %). Nous ne disposons, à l'heure actuelle, d'aucun élément explicatif à cette hausse.

Concentrations moyennes annuelles sur la station Compans-Caffarelli			
ng/m ³	Ligne B - 2012	Ligne B - 2023	Évolution des concentrations entre 2023 et 2012
Antimoine	86	13	-85 %
Arsenic	1	3	338 %
Baryum	213	1 396	555 %
Cadmium	3	2	-24 %
Chrome	26	19	-26 %
Cuivre	601	2 116	252 %
Fer	9 436	19 538	107 %
Manganèse	71	158	123 %
Nickel	5	15	193 %
Plomb	8	7	-10 %
Zinc	587	579	-1 %

¹² La variation saisonnière représente l'augmentation, ou la diminution, des concentrations lors de la saison chaude.

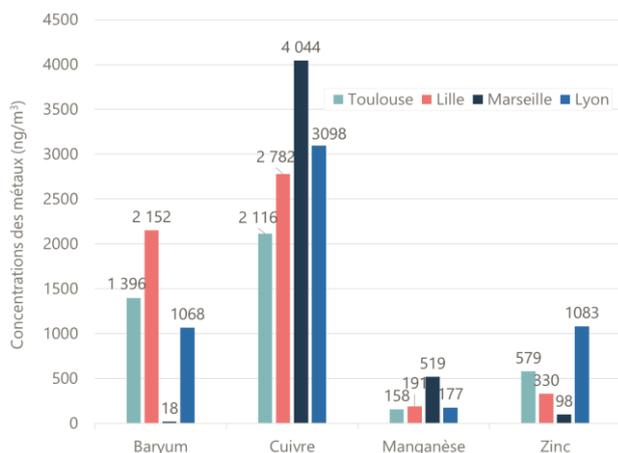
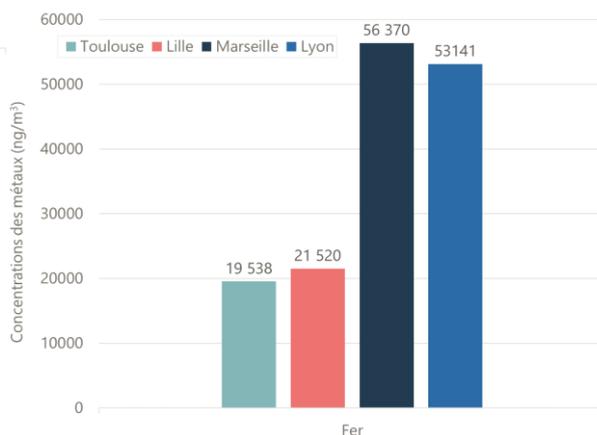
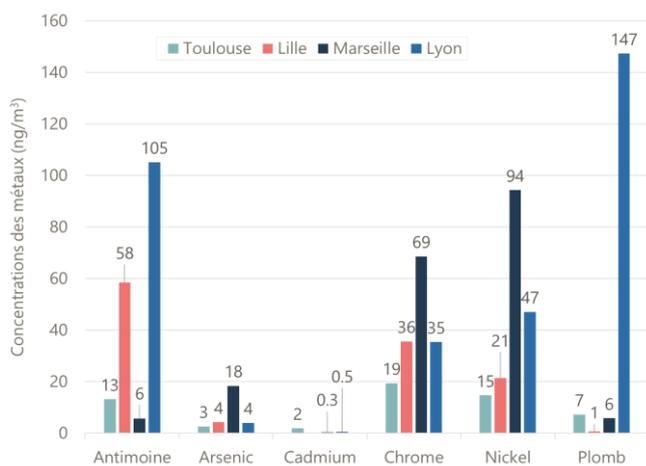
3.2.5. Des concentrations inférieures aux autres réseaux de métro pour la plupart des métaux

Les mesures de métaux réalisées à Toulouse sont comparées avec un état de l'art des études faites sur d'autres réseaux de métro en France. À ce jour nous disposons des concentrations de métaux suivantes : métro de Lille (2021), de Lyon (2022) et de Marseille (2023). Les graphiques suivants comparent les concentrations des dix métaux mesurées dans l'enceinte du métro toulousain (2023) à celles mesurées dans ces trois autres métros.

On observe que, pour la plupart des métaux, les niveaux mesurés dans le métro toulousain sont inférieurs à ceux observés dans les espaces ferroviaires des autres villes. Seules exceptions : le zinc dont les concentration sont plus élevées à Toulouse qu'à Lille ou Marseille mais plus faibles qu'à Lyon et le baryum dont les niveaux restent toutefois inférieurs à ceux relevés à Lille.



Comparaison des concentrations des métaux mesurées dans les 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 B 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	Maximum horaire Quai de la station de métro Compans-Caffarelli : 147 µg/m ³ (période froide)
				Maximum sur 55 minutes Rames de métro : 78 µg/m ³ sur 55 minutes (période chaude)

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) ¹³	OUI	6 000 µg/m ³ sur 15 minutes	Maximum sur 15 minutes Quai de la station de métro Compans-Caffarelli : 200 µg/m ³ (période froide)
				Maximum sur 55 minutes Rames de métro : 78 µg/m ³ sur 55 minutes (période chaude)

¹³ Le détail de la méthodologie d'élaboration de la VLE pour les travailleurs est présenté en *annexe 5*.

3.3.3. Des concentrations inférieures à celles mesurées en air extérieur sur des secteurs impactés par le trafic routier

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.

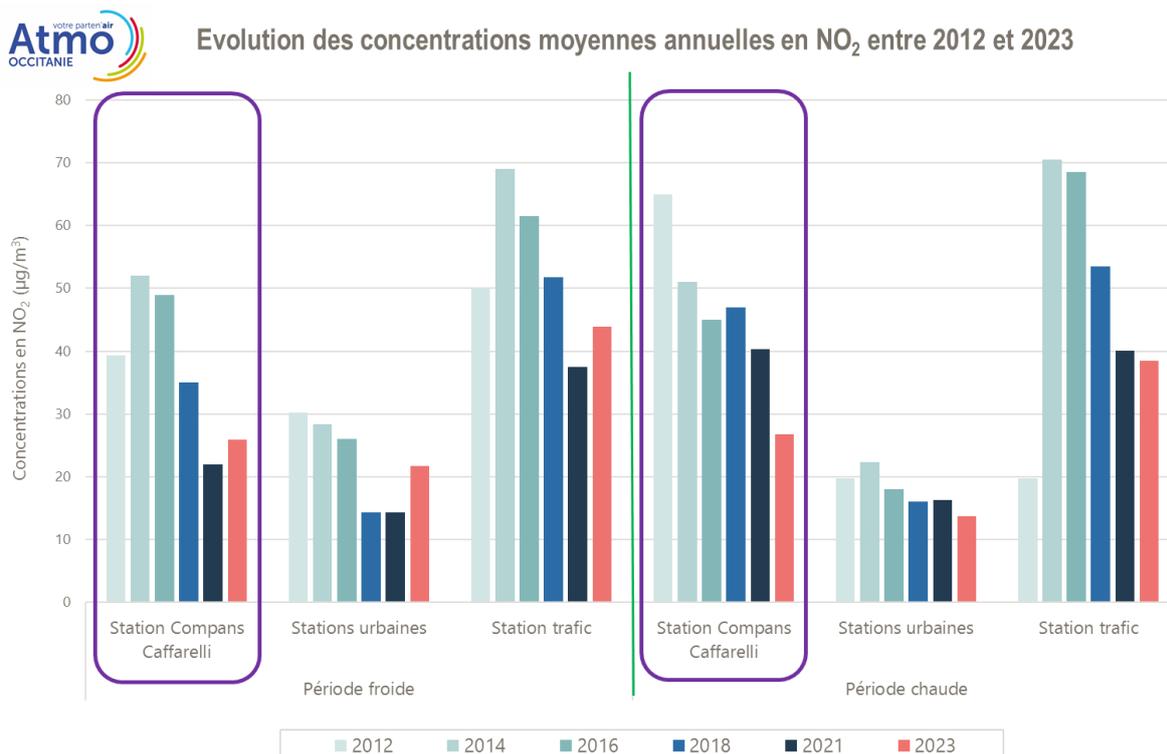
Les variations des niveaux de NO₂ mesurés au sein du métro s'expliquent par plusieurs facteurs :

- La densité du trafic routier dans l'environnement de la station de métro considérée. Les teneurs maximales sont mesurées sur les stations situées en périphérie proche du centre-ville de Toulouse.
- La position des prises d'air de ventilation par rapport aux voies de circulation urbaines.
- La ventilation des stations de métro visant à maintenir une température de confort qui ne soit pas trop élevée.

Le graphique en bas de page représente l'évolution des niveaux de NO₂ lors de la période chaude et froide en 2012, 2014, 2016 et 2018, 2021 et 2023. Les mesures réalisées sur le quai de la station Compans-Caffarelli sont comparées avec celles des stations fixes (urbaines de fond et trafic) de l'agglomération toulousaine.

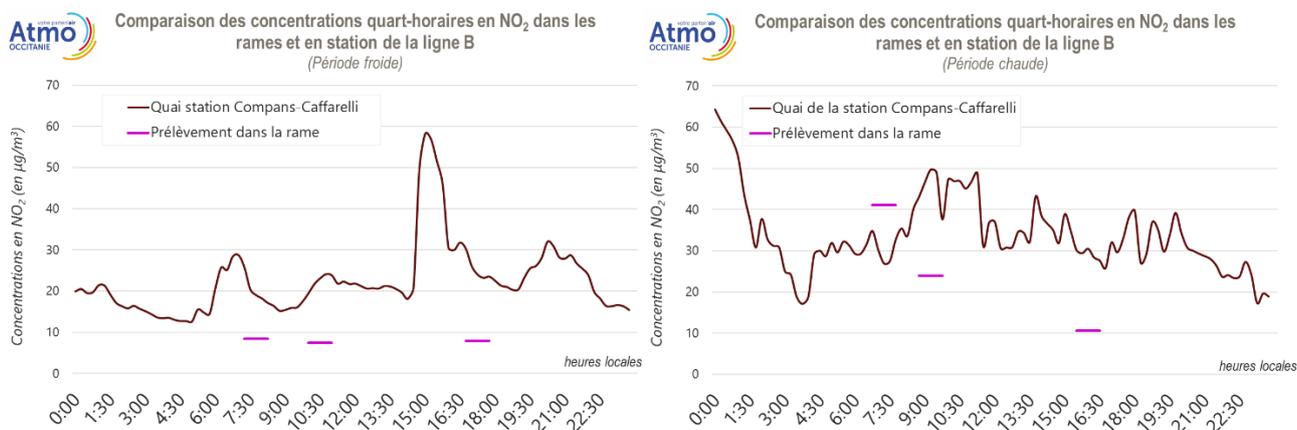
En 2023, la concentration moyenne de NO₂ dans le métro est du même ordre de grandeur que les concentrations relevées dans le fond urbain de Toulouse lors de la période froide mais les dépassent largement en période chaude. Elles sont nettement inférieures aux niveaux observés en proximité trafic.

Cette année, et contrairement aux précédentes, la concentration moyenne de NO₂ mesurée dans la station de métro Compans-Caffarelli varie peu entre les deux périodes de mesures. Il est intéressant de noter qu'en 2023, des pics élevés de NO₂ (entre 70 et 147 µg/m³ en concentrations horaire) ont été relevés à différentes périodes lors de la campagne d'hiver mais uniquement en dehors des horaires d'ouvertures (entre 3 h et 5 h en début de semaine). A l'inverse, les pics horaires de NO₂ observés lors de la période chaude apparaissent le soir, lorsque le métro est en fonctionnement (entre 19 h ou 21 h). Cette augmentation des concentrations de NO₂ peut-être liée à des travaux dans l'enceinte du métro.



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

Les concentrations prélevées dans les rames de métro sont globalement restées en deçà de celles mesurées sur le quai de la station métro Compans-Caffarelli.



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 data¹⁴.

Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire 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 concentrations 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 de NO₂ sur le quai de la station de métro toulousain est environ 30 % plus faible que celles observées dans les trois stations du métro et RER francilien. En revanche, le maximum horaire relevé lors de la période froide, dans le métro toulousain, est supérieur à ceux mesurés dans le métro francilien mais inférieur au niveau observé dans le RER.

¹⁴ <https://data.R.A.T.P..fr/explore/?sort=modified>

Du 25 janvier au 16 mars 2023		Concentrations en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (ligne 4)	29	79
	Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	37	89
	Auber (RER A)	39	456
Toulouse	Compans-Caffarelli (ligne B)	26	147

Du 06 septembre au 25 octobre 2023		Moyenne sur la période	Maximum horaire
		Paris	Châtelet (ligne 4)
Franklin D. Roosevelt (ligne 1)	42		157
Auber (RER A)	38		464
Toulouse	Compans-Caffarelli (ligne B)	27	92

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</u> <u>Compans-Caffarelli</u> : 1,2 µg/m ³ <u>Carmes</u> : 1,4 µg/m ³

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

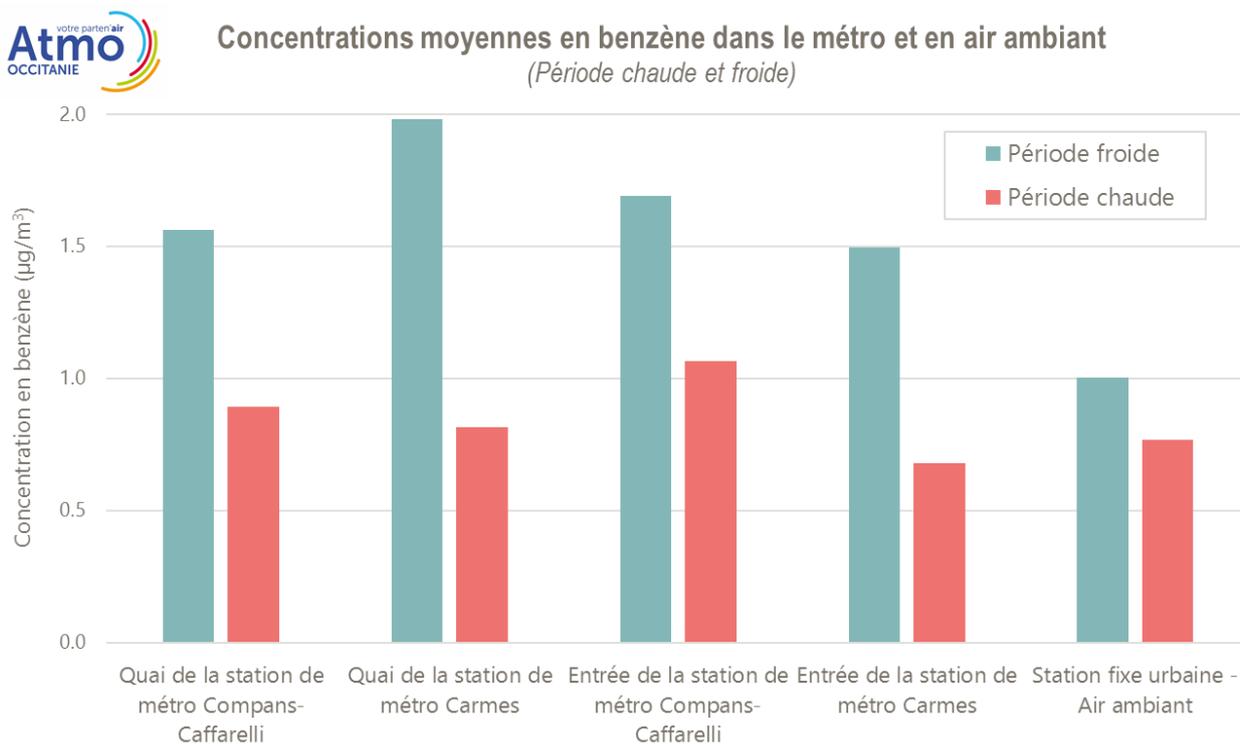
Les mesures en moyenne sur 15 jours ou sur 1 h 20 dans les rames ne sont pas comparables à la réglementation du travail. Cependant, au vu des teneurs maximales en benzène rencontrées dans le métro nous pouvons considérer que les teneurs maximales quart-horaires dans l'enceinte du métro auraient été nettement 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	Maximum sur 1 heure et 20 minutes <u>Mesure dans la rame en heures de pointe du soir</u> : 5,3 µg/m ³ (période chaude) Maximum sur 15 jours <u>Quai de la station de métro Carmes</u> : 2,0 µg/m ³ (période froide)

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 via la ventilation.

Le graphique suivant présente les concentrations de benzène mesurées sur les quais ainsi qu'à l'entrée des stations de métro Compans-Caffarelli et Carmes. Sont également indiquées les concentrations relevées par la station fixe Berthelot, représentative du fond urbain toulousain.



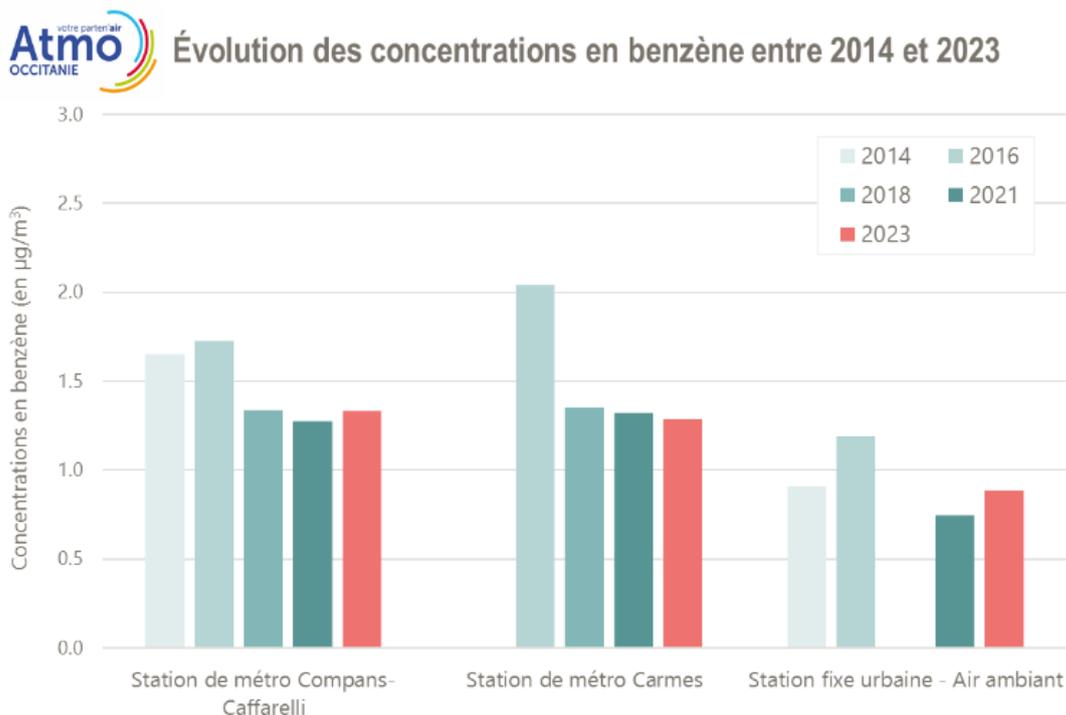
Lors de la période chaude, les concentrations de benzène sont du même ordre de grandeur entre le quai et l'entrée des stations et d'un niveau similaire avec le fond urbain. Lors de la période froide, les concentrations mesurées dans le métro sont plus élevées qu'en période chaude. Si cette observation se vérifie également en fond urbain, les niveaux dans l'enceinte du métro sont supérieurs à ceux relevés en air extérieur. À noter que les concentrations de benzène à l'entrée de la station de métro Compans-Caffarelli sont supérieures à celles observées sur les quais lors de la période chaude tandis que le phénomène inverse s'observe pour la station Carmes.

3.4.4. Des niveaux en diminution depuis 2014

Le graphique ci-contre représente l'évolution, entre 2014 et 2023, des concentrations moyennes de benzène sur les quais et à l'entrée des stations de métro Compans-Caffarelli et Carmes.

Celles-ci ont diminué entre 2014 et 2016 puis se sont globalement stabilisées depuis.

Les concentrations mesurées sur le quai des stations de métro sont supérieures au niveaux de fond urbain.



3.4.5. À bord des rames, des concentrations analogues à celles des quais

Des mesures de benzène dans les rames sont effectuées en période froide et en période chaude. Leur réalisation se fait à la suite des mesures effectuées sur le quai de la station Compans-Caffarelli et se déroule sur une période d'environ 1 h 20 min. 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 Compans-Caffarelli lors de la période froide. En revanche, les concentrations de benzène dans les rames sont supérieures à celles mesurées sur le quai de la station Compans-Caffarelli durant la période chaude. On note que les concentrations peuvent fortement varier d'une rame à l'autre.



		Concentrations en benzène sur une heure (en µg/m³)		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période froide	Dans une rame	2,3	2,9	2,1
	Quai de la station Compans-Caffarelli	2,6	2,0	2,2
Période chaude	Dans une rame	2,2	2,3	5,3
	Quai de la station Compans-Caffarelli	2,1	0,9	1,8

3.5. Le dioxyde de carbone

3.5.1. Un niveau de confinement satisfaisant dans l'enceinte des stations et dans 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 B du métro toulousain respectent 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 10 min
Exposition de courte durée	Recommandation du règlement sanitaire départemental	1 300 ppm	OUI	Niveau maximal sur 10 minutes <u>Carmes</u> : 817 ppm (période froide) <u>Compans-Caffarelli</u> : 1053 ppm (période froide)

3.5.2. Des concentrations plus faibles dans les rames que sur les quais de Compans-Caffarelli

Suite à un dysfonctionnement de l'appareil de mesure, seules les mesures en heure de pointe et creuse du matin seront analysées.

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes s'est élevée à 1297 ppm. Elle a été observée en heure creuse (9 h à 10 h 30) 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.

		Moyenne glissante des concentrations en CO ₂ sur 10 min à l'intérieur de la rame (en ppm)		
		Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir
Période froide	Moyenne glissante sur 10 min	747	933	1224
	Valeur maximale sur 10 min	859	1297	1279
Période chaude	Moyenne glissante sur 10 min	615	619	580
	Valeur maximale sur 10 min	841	716	904
Nombre de fois où la concentration moyenne sur 10 min > à la valeur de référence (1300 ppm)		0	0	0

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent rapport rend compte de l'état de la qualité de l'air dans l'enceinte de la ligne B du métro toulousain en 2023. Ainsi, il présente les niveaux de polluants mesurés sur les quais et dans les rames :

Les particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁

En 2023, **les concentrations sur 30 minutes en particules PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées sur les quais, respectivement, de la station Carmes et de la station de Compans-Caffarelli de la ligne B dépassent les valeurs de gestion de l'Anses les plus contraignantes, jusqu'à 5 % 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 Compans-Caffarelli enregistre des concentrations en particules jusqu'à 113 % plus élevées en période froide qu'en période chaude.** Cela peut s'expliquer par l'activation de la ventilation l'été, qui permet de descendre la température du métro et favorise donc la dispersion des particules.

Les concentrations en particules mesurées dans le métro toulousain sont **nettement plus élevées que le fond urbain ou à proximité du trafic.** Ainsi sur le quai de la station de métro Compans-Caffarelli, les concentrations en particules PM₁₀ sont 5 fois plus élevées, les particules PM_{2.5} sont 6 fois plus élevées et les particules PM₁ 2 fois plus élevées. **L'utilisateur du métro est cependant exposé à ces niveaux de concentration sur un pas de temps court.**

En 2023, les concentrations de particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ relevées dans la station de métro Compans-Caffarelli sont nettement plus élevées lors de la période froide (respectivement 113 %, 41 % et 54 % de plus). De même sur pour les PM₁₀ mesurés sur la station Carmes (+35 %). Cette augmentation peut être liée, au regard de notre historique de mesure, à l'activation de la ventilation l'été.

Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} dans l'enceinte des deux stations de métro sont en nette hausse en 2023, avec les niveaux les plus hauts enregistrés depuis 2014. Cette augmentation est observée pour les deux périodes de mesures, pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} ainsi que sur les deux stations de métro pour les PM₁₀.

À bord des rames, les concentrations de particules mesurées sont proches de celles relevées sur les quais lors de la campagne hivernale. En revanche, la corrélation avec la situation sur les quais est moins marquée lors de la période estivale, possiblement en lien avec le fonctionnement de la ventilation.

Les concentrations moyennes de PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées dans le métro toulousain sont globalement supérieures à celles relevées dans le réseau francilien. En revanche, les concentrations maximales de PM₁₀ rencontrées dans le métro toulousain sont globalement plus faibles que celles mesurées sur les trois stations de RER de la RATP.

Les métaux

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

L'atmosphère de la station de métro Compans-Caffarelli apparaît enrichie de toutes les espèces métalliques analysées. Les métaux représentent ainsi 34 % des particules PM₁₀. Des concentrations très élevées, en comparaison des niveaux rencontrés en fond urbain, sont ainsi mesurées.

Le métro est source de particules métallique. 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 des concentrations observée lors de la saison froide pour les particules se retrouve aussi dans les concentrations de métaux et tout particulièrement **dans les éléments les plus représentés**, comme le baryum, le fer, le cuivre et le zinc. Seul l'antimoine et le cadmium sont en diminution lors de cette campagne de mesure.

Les concentrations d'arsenic, de cadmium, de zinc et de plomb observées en 2023 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en 2012. En revanche, **les concentrations de baryum, de cuivre, de fer, de manganèse et de nickel sont en nette augmentation** tandis que les concentrations d'antimoine et de chrome sont en diminution.

On observe que pour la plupart des métaux, **les niveaux mesurés dans le métro toulousain sont inférieurs à ceux observés dans les espaces ferroviaires des autres villes.** Seule exception, le zinc qui est en excès à Toulouse par rapport à Lille et Marseille mais reste inférieur aux niveaux de Lyon.

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 B 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 observations passées, les concentrations de NO₂ sont restées stables entre les deux périodes de mesures tandis que les niveaux de benzène sont en hausse lors de la période froide.

En 2023, 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 mais les dépassent largement en période chaude. Elles sont nettement inférieures aux niveaux observés en proximité trafic.

Cette année, et **contrairement aux précédentes, la concentration moyenne de NO₂ mesurée dans la station de métro Compans-Caffarelli varie peu entre les deux périodes de mesures.** Il est intéressant de noter qu'on observe une variation horaire des concentrations de NO₂ différente entre la période froide et chaude. Un événement ponctuel (type travaux) a pu participer à augmenter les niveaux de NO₂ dans le métro lors de la période froide.

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

La concentration moyenne du NO₂ sur le quai de la station de métro toulousain est 30 % plus faible que celles observées dans les trois stations du métro et RER francilien. En revanche, le maximum horaire relevé

lors de la période froide, dans le métro toulousain, est supérieur à ceux mesurés dans le métro francilien mais inférieur au niveau observé dans le RER.

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.

Il apparaît donc que les usagers du métro toulousain sont exposés à des niveaux de particules fines et de métaux conséquents dans le cadre de leurs trajets quotidiens sur la ligne B. 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 s'étoffe en 2024. Des mesures dans trois nouvelles stations de la ligne A et B seront menées simultanément. Les mêmes polluants seront investigués avec néanmoins l'ajout de la mesure des métaux dans les rames. L'évolution du protocole de mesure se place dans un cadre, fixé par l'INERIS, qui a pour objectif d'homogénéiser les pratiques de surveillance dans les espaces ferroviaires souterrains.

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 : RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL

ANNEXE 5 : PRÉSENTATION DES STATIONS FIXES DE L'AGGLOMERATION TOULOUSAIN PRISES COMME RÉFÉRENCE

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 25 janvier au 16 mars 2023 pour la période froide¹⁵.
- Du 06 septembre au 25 octobre 2023 pour la période chaude¹⁶ ;

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 Compans-Caffarelli a été équipée d'appareils permettant la mesure du NO₂ et des particules PM₁₀ et PM_{2,5} ;
- La station de métro Carmes 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 échantillonneurs passifs ont été réalisées sur les quais ainsi qu'à l'entrée des stations de métro Compans-Caffarelli et Carmes.

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 réalisées 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 22 février (23/02 pour le NO₂) et le 11 octobre 2023

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.

¹⁵ Pour le benzène : du 21 janvier au 09 février 2023 | Pour les métaux : du 10 au 23 février 2023

¹⁶ Pour le benzène : du 06 au 20 septembre 2023 | Pour les métaux : du 06 au 19 octobre 2023

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 B 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.

Ils sont émis lors de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation routière, dispositifs de chauffage, industries...)

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.

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 de la combustion incomplète des combustibles fossiles (dispositifs de chauffage, circulation routière, industries...).

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.

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.

Les métaux

Origine

Les métaux proviennent de la combustion de charbon, de pétrole, des ordures ménagères et de certains procédés industriels. Dans l'air, ils se retrouvent généralement sous forme de particules (sauf le mercure qui est principalement gazeux).

Effets sur la santé

Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires ou autres.

- **L'antimoine (Sb)** : l'intoxication à l'antimoine seul (trihydrure d'antimoine) est très rare. Les cas répertoriés sont généralement associés à une intoxication de trihydrure d'arsenic. A forte dose, ce gaz peut s'avérer très toxique et engendrer des nausées, vomissement, des douleurs abdominales et lombaires et même mené jusqu'à une arythmie cardiaque dans certains cas.
- **L'arsenic (As)** : les principales atteintes d'une exposition chronique sont cutanées. Des effets neurologiques, hématologiques ainsi que des atteintes du système cardio-vasculaire sont également signalés. Les poussières arsenicales entraînent une irritation des voies aériennes supérieures. L'arsenic et ses dérivés inorganiques sont des cancérigènes pulmonaires.
- **Le cadmium (Cd)** : une exposition chronique induit des néphrologies (maladies des reins) pouvant évoluer vers une insuffisance rénale. L'effet irritant observé dans certains cas d'exposition par inhalation est responsable de rhinites, pertes d'odorat, broncho-pneumopathies chroniques. Sur la base de données expérimentales, le cadmium est considéré comme un agent cancérigène, notamment pulmonaire.
- **Le chrome (Cr)** : par inhalation, les principaux effets sont une irritation des muqueuses et des voies aériennes supérieures et parfois inférieures. Certains composés doivent être considérés comme des cancérigènes, en particulier pulmonaires, par inhalation, même si les données montrent une association avec d'autres métaux.
- **Baryum (Ba)** : Lorsque des particules de baryum sont inhalées, elles peuvent provoquer une irritation sévère des voies respiratoires. À des concentrations élevées, cette inhalation peut entraîner un œdème pulmonaire ou une accumulation de liquide dans les poumons, qui peut être potentiellement mortelle. En outre, le baryum inhalé peut pénétrer dans la circulation sanguine et induire des symptômes neurologiques tels que des étourdissements, des convulsions, et des tremblements, ainsi que des troubles cardiaques graves, y compris des arythmies et un risque accru d'arrêt cardiaque.
- **Le fer (Fe)** : L'inhalation de ces particules peut irriter les voies respiratoires, provoquant une toux, des difficultés respiratoires, et dans certains cas une forme bénigne de pneumoconiose due à l'accumulation de particules de fer dans les poumons. Une exposition prolongée ou à de fortes concentrations peut aggraver les conditions respiratoires préexistantes.
- **Le cuivre (Cu)** : L'inhalation du cuivre peut causer une irritation des voies respiratoires, se traduisant par une toux, une dyspnée, et une sensation de brûlure dans la gorge et les poumons. Une exposition aiguë et intense peut conduire à, une maladie pseudo-grippale caractérisée par des frissons, une fièvre, des douleurs musculaires et une faiblesse générale. Cette affection est généralement temporaire, mais les

expositions répétées peuvent avoir des effets cumulatifs et causer des dommages plus graves aux poumons.

- **Le manganèse (Mn)** : Une exposition prolongée à des concentrations élevées de manganèse dans l'air peut entraîner une maladie neurodégénérative similaire à la maladie de Parkinson. Les symptômes incluent des tremblements, une raideur musculaire, une difficulté à marcher, des troubles de l'élocution, et des changements comportementaux. En outre, l'inhalation de manganèse peut également provoquer des irritations des voies respiratoires, avec des symptômes comme la toux et la dyspnée.
- **Le nickel (Ni)** : L'exposition au nickel peut entraîner une irritation cutanée ou respiratoires, se traduisant par des démangeaisons, des rougeurs ou une toux, une dyspnée, et, dans les cas sévères, un risque accru de développer des maladies pulmonaires comme l'asthme ou la bronchite chronique. L'exposition chronique au nickel a également été associée à un risque accru de cancer des poumons et du nasopharynx, en raison des propriétés cancérogènes du nickel.
- **Le plomb (Pb)** : à fortes doses, le plomb provoque des troubles neurologiques, hématologiques et rénaux et peut entraîner chez l'enfant des troubles du développement cérébral avec des perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire.
- **Le zinc (Zn)** : les principaux effets observés sont des irritations des muqueuses, notamment respiratoires, lors de l'exposition à certains dérivés tels que l'oxyde de zinc ou le chlorure de zinc. Seuls les chromates de zinc sont des dérivés cancérogènes pour l'homme.

Effets sur l'environnement :

Les métaux **contaminent les sols et les aliments**. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et perturbent les équilibres et mécanismes biologiques.

Certains lichens ou mousses sont couramment utilisés pour surveiller les métaux dans l'environnement et servent de « bio-indicateurs ».

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'État 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}**¹⁷ : Concentration dans le milieu professionnel (µg/m³) : 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 bureau¹⁸ : 7,9µg/m³ pour les PM_{2,5} et 12,9µg/m³ pour les PM₁₀.
- **C_{log}** : Concentration dans le logement correspondant à la médiane (P50) des concentrations : 27,5µg/m³ pour les PM₁₀ et 16,8µg/m³ pour les PM_{2,5}. Cette valeur a été calculée sur un échantillon représentatif de logement en France métropolitaine entre 2003 et 2005

¹⁷ 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'est-à-dire 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.

¹⁸ 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 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 : 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 réglementation¹⁹:

« 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

¹⁹ 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 totales²⁰ et alvéolaires²¹ 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. »

²⁰ Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique).

²¹ Poussières dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 4 µm (PM₄).

ANNEXE 5 : PRÉSENTATION DES STATIONS FIXES DE L'AGGLOMERATION TOULOUSAIN 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 présentées 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 (PM10)				Particules fines (PM2.5)				Particules fines (PM1)			
		2016	2018	2021	2023	2016	2018	2021	2023	2016	2018	2021	2023
Stations urbaines de fond	Station Berthelot	X	X	X	X	X	X	X	X				X
	Station Mazades	X	X	X	X		X	X	X			X	X
	Station Jacquier	X	X	X	X								
Stations trafic	Station Route d'Albi	X	X	X	X	X	X	X	X				X
	Station Porte de l'embouchure		X	X	X			X	X				

		Dioxyde d'azote (NO ₂)				Benzène			
		2016	2018	2021	2023	2016	2018	2021	2023
Stations urbaines de fond	Station Berthelot	X	X	X	X	X	X	X	X
	Station Mazades	X	X	X					
	Station Jacquier	X	X	X	X				
Stations trafic	Station Route d'Albi	X	X	X	X				
	Station Porte de l'embouchure	X	X	X	X				

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.
- Le matériel roulant est sur pneumatiques.
- Environ 160 places dont 44 places assises.
- La vitesse maximale du matériel est de 80 km/h.
- Freinage électrique afin de récupérer l'énergie avec appoint freinage mécanique par plaquettes.

Caractéristiques de la ligne B

- Inaugurée en 2007.
- Les quais mesurent 26 mètres.
- 15,8 km orientés dans l'axe nord/sud passant par le centre de Toulouse essentiellement souterrain.
- 20 stations de métro dont la station Jean Jaurès permettant l'interconnexion avec la ligne A.
- Vitesse commerciale moyenne : 35 km/h.
- 26 minutes pour effectuer un parcours complet entre terminus,
- Fréquence de passage de rame : de 65 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.
- 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.

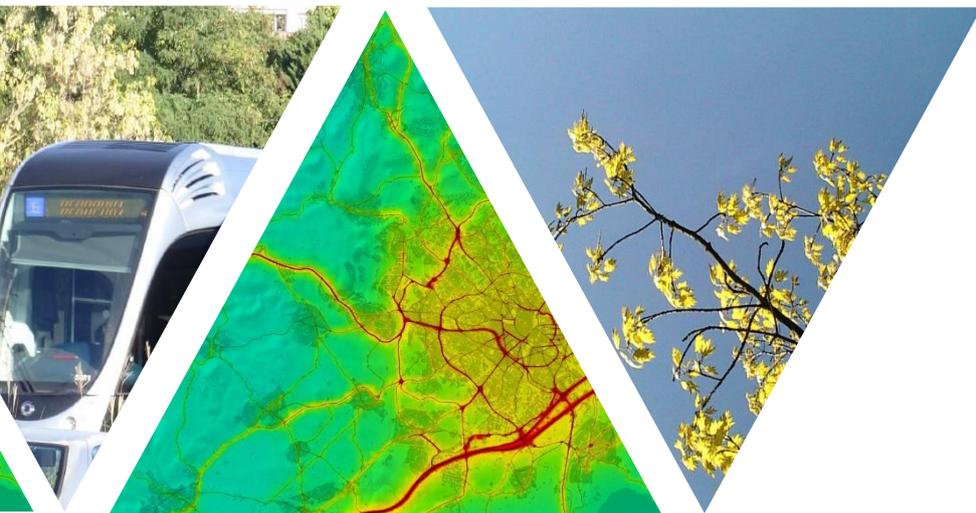
La gare de Chatelet les Halles qui dessert les RER A, B et D est la plus fréquentée du réseau francilien.

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