

AtmoSud

Inspirer un air meilleur



Qualité de l'air des enceintes ferroviaires souterraines du Tramway de Nice

Campagne 2021

Juin 2022

RÉSUMÉ :

QUALITE DE L'AIR DES ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES DU TRAMWAY DE NICE

Les enceintes ferroviaires souterraines sont des environnements clos dans lesquels sont présents les polluants issus du déplacement du matériel roulant, des occupants et de l'air extérieur. Cette première étude, menée dans les enceintes souterraines de la ligne 2 du tramway niçois, consiste à mesurer les concentrations en particules fines ainsi que le confinement dans les rames et sur les quais des quatre stations souterraines de la ligne 2.

Les mesures sur les quais souterrains ont pour objectif d'identifier les deux stations avec les niveaux ponctuels les plus élevés à retenir, avec la station la plus fréquentée, pour une éventuelle campagne de mesure plus longue avec des appareils de mesure de référence. Les mesures dans les rames consistent à évaluer l'exposition des utilisateurs le long du trajet du tram comportant des stations souterraines.

► Fréquentation

La station Jean Médecin affiche une fréquentation nettement supérieure aux autres stations souterraines. Cette station serait à retenir comme l'une des trois stations pour une éventuelle campagne de mesure de référence.

► Des concentrations en particules fines nettement plus élevées à la station de Garibaldi / Le Château

La station Garibaldi/Le Château est celle présentant, pour chaque période, les concentrations moyennes et maximales les plus élevées. La station Alsace-Lorraine est la seconde station présentant les niveaux les plus élevés. Ces deux stations seraient à retenir pour une campagne de mesure de référence.

A titre indicatif, pour les quatre stations échantillonnées, les concentrations ponctuelles en PM10 ont toujours été inférieures à la valeur guide 2021 dans les enceintes ferroviaires pour une heure d'exposition de 584 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations moyennes des trois périodes de mesure d'un quart d'heure sur les quais, toutes périodes confondues, sont comprises entre 46 et 151 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10, entre 14 et 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5 et entre 7 et 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM1.

► Dans la rame, des concentrations en PM10 et en PM2.5 inférieures à celles mesurées sur les quais

Les concentrations en PM10 dans la rame sont significativement inférieures à celles mesurées sur les quais des différentes stations souterraines. Le constat est similaire pour les PM2.5. Quant aux PM1, les concentrations obtenues dans la rame et sur les quais sont comparables.

► Une proportion de PM2.5 dans les PM10 d'environ 30 % sur les quais et dans la rame

Les mesures sur les quais et dans la rame montrent une proportion des PM2.5 dans les PM10 de 30 % en moyenne (33 % sur les quais et 30 % dans la rame).

► Un confinement faible sur les quais, mais marqué dans les rames

Il n'y a pas de valeurs de référence en CO₂ spécifique aux enceintes ferroviaires souterraines.

Les concentrations en CO₂ sur les quais sont faibles (inférieures à 800 ppm, seuil recommandé par le Haut Conseil de Santé Publique) pour les différentes périodes de mesure et ne montre pas de problématique de confinement.

Les concentrations en CO₂ dans ces périodes de pointe sont inférieures à ce qui est imposé pour le matériel roulant destiné au transport de passagers (non applicable aux tramways), sont ponctuellement supérieures aux concentrations à ne pas dépasser dans le cadre des règlements sanitaires départementaux et restent systématiquement supérieures à la valeur repère recommandée par le HCSP dans les établissements recevant du public.

► De nouvelles valeurs de référence dans les enceintes ferroviaires souterraines

Début juin 2022, de nouvelles valeurs de références ont été publiées par l'ANSES. Ces dernières consistent en une mise à jour de la valeur guide C_{sout} recommandées dans la Circulaire DGS/SD n°2003-314 du 30 juin 2003. Sur la base de la moyenne des concentrations annuelles en PM10 des 7 agglomérations qui possèdent une EFS, deux valeurs de référence ont été établies, C_{sout_Lim} qui prend en compte la valeur limite réglementaire et C_{sout-OMS} qui tient compte des lignes directrices OMS. Ces valeurs sont respectivement de 480 et 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une heure d'exposition par jour. A titre indicatif, l'ensemble des concentrations sur les quais des 4 stations souterraines de tram sont inférieures à la valeur C_{sout_Lim} mais les concentrations de la station Garibaldi sont supérieures à la valeur C_{sout-OMS}.

REMERCIEMENTS

AtmoSud remercie la Métropole Nice Côte d’Azur ainsi que Lignes d’Azur qui ont rendu possible la mise en place de la campagne de mesure dans l’enceinte ferroviaire souterraine du tramway de Nice.

PARTENAIRES

Métropole Nice Côte d’Azur

AUTEURS DU DOCUMENT

Thomas Aleixo - AtmoSud

Mathieu Izard – AtmoSud

SOMMAIRE

1. Contexte de l'étude.....	5
2. Le tramway de Nice.....	6
2.1 Le réseau	6
2.2 Fréquentation	6
3. Qualification de la qualité de l'air sur la zone d'étude	8
4. Réalisation de la campagne de mesures.....	9
4.1 Méthodologie	9
4.2 Matériel utilisé	9
4.3 Echantillonnage géographique et temporel	10
5. Résultats de la campagne 2021	11
5.1 Contexte de pollution en air extérieur	11
5.2 Campagne de mesure sur les quais	11
5.3 Campagne de mesure dans les rames	17
6. Conclusions	23
GLOSSAIRE.....	24

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1	Statistiques des mesures des paramètres de confort sur les quais des 4 stations de l'étude	27
ANNEXE 2	Evolution des concentrations en CO ₂ à l'intérieur des rames.....	29
ANNEXE 3	Aide à la lecture des diagrammes « boxplot »	30
ANNEXE 4	Valeurs de références	31
ANNEXE 5	Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS	33

1. Contexte de l'étude

Le tramway est un des transports les moins polluant. D'après l'ADEME, pour réaliser 10 km, on émet 2.2 kg de CO₂ avec une voiture thermique (diesel ou essence). À titre de comparaison, on rejette 0.03 kg de CO₂ lors d'un trajet en métro et tramway, 1.1 kg en bus et 0.8 kg en scooter¹. La mise en place d'un tramway a des effets bénéfiques sur la qualité de l'air et de nombreuses études ont montré l'impact sur les concentrations de polluants dans des rues avant et après tramway.

Concernant l'exposition des populations à la pollution, c'est bien dans l'habitacle des véhicules automobiles qu'elle est la plus importante comparée à l'exposition dans les autres modes de déplacement. En effet, l'exposition à la pollution est plus faible dans les tramways du fait de la distance par rapport à la source, en l'occurrence le trafic, contrairement aux voitures et bus qui sont au cœur de la circulation. Les métro et RER sont soumis à une pollution particulière spécifique (usure des pneus et freins) et accentuée par le fait que des enceintes ferroviaires fermées et souterraines ne permettent pas toujours une ventilation suffisante pour évacuer ces particules².

A Nice, le tramway comporte 4 stations sous-terraines. Les enceintes ferroviaires souterraines sont des environnements clos fréquentés par un grand nombre de personnes, de manière régulière et pour une durée d'exposition par jour relativement courte. Aux émissions des passagers et à la contribution de la pollution extérieure, s'ajoutent les polluants issus du passage du matériel roulant. Il est désormais reconnu que ces derniers concernent principalement les particules fines et les métaux.

L'objet de cette étude, menée par AtmoSud en partenariat avec la Métropole Nice Côte d'Azur (MNCA), est d'initier une **surveillance de la qualité de l'air des enceintes souterraines du tramway niçois**.

Le principe est de faire le point sur la situation du tramway niçois vis-à-vis des niveaux de pollution dans sa partie souterraine en réalisant les premières mesures sur les quais des 4 stations souterraines selon le guide de recommandations pour les enceintes ferroviaires souterraines de l'INERIS³ et dans les rames de tramway.

Ces mesures préalables sur les quais souterrains ont pour objectif d'identifier les deux stations avec les niveaux ponctuels les plus élevés à retenir, avec la station la plus fréquentée, pour une éventuelle campagne de mesure plus longue avec des appareils de mesure de référence.

Les mesures dans les rames consistent à évaluer l'exposition des utilisateurs le long du trajet du tram comportant des stations souterraines.

¹ Site de l'ADEME : <https://impactco2.fr/transport>

² LCPP, LHVP, Evaluation de l'exposition des citoyens aux polluants d'origine automobile au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne, 1998

³ Guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines – INERIS 2020

2. Le tramway de Nice

2.1 Le réseau

Actuellement, le tramway de Nice compte trois lignes totalisant une longueur de 27 km et 53 stations :

- Ligne 1 de l'avenue Henri Sappia à l'hôpital Pasteur : cette ligne compte 22 stations, toutes aériennes.
- Ligne 2 du port de Nice à l'aéroport/CADAM : elle compte 20 stations dont 4 souterraines (Alsace-Lorraine, Jean Médecin, Durandy, Garibaldi/Le Château).
- Ligne 3 de l'aéroport à Saint-Isidore : elle comporte 11 stations, toutes aériennes. 5 de ses 11 stations sont en commun avec la ligne 2.

Figure 1 : Plan du Réseau de tramway de la ville de Nice (source MNCA)



2.2 Fréquentation

Le tableau ci-dessous présente le cumul, sur l'année 2021, des validations hebdomadaires des titres de transport sur l'ensemble de la ligne 2 du tramway ainsi que pour chacune des 4 stations souterraines.

La station Jean Médecin est significativement plus fréquentée que les autres. Cette station permet de faire le lien avec la ligne 1 du tramway niçois par l'intermédiaire de la station aérienne du même nom.

La station Alsace-Lorraine présente un taux de fréquentation légèrement plus élevé que la station Garibaldi / Le Château.

Enfin, la station Durandy présente une fréquentation nettement moindre que les autres stations souterraines.

Tableau 1 : Evolution hebdomadaire de la fréquentation de la ligne 2 du tramway pour l'ensemble du réseau et pour les 4 stations souterraines sur l'année 2021

Fréquentation	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Total
Ensemble de la ligne 2	1 252 401	1 304 147	1 313 214	1 354 019	1 318 119	892 385	628 281	8 062 566
Station Jean Médecin	414 190	431 963	445 334	440 382	440 638	338 365	224 036	2 734 908
Station Alsace-Lorraine	225 388	234 980	236 732	239 606	239 939	159 227	115 356	1 451 228
Station Durandy	80 109	84 960	81 890	83 827	83 490	43 522	28 652	486 450
Station Garibaldi / Le Château	169 715	179 147	182 531	183 193	182 962	137 928	86 391	1 121 867

Du fait de son rôle d'intermédiaire entre la ligne 1 et la ligne 2 du tramway niçois et sa localisation au cœur d'une zone marchande très fréquentée, la station Jean Médecin présente une fréquentation nettement supérieure à celle des autres stations souterraines.

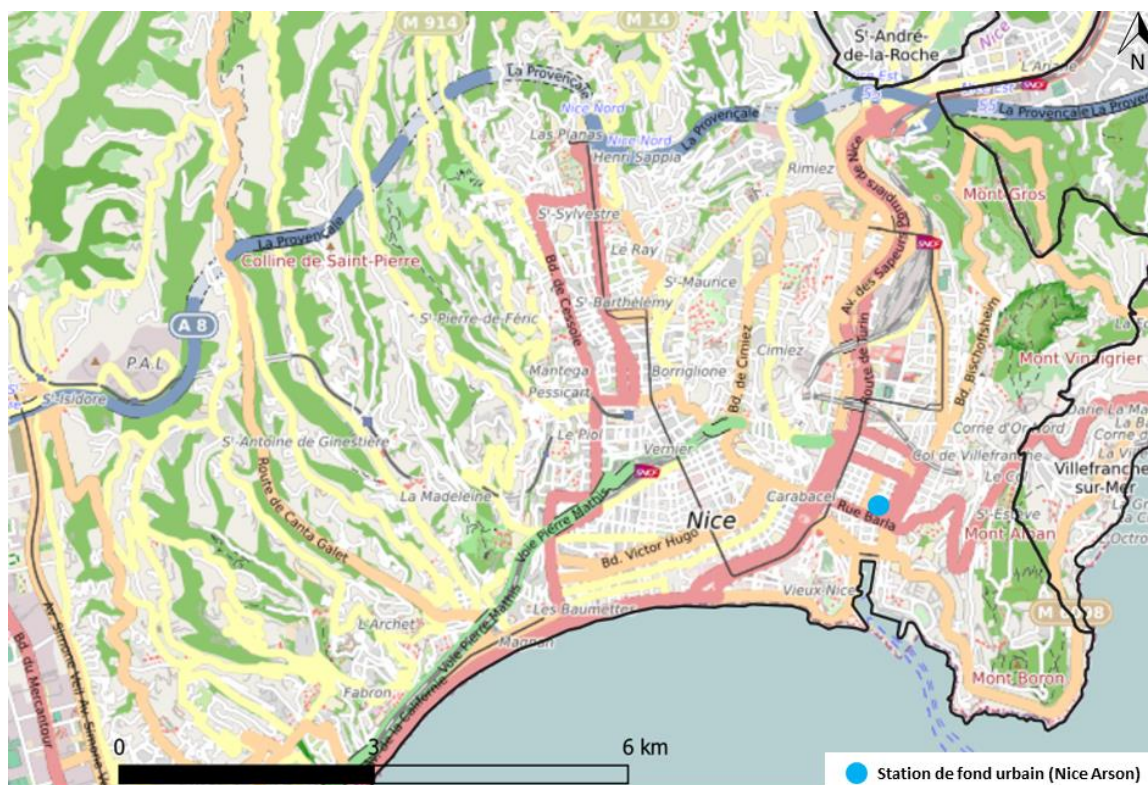
Selon le guide de recommandations de l'INERIS, pour une campagne de mesure de référence, la station Jean Médecine devrait être retenue.

3. Qualification de la qualité de l'air sur la zone d'étude

AtmoSud dispose d'un réseau de surveillance permanent sur l'ensemble de la région afin de mesurer en continu des polluants réglementés. A Nice, cinq stations surveillent la qualité de l'air⁴.

La station de fond urbain de référence est celle de Nice / Arson et sera donc utilisée à ce titre dans cette étude.

Figure 2 : Localisation de la station de fond urbain Nice Arson



Cette station est utilisée dans le cadre de cette étude pour fournir des informations comparatives aux concentrations mesurées à l'intérieur de l'enceinte ferroviaire souterraines du tramway de Nice. Leurs caractéristiques et les substances mesurées sont indiquées ci-dessous :

Tableau 2 : Caractéristiques stations de mesures AtmoSud fixes dans la zone d'étude

Paramètre		Station Nice Arson
Station	Type	Fixe
	Typologie	Urbaine
	Influence	Fond
Polluants particuliers	PM ₁₀	X
	PM _{2.5}	X

Les données de cette station de mesure servent également à calculer la valeur guide C_{sout} à ne pas dépasser dans les enceintes ferroviaires souterraines pour les PM₁₀ selon la Circulaire DGS/SD n°2003-314 du 30 juin 2003. (cf. ANNEXE 4 : Valeurs de référence).

⁴ <https://www.atmosud.org/donnees/acces-par-station>

4. Réalisation de la campagne de mesures

4.1 Méthodologie

Au vu de l'objectif de l'étude, les polluants suivants ont été mesurés :

- PM₁₀
- PM_{2.5}
- PM₁
- Particules ultrafines
- CO₂

Les caractéristiques techniques générales des prélèvements et des analyses sont rappelées ci-dessous :

Tableau 3 : Caractéristiques des prélèvements réalisés

Substance/Paramètre		Type de prélèvement	Points fixes : Nombre de stations de tramway	Mesures en mobilité : Nombre de lignes de tramway
Substances gazeuses	CO ₂	Analyseur infrarouge	4	1
Substances particulaires dans l'air ambiant	PM ₁₀	Granulomètre	4	1
	PM _{2.5}	Granulomètre	4	1
	PM ₁	Granulomètre	4	1
	Particules ultrafines	Granulomètre	4	1
Confort	Température/humidité	Analyseur infrarouge	4	1

4.2 Matériel utilisé

4.2.1 Granulomètre

L'appareil de mesure de particules fines est un granulomètre MINI-LAS. Ce dernier permet d'obtenir la **distribution statistique des tailles de particules dans 31 fractions de 250 nm à 32 µm** et l'estimation des concentrations en masse des particules fines de PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁.

Sur les quais, cet appareillage est conforme au protocole harmonisé à l'échelle nationale pour l'étape de hiérarchisation des stations souterraines. Cette étape est nécessaire pour la sélection des stations en vue d'une campagne de mesure de référence de 2 semaines dans chaque station retenue. **Les données obtenues ne peuvent pas être représentatives des concentrations auxquels les usagers sont exposés** puisque l'appareillage ne prend pas en compte la densité spécifique des particules fines à l'intérieur des EFS, et donc sous-estime les concentrations intérieures. De plus, les mesures réalisées sur une période de 15 minutes ne peuvent pas être temporellement représentatives de l'exposition des usagers. Ainsi, les mesures obtenues n'ont été comparées aux valeurs guides des EFS qu'à titre indicatif.

Dans les rames, les mesures recommandées dans les EFS sont des mesures de masse, sur filtre, en raison de la différence de densité des particules entre les zones intérieures et extérieures. Cependant le réseau souterrain du tramway Niçois est trop limité pour réaliser ces mesures, qui nécessitent un prélèvement de 2 heures uniquement dans les zones souterraines. Les mesures ont donc été effectuées avec le granulomètre (analyseur optique) ne prenant pas en compte les différences de densité des particules. Les données résultantes ne sont donc présentées qu'à titre indicatif.

Nb : La part importante de particules métalliques dans les EFS émises par le frottement des pièces métalliques du matériel roulant et des rails implique une densité moyenne des particules significativement plus importante qu'en air ambiant. Les appareils de mesure optiques prennent en compte dans le calcul des concentrations en particules fines la

densité moyenne des particules de l'air ambiant, ce qui a comme conséquence une sous-estimation des concentrations dans les EFS de ces analyseurs optiques.

Photographie 1 : Granulomètres et MINI-LAS (source AtmoSud)



4.2.2 Analyseur infrarouge

La température, l'humidité relative et les concentrations en dioxyde de carbone CO₂ sont mesurées en temps réel à l'aide d'un appareil de mesure Class'Air de chez Pyrescom.

Basé sur le principe de la spectrométrie d'absorption infrarouge, cet équipement répond aux exigences de conformité au décret n°2012-14 relatif à la mesure des polluants de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP).

Sur les quais, cet appareillage est conforme au protocole harmonisé au niveau national par rapport à l'étape de hiérarchisation des quais pour la sélection des stations à retenir pour une campagne de mesure de référence de 2 semaines dans chaque station retenue. Les concentrations obtenues sur les 15 minutes de mesure ne sont présentées qu'à titre indicatif, elles ne peuvent pas être représentatives, sur cette période si courte, des concentrations auxquelles les usagers sont habituellement exposés.

Photographie 2 : Appareil de mesure de CO₂, température et humidité relative : Class'Air



4.3 Echantillonnage géographique et temporel

4.3.1 Echantillonnage géographique

Les mesures ont été réalisées sur les quais de l'ensemble des 4 stations souterraines de la ligne 2 :

- Alsace-Lorraine
- Jean Médecin
- Durandy
- Garibaldi / Le Château

En complément, des mesures ont été réalisées à l'intérieur d'une rame de tramway sur la totalité du trajet de la ligne 2.

4.3.2 Echantillonnage temporel

► Campagnes sur les quais

Les mesures sur les quais des 4 stations souterraines de tramway se sont déroulées les journées du 22, 23 et 25 novembre 2021, durant 15 minutes pour chaque journée pendant la période d'heures de pointe du matin, entre 7h30 et 9h (heure locale).

► Campagnes dans la rame de tramway

Les mesures à l'intérieur de la rame de tramway ont été réalisées durant les journées du 22, 23 et 24 novembre 2021 entre 16h et 17h15 (heure locale).

L'ensemble des mesures sont réalisées sur un pas de temps d'une minute.

5. Résultats de la campagne 2021

5.1 Contexte de pollution en air extérieur

Les concentrations extérieures en PM₁₀ et PM_{2.5} à la station AtmoSud de fond urbain (Nice/Arson) ont quelque peu fluctué au cours de la période de mesure dans le tramway niçois.

Tableau 4 : Concentrations journalières mesurées à Nice Arson pour chacune des journées de mesure

Station	Fraction de particules fines	Concentration journalière (µg/m³) 22/11/2021	Concentration journalière (µg/m³) 23/11/2021	Concentration journalière (µg/m³) 24/11/2021	Concentration journalière (µg/m³) 25/11/2021
Nice/Arson	PM ₁₀	20	20	19	11
	PM _{2.5}	12	9	8	5

Les concentrations extérieures à la station de fond urbain de Nice/Arson montrent des niveaux similaires en PM₁₀ et PM_{2.5} lors des journées du 22, 23 et 24 novembre mais les concentrations baissent de moitié lors de la journée du 25 novembre 2021.

5.2 Campagne de mesure sur les quais

L'ensemble des statistiques demandées par le guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines sont présentées en ANNEXE 1 pour les particules fines et le CO₂.

Les mesures mises en œuvre dans le cadre de cette étude ont pour objectif principal de réaliser une hiérarchisation des stations à retenir pour une campagne de mesure de référence, sur la base de mesures ponctuelles en particules fines. **Il s'agit donc d'une étape préalable à la mise en place d'une campagne de mesure de référence, unique solution pour évaluer si les concentrations intérieures de l'EFS sont conformes aux valeurs guides dans les EFS.**

5.2.1 Particules fines

5.2.1.1 Concentrations sur les quais

Les tableaux ci-dessous présentent, pour chacune des stations investiguées, les concentrations moyennes et maximales obtenues sur les 15 minutes de mesures pour chaque journée.

► Station Alsace-Lorraine

Tableau 5 : Concentrations en PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ à la station Alsace-Lorraine

Polluant	Valeur	22/11/2021 07h38 – 07h54	23/11/2021 08h35 – 08h50	25/11/2021 08h34 – 08h50	Moyenne des périodes
PM ₁₀ (µg/m ³)	Moyenne	100	73	57	77
	Maximum	122	95	90	122
PM _{2.5} (µg/m ³)	Moyenne	25	18	14	19
	Maximum	28	20	25	28
PM ₁ (µg/m ³)	Moyenne	10	7	6	7
	Maximum	10	8	16	16

► Station Jean Médecin

Tableau 6 : Concentrations en PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ à la station Jean Médecin

Polluant	Valeur	22/11/2021 07h59 – 08h15	23/11/2021 08h13 – 08h29	25/11/2021 08h13 – 08h28	Moyenne des périodes
PM ₁₀ (µg/m ³)	Moyenne	27	69	43	46
	Maximum	36	86	103	103
PM _{2.5} (µg/m ³)	Moyenne	11	20	10	14
	Maximum	13	33	23	33
PM ₁ (µg/m ³)	Moyenne	8	9	3	7
	Maximum	8	23	6	23

► Station Durandy

Tableau 7 : Concentrations en PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ à la station Durandy

Polluant	Valeur	22/11/2021 08h20 – 08h36	23/11/2021 07h51 – 08h06	25/11/2021 07h51 – 08h06	Moyenne des périodes
PM ₁₀ (µg/m ³)	Moyenne	66	27	76	56
	Maximum	92	36	107	107
PM _{2.5} (µg/m ³)	Moyenne	21	11	18	17
	Maximum	25	13	25	25
PM ₁ (µg/m ³)	Moyenne	9	8	5	7
	Maximum	10	8	6	10

Tableau 8 : Concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 à la station Garibaldi / Le Château

Polluant	Valeur	22/11/2021 08h42 – 08h57	23/11/2021 07h31 – 07h46	25/11/2021 07h31 – 07h46	Moyenne des périodes
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Moyenne	160	57	236	151
	Maximum	179	79	286	286
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Moyenne	48	16	40	35
	Maximum	53	21	48	53
PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Moyenne	17	7	7	11
	Maximum	20	8	8	20

Les concentrations moyennes en PM10 des stations Alsace-Lorraine, Jean Médecin et Durandy sont assez similaires entre elles. **Celles de la station de Garibaldi / Le Château sont nettement supérieures.**

Le constat est identique pour les PM2.5 ainsi que pour les PM1, bien que le l'écart ne soit pas aussi significatif en raison de la gamme de concentration réduite. La proportion moyenne des PM2.5 dans les PM10 est de 33 %.

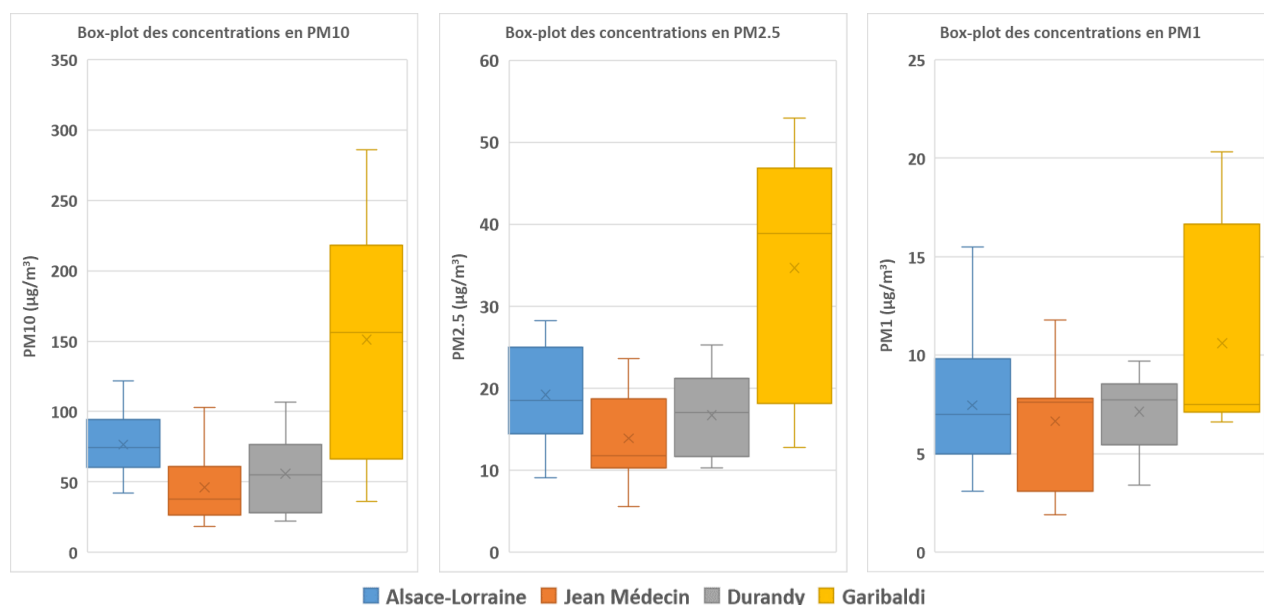
Il est bon de garder à l'esprit que sur les courtes périodes de mesure (comme celles considérées dans le cadre de cette étude), les concentrations moyennes peuvent être significativement influencées par des « épiphénomènes » (fait ou activité survenant à proximité du matériel de mesure).

A titre d'information, l'ensemble des concentrations quart-horaire en PM10 aux quatre stations souterraines de tramway sont très en-dessous de la concentration C_{sout} à ne pas dépasser en 2021 pour une exposition de 15 minutes de 2 254 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mais également pour une exposition d'une heure de 584 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nb : Début juin 2022, de nouvelles valeurs de références ont été publiées par l'ANSES dont le détail est présenté en ANNEXE 4. Ces dernières consistent en une mise à jour de la valeur guide C_{sout} recommandées dans la Circulaire DGS/SD n°2003-314 du 30 juin 2003. Sur la base de la moyenne des concentrations annuelles en PM10 des 7 agglomérations qui possèdent une EFS, deux valeurs de référence ont été établies, $C_{\text{sout_Lim}}$ qui prend en compte la valeur limite réglementaire et $C_{\text{sout_OMS}}$ qui tient compte des lignes directrices OMS. Ces valeurs sont respectivement de 480 et 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une heure d'exposition par jour. A titre indicatif, l'ensemble des concentrations sur les quais des 4 stations souterraines de tram sont inférieures à la valeur $C_{\text{sout_Lim}}$ mais les concentrations de la station Garibaldi sont supérieures à la valeur $C_{\text{sout_OMS}}$.

La représentation sous forme de diagramme box-plot (aide à la lecture en Annexe 3) ci-après permet une meilleure visibilité pour comparer les résultats obtenus entre les stations :

Figure 3 : Box plot des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 pour les quatre stations souterraines



La station Garibaldi présente sur l'ensemble des 3 périodes de 15 minutes des concentrations en PM10 significativement supérieures aux autres stations souterraines. Ce constat est également valable pour les PM2.5 et PM1.

La deuxième station présentant les niveaux moyens les plus importants en PM10 est la station Alsace-Lorraine.

Les stations de Durandy et Jean Médecin présentent des concentrations moyennes légèrement inférieures à celles de la station Alsace-Lorraine.

La station de Garibaldi présente des concentrations moyennes en PM10, PM2.5 et PM1 nettement supérieures à ce qui est mesuré sur les trois autres stations échantillonnées. La seconde station montrant les niveaux les plus élevés est la station Alsace-Lorraine.

Ainsi, selon le guide de recommandations de l'INERIS, les deux stations à retenir pour une éventuelle campagne de mesure de référence sur les quais sont les stations Garibaldi et Alsace-Lorraine.

5.2.1.2 Comparaison aux concentrations extérieures

Les niveaux de fond extérieurs en particules fines ne semblent pas avoir influencé notablement les niveaux de concentrations intérieures puisqu'il n'est pas observé de baisse générale des concentrations sur les quais des stations souterraines le 25 novembre 2021 comme ce qui a été observé à la station de fond urbain de Nice / Arson.

Figure 4 : Evolution des concentrations quarts-horaires en PM 10 mesurées à Nice / Arson ainsi que sur les quais des 4 stations souterraines pour les journées du 22/11, 23/11 et 25/11 entre 07h00 et 10h00 (heure locale)

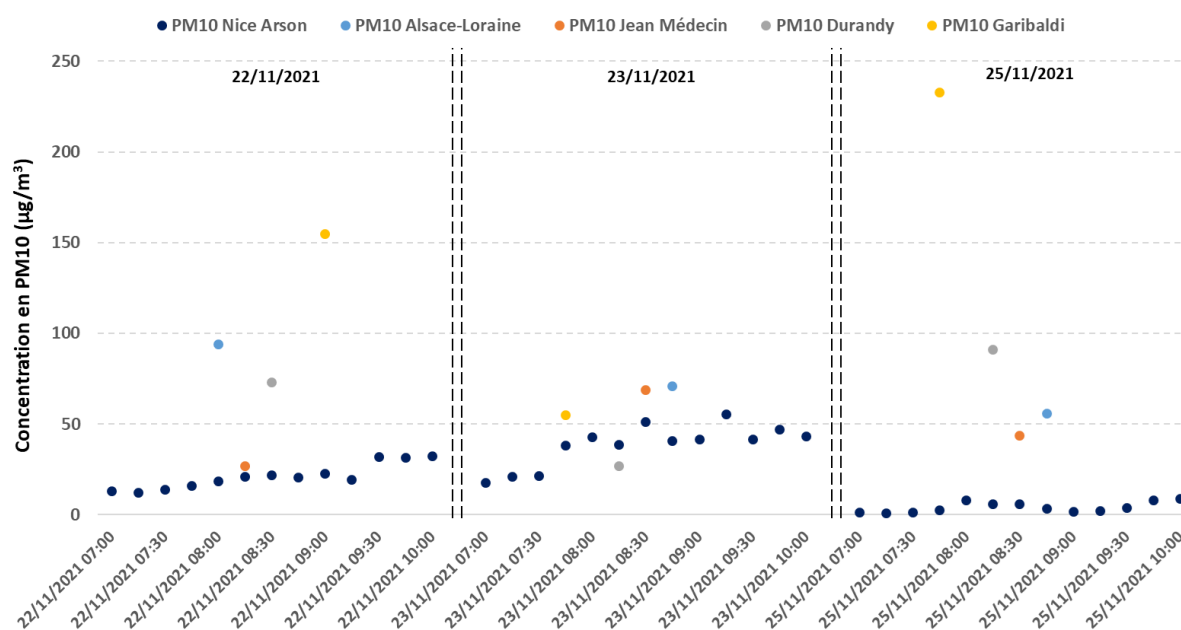
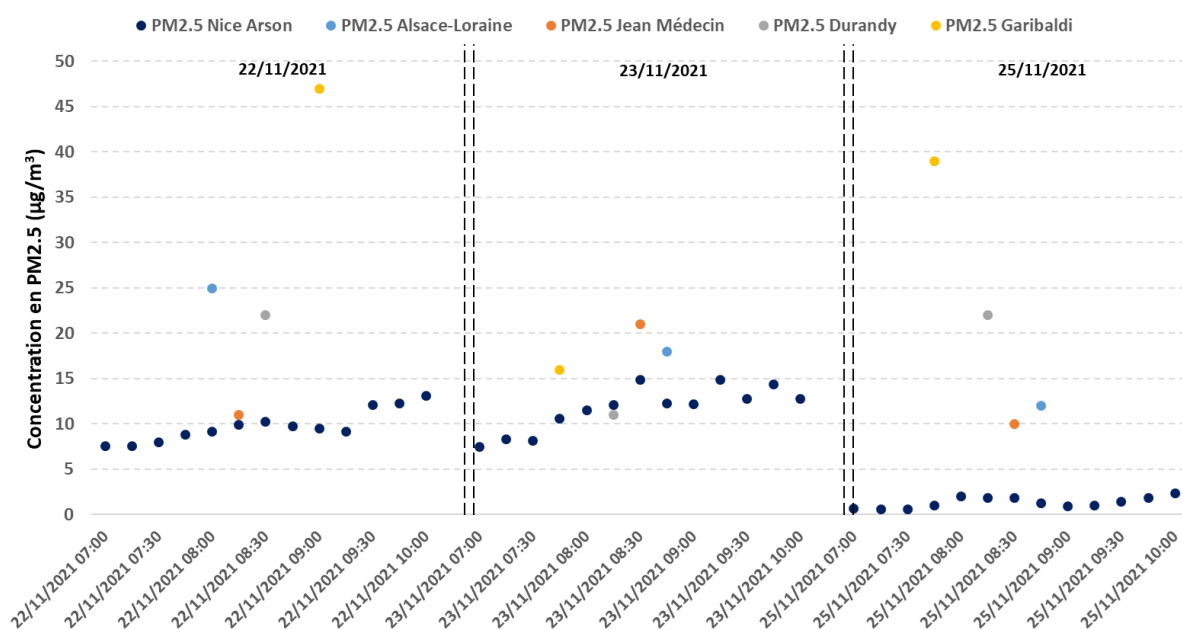


Figure 5 : Evolution des concentrations quarts-horaires en PM 2.5 mesurées à Nice Arson ainsi que sur les quais des 4 stations souterraines pour les journées du 22/11, 23/11 et 25/11 entre 07h00 et 10h00 (heure locale)



Les évolutions des concentrations extérieures en PM10 et PM2.5 (Nice/Arson) semblent avoir peu d'influence sur les différences de concentrations sur les quais des différentes stations de tramway échantillonnées.

5.2.1.3 Comparaison aux concentrations dans les enceintes ferroviaires françaises

Le guide de recommandations pour les enceintes ferroviaires souterraines de l'INERIS⁵ fait état de concentrations en PM10 comprises entre 13 à 1 284 µg/m³ au niveau des quais à l'échelle internationale (toutes mesures confondues sur des pas de temps différents). Les études de mesures dans les enceintes ferroviaires souterraines françaises⁶ présentent des concentrations moyennes 24/24h en PM10 par analyseur de référence de 23 à 208 µg/m³.

A titre d'information, les concentrations moyennes des 4 stations de mesures, sur les périodes de mesures considérées, sont cohérentes par rapport aux mesures réalisées sur de plus longues périodes et avec des analyseurs de références dans les enceintes ferroviaires souterraines françaises.

Les évolutions des concentrations extérieures en PM10 et PM2.5 (Nice/Arson) semblent avoir peu d'influence sur les différences de concentrations sur les quais des différentes stations de tramway échantillonnées.

La station de Garibaldi présente des concentrations moyennes en PM₁₀ nettement supérieures à ce qui est mesuré sur les trois autres stations échantillonnées. La seconde station montrant les niveaux les plus élevés est la station Alsace-Lorraine.

Ainsi, selon le guide de recommandations de l'INERIS, les deux stations à retenir pour une éventuelle campagne de mesure de référence sur les quais sont les stations Garibaldi et Alsace-Lorraine.

⁵ Guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines – INERIS 2020

⁶ Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS) en France – AtmoSud 2021

5.2.2 Paramètres de confort

En complément des mesures de particules fines, AtmoSud a réalisé des mesures sur les quais de CO₂, humidité relative et température. Ces indicateurs sont des paramètres de confort en air intérieur.

Le détail des concentrations moyennes et maximales, par station, de ces indicateurs, est présenté en ANNEXE 1.

► CO₂

Les résultats des concentrations en CO₂ sont présentés dans la figure 6.

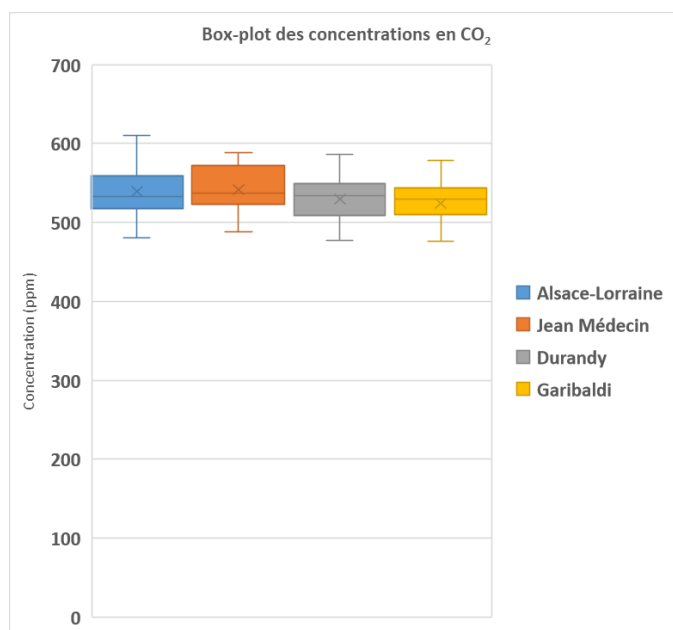
Il n'existe pas de valeur de référence de CO₂ spécifique aux enceintes ferroviaires souterraines. A titre de comparaison, le règlement sanitaire départemental préconise le seuil de 1 300 ppm en CO₂ (1000 ppm avec une tolérance à 1300 ppm pour les locaux non-fumeurs).

Dans le contexte de pandémie liée à la covid 19, le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a émis un avis en avril 2021 concernant les niveaux de confinement admissibles dans les établissements recevant du public. Ce dernier préconise de ne pas dépasser le seuil de 800 ppm dans les situations pour lesquelles les personnes présentes portent toutes un masque, ce qui est le cas dans le tramway.

Enfin, plus récemment, le HCSP a publié un avis sur les valeurs recommandées dans les établissements recevant du public⁷ :

- une valeur repère d'aide à la gestion en air intérieur pour une concentration en CO₂ de 800 ppm comme objectif d'un renouvellement de l'air satisfaisant,
- une valeur d'action rapide pour une concentration de 1 500 ppm, témoignant d'un confinement de l'air non acceptable au regard des éléments de la littérature scientifique et nécessitant des actions correctives.

Figure 6 : Box plot des concentrations en CO₂ pour les quatre stations souterraines



Les concentrations en CO₂ à la minute respectent toutes les valeurs de référence en air intérieur, notamment la plus contraignante, la valeur repère du Haut Conseil de Santé Publique (800 ppm). Cette période de mesure de courte durée (15 minutes) ne sont cependant pas représentatives de l'exposition moyenne des usagers.

⁷ Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP) – HSCP – 21 janvier 2022

► Températures et humidité relative

Les taux d'humidité relative moyens respectent les taux recommandés en ambiance intérieure : entre 40 et 60 %.

Les températures moyennes sont cohérentes avec la période durant laquelle les mesures ont été réalisées (automne-hiver).

Sur la courte période de mesure de cette campagne de hiérarchisation, les quais des quatre stations de tramway échantillonnées montrent des concentrations en CO₂ faibles qui ne font pas état de problématique de confinement. Les conditions hygrothermiques correspondent aux standards pour ce type d'environnement. Néanmoins, pour estimer le confinement des usagers sur les quais, il faudrait mettre en place une campagne de mesure plus longue *à minima* 2 semaines, comme cela est indiqué dans la campagne de mesure de référence du protocole harmonisé.

5.3 Campagne de mesure dans les rames

5.3.1 Niveaux de concentration en particules fines

Les mesures dans la rame de tramway ont été réalisées par un technicien empruntant le même trajet pour chacune des 3 journées de mesure : un aller-retour au départ du CADAM.

5.3.1.1 Concentrations moyennes et maximales

Le tableau ci-dessous présente les concentrations moyennes et maximales obtenues lors des mesures à l'intérieur de la rame de tramway pour chacune des périodes :

Tableau 9 : Concentrations en PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ dans la rame de tramway

Polluant	Valeur	22/11/2021 16h01 – 17h11	23/11/2021 16h01 – 17h09	25/11/2021 16h02 – 17h13	Toutes périodes confondues
PM ₁₀ (µg/m ³)	Moyenne	38	29	40	35
	Maximum (1 min)	66	57	110	110
PM _{2.5} (µg/m ³)	Moyenne	15	8	10	11
	Maximum (1 min)	27	15	17	27
PM ₁ (µg/m ³)	Moyenne	11	4	5	6
	Maximum (1 min)	22	7	10	22

Les concentrations moyennes de l'ensemble des périodes de mesure sont de 35 µg/m³ pour les PM₁₀, 27 µg/m³ pour les PM_{2.5} et 6 µg/m³ pour les PM₁ et sont relativement homogènes d'une période à l'autre.

Elles ne semblent pas suivre la tendance observée par les mesures moyennes en air extérieur (cf tableau 9).

5.3.1.2 Evolution temporelle

Les graphes ci-après permettent de visualiser l'évolution des concentrations en PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ dans la rame de tramway pour chacune des journées de mesures.

Figure 7 : Evolution des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 dans la rame de tramway pour la journée du 22/11/2021 entre 16h01 et 17h11

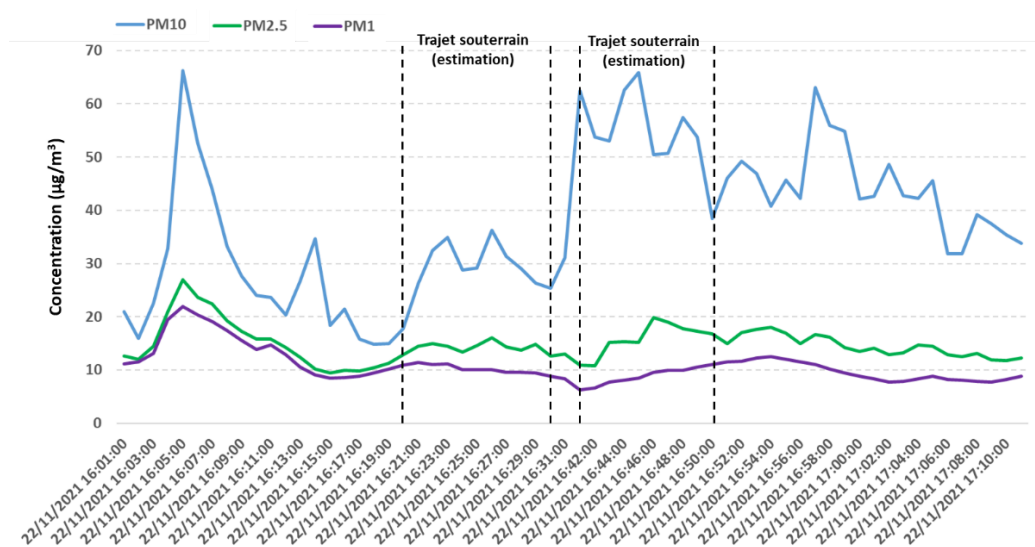


Figure 8 : Evolution des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 dans la rame de tramway pour la journée du 23/11/2021 entre 16h01 et 17h09

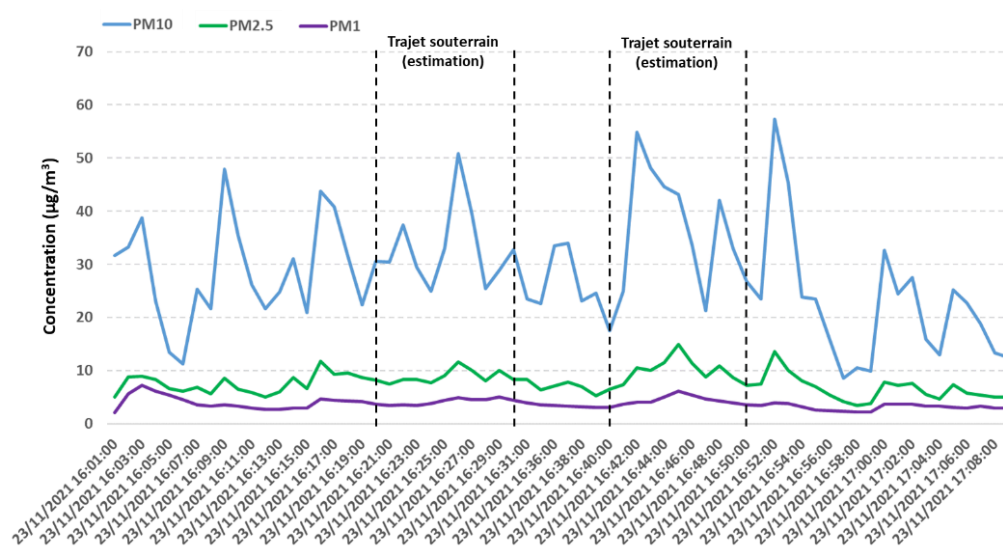
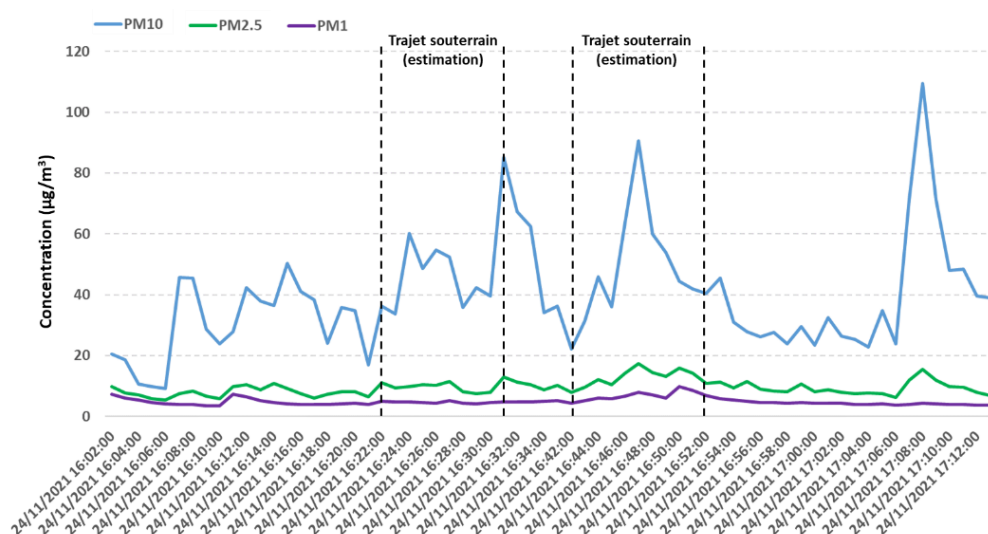


Figure 9 : Evolution des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 dans la rame de tramway pour la journée du 24/11/2021 entre 16h02 et 17h13



Concernant les concentrations en PM10, il apparaît des effets de pic réguliers. Ces variations régulières des concentrations pourraient avoir pour origine l'ouverture et la fermeture des portes lors des entrées/sorties des passagers dans la rame de tramway.

Le constat n'est pas retrouvé pour les concentrations en PM2.5 et PM1 qui apparaissent assez stables.

A titre indicatif, sur les différentes périodes de mesures, les périodes estimées de passage de la rame les parties souterraines du réseau ne montrent pas de niveaux systématiquement significativement supérieurs. Les concentrations les plus élevées sont observées lorsque la rame se trouve hors de la partie souterraine.

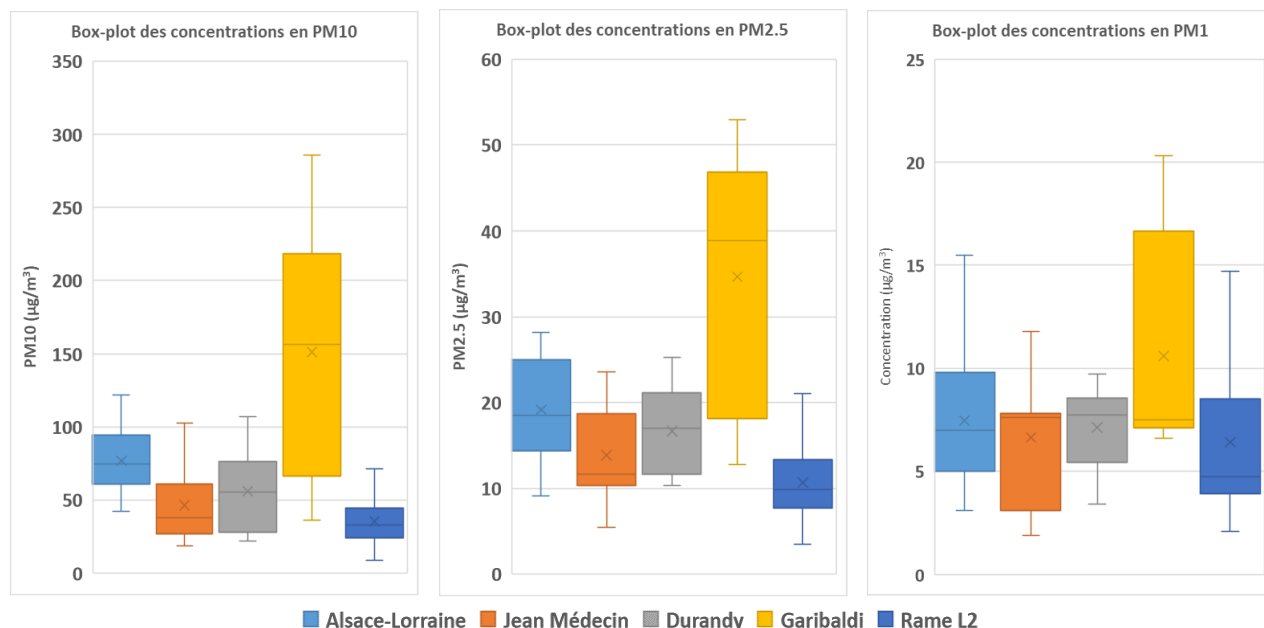
Les appareils de mesure par comptage optiques ne prennent pas en compte la différence de densité moyenne des particules qui peut s'avérer différente dans les enceintes ferroviaires souterraines qu'en air ambiant. Ainsi, les phases de transitions entre l'air ambiant et l'air intérieur peuvent ne pas être mises en valeur en raison de cette différence de densité des particules non prises en compte par cet appareillage.

L'évolution des concentrations dans les rames ne montrent pas différences significatives dans les zones souterraines et extérieures. Ceci peut être en lien avec les limites de l'appareillage dans la prise en compte de la densité différentes des particules entre les 2 environnements.

5.3.1.3 Comparaison avec les mesures réalisées sur les quais

La comparaison des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 dans les rames par rapport aux quais (dont les mesures ont toutes été effectuée en périodes de pointe) est présenté ci-après :

Figure 10 : Box plot des concentrations en particules pour les quatre stations souterraines



► PM10

Les concentrations moyennes en PM10 dans les rames sont moins importantes que celles observées sur les quais des stations de tramway échantillonnées.

Ces différences peuvent être attribuées :

- à la filtration de l'air entrant dans les rames,
- à l'effet piston que génère le déplacement du tramway dans le tunnel, qui crée des mouvements d'air qui transportent les particules et impactent principalement les quais des stations,
- aux zones extérieures où les rames évoluent, ce qui a tendance à diluer les niveaux en PM10.

► PM2.5

Le constat est similaire pour les PM2.5, avec des concentrations moyennes dans les rames inférieures à celles observées en période de pointe sur les quais des stations de tramway échantillonnées.

Dans la rame, la proportion moyenne de PM2.5 dans les PM10 est de l'ordre de 30 % en moyenne (entre 24 et 39 % selon les journées considérées).

► PM1

Les concentrations moyennes en PM1 dans la rame de tramway sont comparables avec celles mesurées sur les quais des stations de tramway échantillonnées, sauf station Garibaldi.

Les concentrations en PM10 et en PM2.5 dans la rame sont significativement inférieures à celles sur les quais.
La proportion de PM2.5 dans les PM10 est comparable sur les quais et à l'intérieur des rames de la ligne 2.

5.3.2 Paramètres de confort

5.3.2.1 Concentrations moyennes et maximales

► CO₂

Dans le matériel roulant léger des enceintes ferroviaires souterraines, il n'existe pas de valeur de référence de CO₂ spécifique.

A titre indicatif, il existe un règlement pour le matériel roulant destiné au transport de passagers qui n'est pas applicable au matériel roulant léger (type métro ou tram), qui impose que le système d'aération doit permettre de ne pas dépasser 5 000 ppm de CO₂ dans toutes les conditions d'exploitation⁸.

De manière complémentaire, la plupart des règlements sanitaires départementaux préconisent de ne pas dépasser le seuil de 1 300 ppm en CO₂ (1000 ppm avec une tolérance à 1300 ppm pour les locaux non-fumeurs) dans les bâtiments tertiaires.

Dans le contexte de pandémie liée à la covid 19, le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a émis un avis en avril 2021 concernant les niveaux de confinement admissibles dans les établissements recevant du public. Ce dernier préconise de ne pas dépasser le seuil de 800 ppm dans les situations pour lesquelles les personnes présentes portent toutes un masque, ce qui est le cas dans le tramway.

Enfin, plus récemment, le HSCP a publié un avis sur les valeurs recommandées dans les établissements recevant du public⁹ :

- une valeur repère d'aide à la gestion en air intérieur pour une concentration en CO₂ de 800 ppm comme objectif d'un renouvellement de l'air satisfaisant,
- une valeur d'action rapide pour une concentration de 1 500 ppm, témoignant d'un confinement de l'air non acceptable au regard des éléments de la littérature scientifique et nécessitant des actions correctives.

Les niveaux en CO₂ dans les rames des tramways lors des heures de pointe des jours ouvrés montrent des concentrations moyennes de l'ordre de 1000 ppm dans la rame, avec des pics au pas de temps minute atteignant près de 1500 µg/m³.

A titre de comparaison, les concentrations en CO₂ dans ces périodes de pointe sont inférieures à ce qui est imposé pour le matériel roulant destiné au transport de passagers (non applicable aux tramways), sont ponctuellement supérieures aux concentrations à ne pas dépasser dans le cadre des règlements sanitaires départementaux et restent systématiquement supérieures à la valeur repère recommandée par le HCSP dans les établissements recevant du public.

Tableau 10 : Paramètres de confort mesurés dans la rame de tramway

Polluant	Valeur	22/11/2021 16h01 – 17h11	23/11/2021 16h01 – 17h09	25/11/2021 16h02 – 17h13
CO ₂ (ppm)	Moyenne	993	1041	937
	Minimum (1 min.)	454	485	452
	Maximum (1 min.)	1416	1494	1481

► Températures et humidité relative

Les mesures de température et d'humidité relative ne présente pas de particularité.

Polluant	Valeur	22/11/2021 16h01 – 17h11	23/11/2021 16h01 – 17h09	25/11/2021 16h02 – 17h13
Humidité relative (%)	Moyenne	54	50	46
	Minimum (1 min.)	49	43	41

⁸ Règlement (UE) n° 1302/2014 - Règlement de la Commission du 18 novembre 2014 - STI « Matériel roulant - Locomotives et matériel roulant destiné au transport de passagers » : <https://securite-ferroviaire.fr/reglementations/reglement-de-la-commission-du-18-novembre-2014-sti-materiel-roulant-locomotives-et>

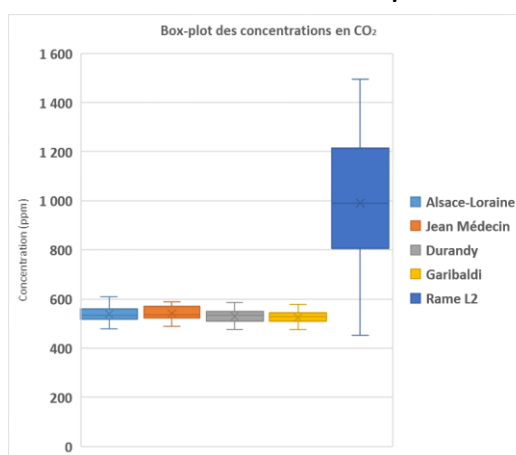
⁹ Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP) – HSCP – 21 janvier 2022

	Maximum (1 min.)	60	57	54
Température (°C)	Moyenne	23	22	22
	Minimum (1 min.)	20	22	21
	Maximum (1 min.)	25	23	22

5.3.2.2 Comparaison avec les mesures réalisées sur les quais

Les niveaux en CO₂ dans les rames des tramways lors des heures de pointe des jours ouvrés montrent des **concentrations nettement supérieures à celles rencontrées sur les quais**.

Figure 11 : Box-plot des concentrations en CO₂ dans la rame en comparaison des quatre stations échantillonnées



Les graphes détaillés par journée sont disponibles en ANNEXE 2.

Les concentrations moyennes de CO₂ dans les rames lors des périodes de pointe présentent des niveaux de confinement significativement supérieurs à ceux des quais.

Dans le matériel roulant léger des enceintes ferroviaires souterraines, il n'existe pas de valeur de référence de CO₂ spécifique. A titre de comparaison, les concentrations en CO₂ des périodes de pointe sont inférieures à ce qui est imposé pour le matériel roulant destiné au transport de passagers (non applicable aux tramways), sont ponctuellement supérieures aux concentrations à ne pas dépasser dans le cadre des règlements sanitaires départementaux et restent systématiquement supérieures à la valeur repère recommandée par le HCSP dans les établissements recevant du public.

6. Conclusions

Les tramways sont des transports qui limitent les émissions polluantes et de gaz à effet de serre en air ambiant, en raison de leur fonctionnement électrique. Néanmoins, les stations souterraines qu'ils traversent sont des environnements clos dans lesquels sont présents les polluants issus du déplacement du matériel roulant, des occupants et de l'air extérieur.

Cette première étude, menée dans les enceintes souterraines de la ligne 2 du tramway niçois, consiste à mesurer les concentrations en particules fines ainsi que le confinement dans les rames et sur les quais des quatre stations souterraines de la ligne 2.

Les mesures sur les quais souterrains ont pour objectif d'identifier les deux stations avec les niveaux ponctuels les plus élevés à retenir, avec la station la plus fréquentée, pour une éventuelle campagne de mesure plus longue avec des appareils de mesure de référence. Les mesures dans les rames consistent à évaluer l'exposition des utilisateurs le long du trajet du tram comportant des stations souterraines.

► Stations à retenir pour une campagne de mesure de référence

Suite à cette campagne de hiérarchisation des stations, selon le guide de recommandations de l'INERIS, les stations souterraines à retenir pour une éventuelle campagne des mesures de référence à permis d'identifier les stations suivantes :

- Station Jean Médecin : fréquentation la plus importante
- Station Garibaldi/Le Château : Concentrations ponctuelles les plus élevées en particules fines.
- Station Alsace-Lorraine : Seconde station avec les concentrations ponctuelles en particules fines les plus élevées

► Dans la rame, des concentrations en PM10 et en PM2.5 inférieures à celles mesurées sur les quais

Les concentrations en PM10 dans la rame sont significativement inférieures à celles mesurées sur les quais des différentes stations souterraines. Le constat est similaire pour les PM2.5. Quant aux PM1, les concentrations obtenues dans la rame et sur les quais sont comparables.

► Un confinement faible sur les quais, mais plus marqué dans les rames

Il n'y a pas de valeurs de référence en CO₂ spécifique aux enceintes ferroviaires souterraines.

Les concentrations en CO₂ sur les quais sont faibles (inférieures à 800 ppm, seuil recommandé par le Haut Conseil de Santé Publique) pour les différentes périodes de mesure et ne montre pas de problématique de confinement.

Les concentrations en CO₂ dans les rames dans ces périodes de pointe sont inférieures à ce qui est imposé pour le matériel roulant destiné au transport de passagers (non applicable aux tramways). Elles sont ponctuellement supérieures aux concentrations à ne pas dépasser dans le cadre des règlements sanitaires départementaux et restent systématiquement supérieures à la valeur repère recommandée par le HCSP dans les établissements recevant du public.

GLOSSAIRE

Définitions

Lignes directrices OMS : Seuils de concentration définis par l'OMS et basés sur un examen des données scientifiques accumulées. Elles visent à offrir des indications sur la façon de réduire les effets de la pollution de l'air sur la santé. Elles constituent des cibles à atteindre qui confère une protection suffisante en termes de santé publique.

Maximum journalier de la moyenne sur huit heures : Il est sélectionné après examen des moyennes glissantes sur huit heures, calculées à partir des données horaires et actualisées toutes les heures. Chaque moyenne ainsi calculée sur huit heures est attribuée au jour où elle s'achève ; autrement dit, la première période considérée pour le calcul sur un jour donné sera la période comprise entre 17 h la veille et 1 h le jour même ; la dernière période considérée pour un jour donné sera la période comprise entre 16 h et minuit le même jour.

Pollution de fond et niveaux moyens : La pollution de fond correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps relativement longues. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur une année (pour l'ozone, on parle de niveaux moyens exprimés généralement par des moyennes calculées sur huit heures). Il s'agit de niveaux de pollution auxquels la population est exposée le plus longtemps et auxquels il est attribué l'impact sanitaire le plus important.

Pollution de pointe : La pollution de pointe correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps courtes. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur la journée ou l'heure.

Procédures préfectorales : Mesures et actions de recommandations et de réduction des émissions par niveau réglementaire et par grand secteur d'activité.

Seuil d'alerte à la population : Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou la dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Seuil d'information-recommandations à la population : Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population, rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates.

Objectif de qualité : Un niveau de concentration à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement.

Valeur cible : Un niveau de concentration fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

Valeur limite : Un niveau de concentration fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

Couche limite : Couche atmosphérique en contact direct avec la surface terrestre, dans laquelle se produisent des modifications d'un point de vue dynamique et thermique. Son épaisseur varie d'une centaine de mètres à quelques kilomètres selon les caractéristiques du sol (rugosité, relief...), la saison (humidité, flux de chaleur, température).

Particules d'origine secondaires : Les particules secondaires résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NOx et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH₃). Les particules secondaires sont essentiellement des particules fines (<2.5 µm).

AOT 40 : Égal à la somme des différences entre les concentrations horaires d'ozone supérieures à 80 µg/m³ (mesurés quotidiennement entre 8 h et 20 h, heure d'Europe Centrale) et la valeur 80 µg/m³ pour la période du 1^{er} mai au 31 juillet de l'année N. La valeur cible de protection de la végétation est calculée à partir de la moyenne sur 5 ans de l'AOT40. Elle s'applique en dehors des zones urbanisées, sur les Parcs Nationaux, sur les Parcs Naturels Régionaux, sur les réserves Naturelles Nationales et sur les zones arrêtées de Protection de Biotopie.

Percentile 99,8 (P 99,8) : Valeur respectée par 99,8 % des données de la série statistique considérée (ou dépassée par 0,2 % des données). Durant l'année, le percentile 99,8 représente dix-huit heures.

Sigles

AASQA : Association Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ANTS : Association Nationale des Techniques Sanitaires

ARS : Agence Régionale de Santé

CSA : Carte Stratégique Air

CERC : Cellule Économique Régionale du BTP PACA

DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale

EQAIR : Réseau Expert Qualité de l'Air intérieur en région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

IARC : International Agency for Research on Cancer

ISA : Indice Synthétique Air

LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORP PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR : Observatoire des résidus de Pesticides en région PROVENCE-ALPES-CÔTE-D'AZUR

PCAET : Plan climat air énergie territorial

PDU : Plan de Déplacements Urbains

PLU : Plan local d'Urbanisme

PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

PRSA : Plan Régional de Surveillance de la qualité de l'Air

SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale

ZAS : Zone Administrative de Surveillance

Unité de mesures

mg/m³ : milligramme par mètre cube d'air
(1 mg = 10⁻³ g = 0,001 g)

µg/m³ : microgramme par mètre cube d'air
(1 µg = 10⁻⁶ g = 0,000001 g)

ng/m³ : nanogramme par mètre cube d'air
(1 ng = 10⁻⁹ g = 0,000000001 g)

TU : Temps Universel

Polluants

As : Arsenic

B(a)P : Benzo(a)Pyrène

BTEX : Benzène - Toluène - Éthylbenzène - Xylènes

C₆H₆ : Benzène

Cd : Cadmium

CO : Monoxyde de carbone

CO₂ : Dioxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

ML : Métaux lourds (Ni, Cd, Pb, As)

Ni : Nickel

NO / NO₂ : Monoxyde d'azote / Dioxyde d'azote

NO_x : Oxydes d'azote

O₃ : Ozone

Pb : Plomb

PM non volatile : Fraction des particules en suspension présente dans l'air ambiant qui ne s'évapore pas à 50°C.

PM volatile : Fraction des particules en suspension qui s'évaporent entre 30°C et 50°C. Cette fraction des particules est mesurée depuis 2007.

PM₁ : Particules d'un diamètre < 1 µm

PM₁₀ : Particules d'un diamètre < 10 µm

PM_{2.5} : Particules d'un diamètre < 2,5 µm

SO₂ : Dioxyde de soufre

Classification des sites de mesure

Cette classification a fait l'objet d'une mise à jour au niveau national en 2015. Les stations de mesures sont désormais classées selon 2 paramètres : leur environnement d'implantation et l'influence des sources d'émission.

Environnement d'implantation

- **Implantation urbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine bâtie en continu, c'est-à-dire une zone urbaine dans laquelle les fronts de rue sont complètement (ou très majoritairement) constitués de constructions d'au minimum deux étages
- **Implantation périurbaine** : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine majoritairement bâtie, constituée d'un tissu continu de constructions isolées de toutes tailles, avec une densité de construction moindre
- **Implantation rurale** : Elle est principalement destinée aux stations participant à la surveillance de l'exposition de la population et des écosystèmes à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

Influence des sources

- **Influence industrielle** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'une source (ou d'une zone) industrielle. Les émissions de cette source ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence trafic** : Le point de prélèvement est situé à proximité d'un axe routier majeur. Les émissions du trafic ont une influence significative sur les concentrations.
- **Influence de fond** : Le point de prélèvement n'est soumis à aucun des deux types d'influence décrits ci-après. L'implantation est telle que les niveaux de pollution sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population (ou de la végétation et des écosystèmes) en général au sein de la zone surveillée. Généralement, la station est représentative d'une vaste zone d'au moins plusieurs km².

ANNEXE 1 Statistiques des mesures des paramètres de confort sur les quais des 4 stations de l'étude

Les résultats de mesure des paramètres de confort sont les suivants :

► Station Alsace-Lorraine

Tableau 11 : Paramètres de confort à la station Alsace-Lorraine

Polluant	Valeur	22/11/2021 07h38 – 07h54	23/11/2021 08h35 – 08h45	25/11/2021 08h34 – 08h50
CO ₂ (ppm)	Moyenne	527	531	557
	Minimum (1 min.)	480	487	512
	Maximum (1 min.)	563	592	610
Humidité relative (%)	Moyenne	59	44	54
	Minimum (1 min.)	57	42	52
	Maximum (1 min.)	61	46	57
Température (°C)	Moyenne	18	22	19
	Minimum (1 min.)	17	22	19
	Maximum (1 min.)	19	22	20

► Station Jean Médecin

Tableau 12 : Paramètres de confort à la station Jean Médecin

Polluant	Valeur	22/11/2021 07h59 – 08h15	23/11/2021 08h13 – 08h29	25/11/2021 08h13 – 08h28
CO ₂ (ppm)	Moyenne	534	572	517
	Minimum (1 min.)	510	536	488
	Maximum (1 min.)	564	588	547
Humidité relative (%)	Moyenne	56	48	52
	Minimum (1 min.)	56	46	50
	Maximum (1 min.)	60	55	56
Température (°C)	Moyenne	20	21	19
	Minimum (1 min.)	19	21	19
	Maximum (1 min.)	20	22	19

► **Station Durandy**

Tableau 13 : Paramètres de confort à la station Durandy

Polluant	Valeur	22/11/2021 08h20 – 08h36	23/11/2021 07h51 – 08h06	25/11/2021 07h51 – 08h06
CO ₂ (ppm)	Moyenne	551	540	497
	Minimum (1 min.)	518	520	477
	Maximum (1 min.)	586	583	542
Humidité relative (%)	Moyenne	56	53	57
	Minimum (1 min.)	55	52	56
	Maximum (1 min.)	57	56	61
Température (°C)	Moyenne	20	20	19
	Minimum (1 min.)	20	19	19
	Maximum (1 min.)	21	20	19

► **Station Garibaldi / Le Château**

Tableau 14 : Paramètres de confort à la station Garibaldi / Le Château

Polluant	Valeur	22/11/2021 08h42 – 08h57	23/11/2021 07h31 – 07h46	25/11/2021 07h31 – 07h46
CO ₂ (ppm)	Moyenne	542	533	495
	Minimum (1 min.)	517	513	476
	Maximum (1 min.)	579	564	530
Humidité relative (%)	Moyenne	55	58	57
	Minimum (1 min.)	54	57	56
	Maximum (1 min.)	58	61	61
Température (°C)	Moyenne	21	18	17
	Minimum (1 min.)	21	17	16
	Maximum (1 min.)	21	19	18

ANNEXE 2 Evolution des concentrations en CO₂ à l'intérieur des rames

Les graphes ci-dessous présentent l'évolution des concentrations en CO₂ mesurées à l'intérieur d'une rame de tramway lors d'un aller-retour au départ du CADAM pour les journées du 22, 23 et 24 novembre 2021.

Figure 12 : Evolution des concentrations en CO₂ dans la rame de tramway pour la journée du 22/11/2021

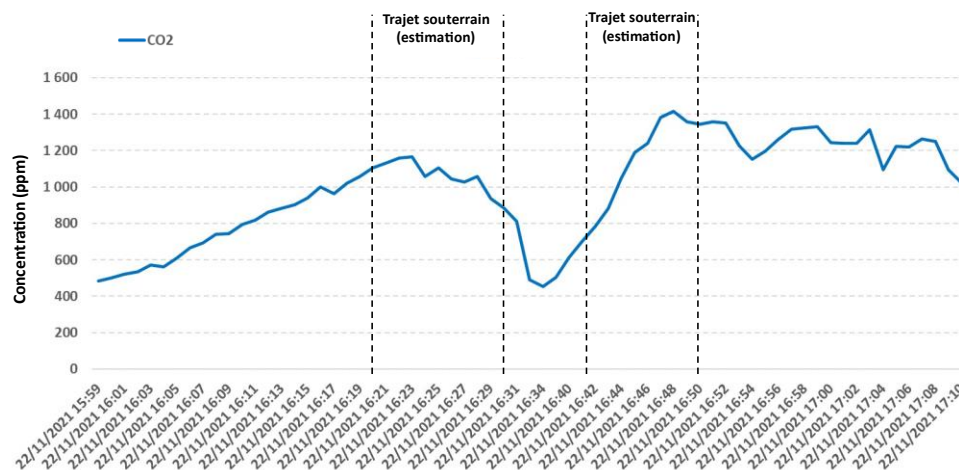


Figure 13 : Evolution des concentrations en CO₂ dans la rame de tramway pour la journée du 23/11/2021

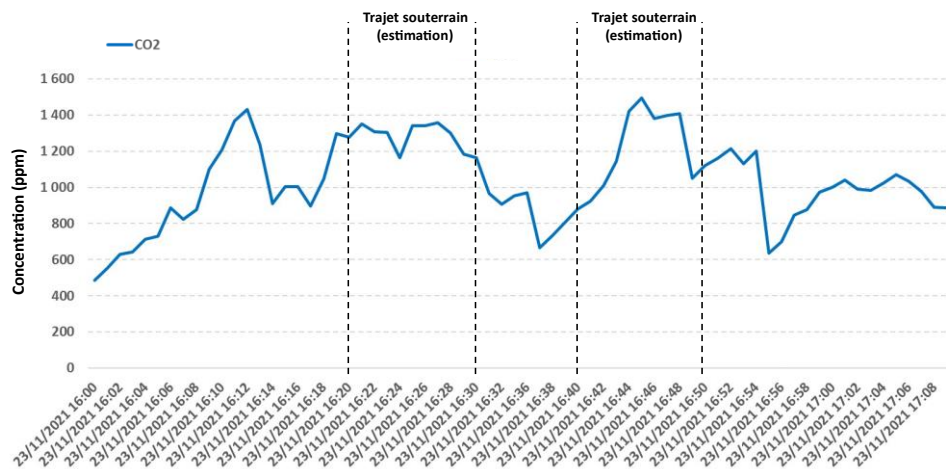
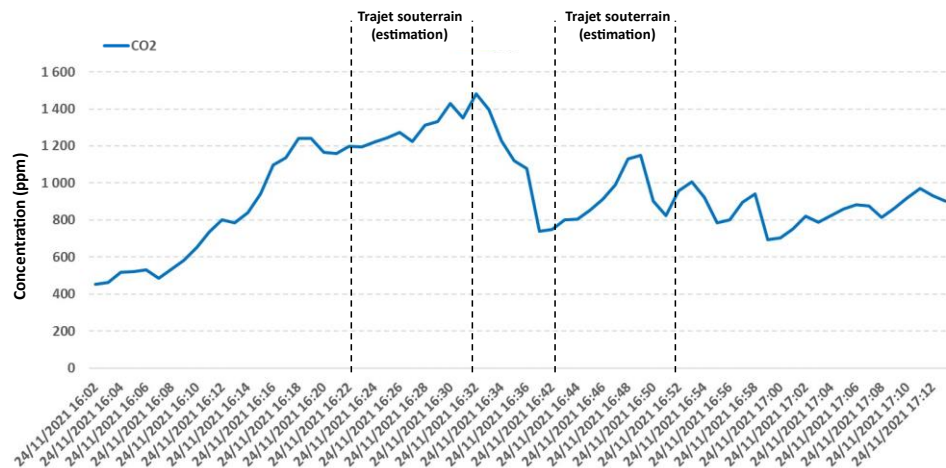


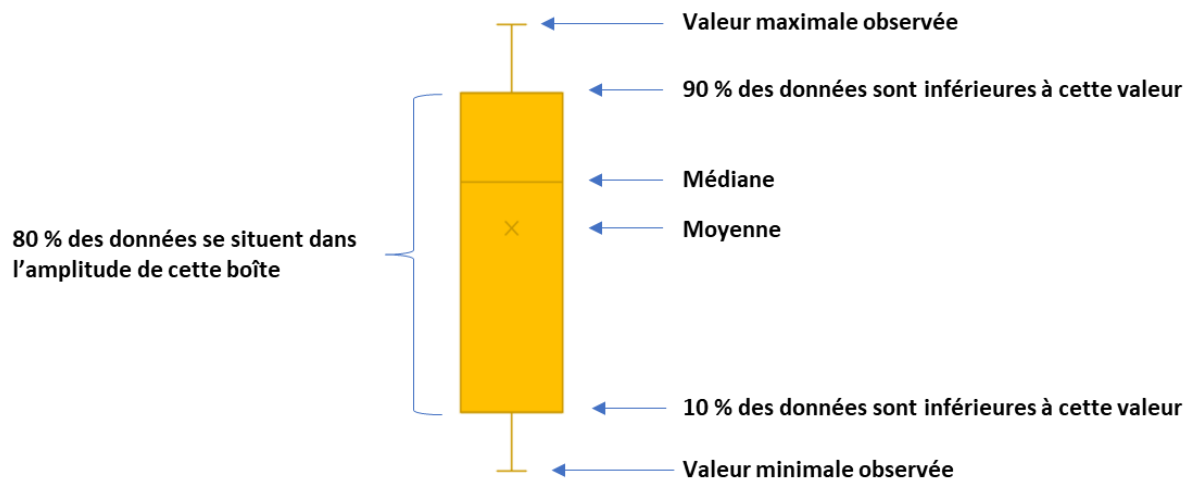
Figure 14 : Evolution des concentrations en CO₂ dans la rame de tramway pour la journée du 24/11/2021



ANNEXE 3 Aide à la lecture des diagrammes « boxplot »

Le diagramme en boîte, ou « boxplot » en anglais, est la représentation statistique d'une série de données d'observation. Cet outil graphique permet la représentation des informations de dispersion de la série de données étudiée : moyenne, médiane, valeurs extrêmes, premier et troisième quartile.

Figure 15 : Schéma explicatif du diagramme en boîte



ANNEXE 4 Valeurs de références

Dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS), il n'existe pas de valeurs de concentrations de référence contraignantes pour les polluants rencontrés.

Seule une valeur guide existe dans les EFS pour les PM₁₀ (Circulaire DGS/SD n°2003-314 du 30 juin 2003)¹⁰.

Cette valeur, (C_{sout}) est calculée en fonction de la concentration extérieure annuelle locale (C_{ext}) et de la valeur limite de la directive air ambiant¹¹ ($C_{limite} = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) selon la formule suivante :

$$C_{sout} < \frac{C_{limite} \times 24 - [P90_{ext} \times (24 - T_{sout})]}{T_{sout}}$$

où $P90_{ext}$ est le percentile 90 des concentrations journalières de PM₁₀ mesurées en air extérieur sur une année C_{ext} (c'est-à-dire que 90 % des valeurs observées sont inférieures à cette valeur).

A la date de rédaction de ce rapport, l'année 2021 n'est pas achevée, le calcul de la valeur guide C_{sout} est réalisé sur l'année 2020.

Sur la base de la concentration annuelle C_{ext} de la station de fond urbain de la ville de Nice (station Arson) en 2021, la valeur du percentile 90 en air extérieur est de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les concentrations C_{sout} à ne pas dépasser pour les différents scénarii d'exposition sont les suivantes :

Tableau 15 : Calcul de la valeur guide C_{sout} en fonction des différents scénarii d'exposition des usagers

Temps d'exposition des usagers dans l'EFS	Concentration C_{sout} à ne pas dépasser ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en 2021
15 min	2 254
30 min	1 140
1h	584
1h30	398
2h	305

En juin 2022, l'ANSES formule de nouvelles recommandations et de nouvelles valeurs guide dans les EFS

Dans son rapport d'expertise de mai 2022, l'ANSES recommande en premier lieu de poursuivre les efforts de réduction des concentrations de particules en suspension dans l'air émises au sein des EFS, en visant des niveaux les plus bas possible. Le corpus de connaissances est trop limité pour pouvoir tirer des conclusions fermes sur d'éventuels effets sanitaires de l'exposition des usagers à la pollution de l'air des EFS, mais il suggère la possibilité d'effets sur la fonction cardiaque autonome, l'inflammation et le stress oxydant systémiques, et l'inflammation des voies respiratoires.

L'ANSES recommande a minima :

- de ne pas dépasser les concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} dans l'air des EFS calculées à partir des valeurs guides OMS de qualité de l'air ambiant (C_{sout_OMS}),
- et à plus forte raison de ne pas dépasser les concentrations en PM₁₀ dans l'air des EFS calculées à partir de la valeur limite journalière de la directive européenne 2008/50/CE pour les PM₁₀ de l'air ambiant (C_{sout_Lim}),

Ce qui change dans ces nouvelles valeurs guides :

Le calcul des valeurs guides haute (C_{sout_Lim}) et basse (C_{sout_OMS}) est basé sur celui de la valeur guide (C_{sout}) élaborée par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) en 2001 mais les données d'entrée diffèrent.

Auparavant, le calcul était fonction de la concentration moyenne annuelle locale en PM₁₀ et de la valeur limite réglementaire. Désormais, c'est la moyenne des concentrations annuelles en PM₁₀ des 7 agglomérations qui possèdent une EFS qui est prise en compte et la valeur limite réglementaire pour le C_{sout_Lim} ou la valeur guide OMS pour le C_{sout_OMS} .

¹⁰ Annexe II de la Circulaire DGS/SD 7 B n° 2003-314 du 30 juin 2003 relative à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines

¹¹ Directive 2008/50/CE

Les concentrations dans l'air en EFS recommandées *a minima* sont les suivantes :

Tableau 16 : concentrations dans l'air en EFS recommandées *a minima*¹²

Polluant	Durée cumulée de fréquentation de l'EFS sur une journée	Concentration calculée à partir de la valeur limite journalière de la directive européenne 2008/50/CE * (C _{sout_Lim}) (µg.m ⁻³)	Concentration calculée à partir de la valeur guide journalière de l'OMS * (C _{sout_OMS}) (µg.m ⁻³)
PM₁₀	2h/j	260	80
	1h30/j	330	100
	1h/j	480	140
	30min/j	940	250
PM_{2,5}	2h/j	s.o.	50
	1h30/j	s.o.	60
	1h/j	s.o.	80
	30min/j	s.o.	140
*Valeurs calculées en assimilant les particules d'EFS aux particules de l'air ambiant			

s.o. : sans objet

¹² Annexe II de la Circulaire DGS/SD 7 B n° 2003-314 du 30 juin 2003 relative à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines

ANNEXE 5 Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS

Sources de pollution

Les polluants atmosphériques ont diverses origines.

Polluants	Sources principales
NO_x Oxydes d'azote	Les sources principales sont les véhicules et les installations de combustion.

Effets sur la santé

Les polluants atmosphériques ont un impact sur la santé variable en fonction de leur concentration dans l'air, de la dose inhalée et de la sensibilité des individus. Ils peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement.

Polluants	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
NO_x Oxydes d'azote	<ul style="list-style-type: none">- irritation des voies respiratoires- dans certains cas, altération des fonctions pulmonaires	<ul style="list-style-type: none">- pluies acides- précurseur de la formation d'ozone- effet de serredéséquilibre les sols sur le plan nutritif

Réglementation

En matière de surveillance de la qualité de l'air, la réglementation se base essentiellement sur :

- La directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe,
- La directive 2004/107/CE concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant,
- L'article R221-1 du Code de l'Environnement.

Les valeurs réglementaires sont exprimées en µg/m³. L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 K et 1013 hPa. La période annuelle de référence est l'année civile. Un seuil est considéré dépassé lorsque la concentration observée est strictement supérieure à la valeur du seuil.

Polluants	Type de réglementation	Valeurs réglementaires (µg/m ³)	Durée d'exposition
NO₂ Dioxyde d'azote	Seuil d'information- recommandations	200	Heure
	Seuil d'alerte	400	Heure
	Valeurs limites	200	Heure (maximum 18h / an)
		40	Année

Recommandations de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Les valeurs recommandées par l'OMS (2005) sont fondées sur des études épidémiologiques et toxicologiques publiées en Europe et en Amérique du Nord. Elles ont pour principal objectif d'être des références pour l'élaboration des réglementations internationales.

Il s'agit de niveaux d'exposition (concentration d'un polluant dans l'air ambiant pendant une durée déterminée) auxquels ou en dessous desquels il n'y a pas d'effet sur la santé. Ceci ne signifie pas qu'il y ait un effet dès que les niveaux sont dépassés mais que la probabilité qu'un effet apparaisse est augmentée.

Polluants	Effets considérés sur la santé	Valeur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) recommandée par l'OMS	Durée moyenne d'exposition
NO₂	- faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)	200	1 heure
Dioxyde d'azote		40	1 an

AtmoSud, votre expert de l'air en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



Un large champ d'intervention : air/climat/énergie/santé

La loi sur l'air reconnaît le droit à chaque citoyen de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Dans ce cadre, AtmoSud évalue l'exposition des populations à la pollution atmosphérique et identifie les zones où il faut agir. Pour s'adapter aux nouveaux enjeux et à la demande des acteurs, son champ d'intervention s'étend à l'ensemble des thématiques de l'atmosphère : polluants, gaz à effet de serre, nuisances, pesticides, pollens... Par ses moyens techniques et d'expertise, AtmoSud est au service des décideurs et des citoyens.

Des missions d'intérêt général

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30/12/1996 confie la surveillance de la qualité de l'air à des associations agréées :

- Connaître l'exposition de la population aux polluants atmosphériques et contribuer aux connaissances sur le changement climatique
- Sensibiliser la population à la qualité de l'air et aux comportements qui permettent de la préserver
- Accompagner les acteurs des territoires pour améliorer la qualité de l'air dans une approche intégrée air/climat/énergie/santé
- Prévoir la qualité de l'air au quotidien et sur le long terme
- Prévenir la population des épisodes de pollution
- Contribuer à l'amélioration des connaissances

Recevez nos bulletins

Abonnez-vous à l'actualité de la qualité de l'air : <https://www.atmosud.org/abonnements>

Conditions de diffusion

AtmoSud met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ces travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur notre site Internet.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'AtmoSud. Toute utilisation de données ou de documents (texte, tableau, graphe, carte...) doit obligatoirement faire référence à AtmoSud. Ce dernier n'est en aucun cas responsable des interprétations et publications diverses issues de ces travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.



Siège social : 146, rue Paradis « Le Noilly Paradis » - 13294 Marseille cedex 06
Établissement de Martigues : route de la Vierge 13500 Martigues
Établissement de Nice : 37 bis, avenue Henri Matisse - 06200 Nice
Tél. 04 91 32 38 00 - Télécopie 04 91 32 38 29 - contact.air@atmosud.org



Suivez-nous sur

