

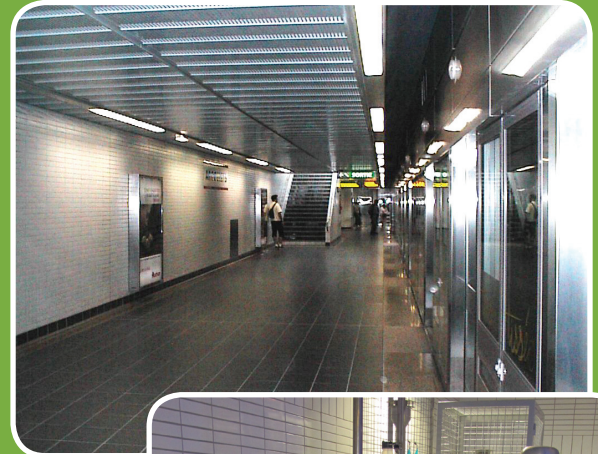


ORAMIP

OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES

Qualité de l'air Rapport d'étude

Mesures de qualité de l'air dans le métro toulousain en 2012



ORAMIP
19 avenue Clément Ader
31770 COLOMIERS
Tél : 05 61 15 42 46
Fax : 05 61 15 49 03
contact@oramip.org

www.oramip.org



SOMMAIRE

Synthèse de la campagne de mesures	page 4
Résultats pour les particules inférieures à 10 microns	page 10
Résultats pour le Dioxyde d'azote	page 48
Résultats pour le Benzène	page 56
Résultats pour le Confinement	page 62
Annexes.....	page 66

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES 2012

L'Autorité Organisatrice des Transports de l'agglomération toulousaine TISSO-SMTC a été, en 2004, l'un des premiers gestionnaires des transports en commun en France à mettre en place un plan de surveillance de la qualité de l'air dans l'enceinte de son réseau métro. Ainsi depuis 2004, l'ORAMIP réalise en partenariat avec TISSEO-SMTC, des mesures d'évaluation de la qualité de l'air intérieur sur l'ensemble de l'infrastructure du réseau métro.

Ces sept années de mesures ont ainsi permis d'acquérir une base de données sur les niveaux de concentrations en particules de diamètre inférieur à 10 µm, en dioxyde d'azote et benzène rencontrés dans le métro toulousain.

Il est ainsi apparu que les concentrations en particules de diamètre inférieur à 10 µm relevées dans l'enceinte du métro dépassent ponctuellement la valeur guide applicable aux enceintes souterraines établi par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Pendant les périodes de fonctionnement du métro, les niveaux rencontrés sont supérieurs à ceux mesurés en air extérieur. La nuit, les niveaux diminuent et sont similaires à ceux mesurés à l'extérieur.

Les niveaux de dioxyde d'azote sont, quant à eux, du même ordre de grandeur que ceux mesurés dans l'air extérieur.

Enfin, les concentrations en benzène mesurées dans l'enceinte du métro sont du même ordre de grandeur ou légèrement supérieures à celles mesurées à l'extérieur.

Lors du Grenelle de l'environnement, le principe de surveillance de la qualité de l'air dans les lieux clos ouverts au public a été décidé, les écoles/crèches ainsi que les gares et métros ont été retenus comme lieux prioritaires à instrumenter. Ces deux types de sites sont bien particuliers tant en termes de polluants à surveiller qu'en termes d'occupation et de gestion, ce qui implique une surveillance adaptée.

Un protocole pour la surveillance dans les enceintes ferroviaires souterraines est ainsi en cours de rédaction par le Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air dans le but de mettre en place une stratégie de surveillance harmonisée au niveau national.

Ce protocole préconise notamment la mesure des particules PM_{2,5} en plus de celles des PM₁₀. Il recommande également la mesure du benzo(a)pyrène si cela s'avère nécessaire.

Suite à ces évolutions, les mesures de qualité de l'air réalisées dans l'enceinte de la ligne B du métro toulousain en 2012 ont pour objectifs :

- La poursuite du programme de surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain en ciblant certaines actions,
- L'amélioration des connaissances des sources de particules dans le métro toulousain par l'analyse de la composition des particules,
- L'étude de l'impact de la ventilation sur la charge particulaire mesurée,
- L'étude de l'impact du nettoyage complet d'une station de métro sur la charge particulaire mesurée,
- Une expertise sur les polluants émis par les différents produits (entretien / maintenance) utilisés dans le métro.

Dans le cadre de cette nouvelle campagne de mesures sur la Ligne B du métro, les mesures sont réalisées :

- sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli
- sur le quai de la station de métro Jean Jaurès
- dans les rames de métro.

Dans le cadre de cette nouvelle campagne de mesures sur la Ligne B du métro, les mesures sont réalisées :

- sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli
- sur le quai de la station de métro Jean Jaurès
- dans les rames de métro.

Des mesures de dioxyde d'azote (NO_2), de Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes (BTEX), de particules fines en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (PM_{10}) et inférieur à 2,5 microns ($\text{PM}_{2,5}$) et de dioxyde de carbone (CO_2) ont ainsi menées pendant une période de 15 jours en période hivernale

Pendant la période estivale, les niveaux de particules ont été mesurés avant, pendant et après le nettoyage de la station de métro Compans Caffarelli soit 4 semaines de mesures.



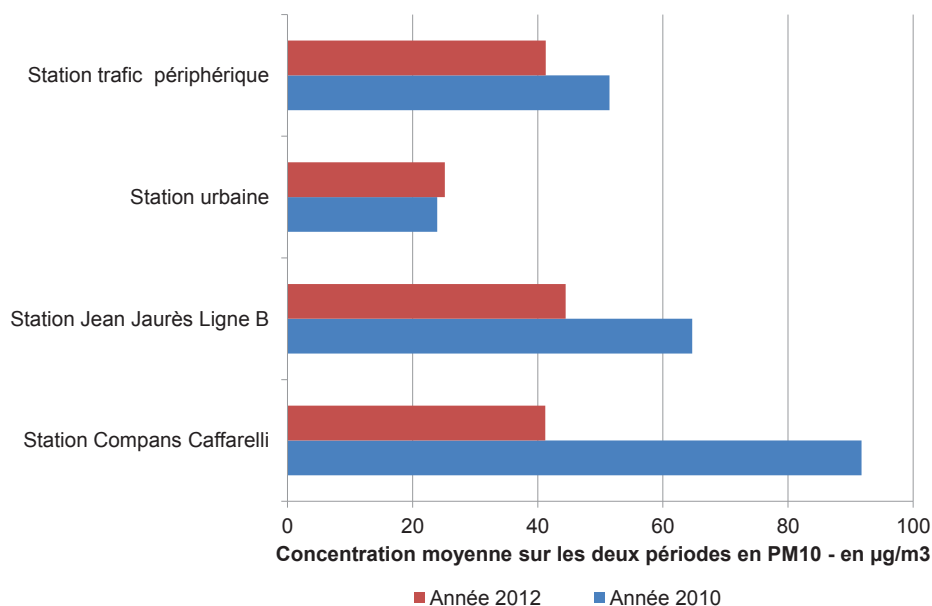
LES PARTICULES

LES PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR À 10 MICRONS (PM_{10}) ÉMISES PAR DIVERSES SOURCES

Les concentrations en PM_{10} mesurées dans les stations de métro et dans les rames sont plus élevées que celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.

Aux particules en provenance de l'extérieur et amenées dans le métro par la ventilation s'ajoutent celles, plus nombreuses, émises par l'activité du métro. Elles sont essentiellement produites par le roulement et le freinage des rames en circulation, ainsi que par la remise en suspension dans l'air des particules déjà présentes.

Cependant, les concentrations en PM_{10} sont, pour les deux périodes de mesures, en baisse par rapport à 2010. En moyenne sur les deux périodes, les niveaux de concentration rencontrés dans les deux stations de métro sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en proximité trafic en bordure du Périphérique.



PAS D'IMPACT DE LA VENTILATION HIVERNALE DE LA STATION DE MÉTRO SUR LES NIVEAUX DE PARTICULES

En période hivernale, la ventilation de la station fonctionne deux heures par jour, le matin de 5h20 à 6h20 et l'après-midi de 14h20 à 15h20. La mise en fonctionnement de la ventilation pendant ces deux plages horaires n'a pas engendré de diminution des niveaux de particules PM10 et PM2,5. En revanche, entre la saison froide et la saison chaude, les niveaux de particules PM10 et PM2,5 diminuent fortement, alors que la ventilation station fonctionne quasiment en continu. Les tunnels sont également équipés d'une ventilation. Il n'a pas été possible, dans le cadre de cette campagne de mesures, de déterminer la fréquence de fonctionnement de la ventilation tunnel et d'étudier son impact sur la charge particulaire en hiver et en été.

PAS D'IMPACT DU NETTOYAGE APPROFONDI DE LA STATION DE MÉTRO SUR LES NIVEAUX DE PARTICULES

La mesure des niveaux de concentration en PM10 avant et après le nettoyage approfondi de la station Compans Caffarelli n'ont pas montré de diminution significative des teneurs en PM10 sur le quai de la station. Le nettoyage approfondi n'impacte probablement pas les particules PM10 qui sont trop fines pour être éliminées par les techniques de nettoyage utilisées.

LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES LIÉE À L'ACTIVITÉ DU MÉTRO

En période hivernale, les profils chimiques moyens de la composition globale des particules dans le métro, ligne A et ligne B sont assez proches avec un fort impact de l'activité métro qui se traduit par :

- La présence très marquée des espèces métalliques avec une prédominance du fer. Ces éléments sont similaires à ceux retrouvés dans d'autres métros européens. Les oxydes de fer sont ainsi typiques de l'abrasion des rails conducteurs ainsi que des systèmes de freinage du métro.
- la matière organique et les espèces ioniques issues de l'air ambiant extérieur en proportion plus faible qu'en milieu extérieur.

En période estivale, le profil moyen de la station de métro Esquirol évolue peu contrairement à celui rencontré pour la station de métro Compans Caffarelli. Celui-ci est beaucoup plus impacté par les éléments chimiques en provenance de l'air extérieur. Le débit de ventilation des stations de métro ligne A sont du même ordre de grandeur que ceux de la ligne B. En revanche, les débits de ventilation dans les tunnels de la ligne A sont plus faibles que ceux de la ligne B.

PAS DE DÉPASSEMENT DE LA VALEUR GUIDE PRÉCONISÉE POUR LES ENVIRONNEMENTS CLOS

Suivant les recommandations du CSHPF, une valeur limite approximative à ne pas dépasser dans le métro a été estimée à 556 µg/m³ pour une heure d'exposition en 2012.

Les stations de métro Compans Caffarelli et Jean Jaurès – ligne B n'ont pas enregistré de concentrations horaires glissantes supérieures à la valeur guide pendant les deux périodes de mesures.

RESPECT DE LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE AUX AMBIANCES DE TRAVAIL

Dans les stations de métro Compans Caffarelli et Jean Jaurès, la concentration maximale sur 8 heures respectivement de 112 µg/m³ et de 98 µg/m³ est nettement inférieure à la Valeur Limite de Moyenne Exposition (VME) fixée pour les ambiances de travail (5000 µg/m³ sur 8 heures).

PROPORTION DE PARTICULES INFÉRIEURES À 2,5 µm VARIABLES SELON LA SAISON

Les concentrations en PM_{2,5} mesurées dans les stations de métro et dans les rames sont plus élevées que celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.

L'activité du métro est ainsi source de particules de diamètre inférieur à 2,5 µm.

En période hivernale, les concentrations en PM_{2,5} rencontrées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli et dans les rames de métro sont fortement corrélées aux concentrations en PM₁₀. La majorité des particules rencontrées dans le métro sont donc des particules fines.

En outre, on note qu'une forte proportion des PM₁₀ est constituée de PM_{2,5}. Elles représentent 74% des PM₁₀ mesurées sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli et 64% dans les rames de métro.

En été, du fait de la ventilation, ce taux passe à 50% sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli et à 44% dans les rames de métro.

LE DIOXYDE D'AZOTE

ORIGINE EXTÉRIEURE DU DIOXYDE D'AZOTE

Le dioxyde d'azote présent dans le métro provient du milieu extérieur. Émis par le trafic routier, il est introduit dans le métro toulousain par le biais de la ventilation. Il y a donc corrélation entre les concentrations en NO₂ mesurées dans le métro et celles mesurées dans l'air ambiant extérieur.

Les niveaux de concentrations rencontrés sont dus à plusieurs facteurs :

- La densité du trafic automobile dans l'environnement de la station de métro ; les teneurs maximales sont rencontrées sur les stations de métro situées dans le centre ville de Toulouse
- La position des prises d'air de ventilation par rapport aux voies de circulation,
- La ventilation des stations de métro visant à maintenir une température de confort qui ne soit pas trop élevée.

Dans le cadre de la convention pluriannuelle liant TISSEO-SMTC à l'ORAMIP, une campagne de mesures spécifique sera réalisée en 2014 sur la ligne B afin d'étudier les échanges de pollution entre l'intérieur et l'extérieur d'une station de métro.

RESPECT DE LA VALEUR GUIDE APPLICABLE EN AIR INTÉRIEUR

Le temps passé par un usager dans le métro (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B) est de 1h maximum par jour. C'est donc la valeur guide de 200 µg/m³ fixée sur une heure qui est utilisée.

Sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli : la concentration maximale horaire de 160 µg/m³ en moyenne glissante mesurée pendant la période estivale, est nettement inférieure à cette valeur guide.

De même, dans les rames de métro : la concentration maximale sur 45 minutes en NO₂ (63 µg/m³) est très inférieure à la valeur guide.

RESPECT DE LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE AUX AMBIANCES DE TRAVAIL

Le dioxyde d'azote étant issu de l'environnement extérieur, nous pouvons considérer que les teneurs maximales rencontrées dans les locaux techniques sont du même ordre de grandeur (voire inférieures) à celles rencontrées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli.

Sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli, la concentration maximale quart-horaire de $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurée, est nettement inférieure à la Valeur Limite d'Exposition (VLE) fixée pour les ambiances de travail ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 15 minutes).

Dans les rames de métro, la concentration maximale en NO_2 ($63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 45 minutes) est très inférieure à la VLE fixée.

LE BENZÈNE

LE BENZÈNE PRINCIPALEMENT ISSU DE L'AIR EXTÉRIEUR

Le benzène présent dans les stations de métro est en grande partie introduit dans le métro par la ventilation. Cependant, les concentrations mesurées à l'intérieur de stations de métro sont parfois légèrement supérieures à celles rencontrées à l'extérieur. Il y a donc dans l'enceinte du métro des sources internes de benzène.

Pour l'instant, l'hypothèse émise est la présence de benzène dans les produits d'entretien et de maintenance utilisés dans le métro. Ainsi, une étude est actuellement menée sur la composition des produits d'entretien utilisés dans l'enceinte du métro.

RESPECT DE LA VALEUR GUIDE APPLICABLE EN AIR INTÉRIEUR

En moyenne sur les deux périodes de mesures, pour les deux stations de métro étudiées, la concentration en benzène est supérieure à la valeur cible sur un an ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mais inférieures à la valeur repère de qualité de l'air fixée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposée par le Haut Conseil de Santé Publique.

RESPECT DE LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE AUX AMBIANCES DE TRAVAIL

Compte tenu des teneurs maximales en benzène rencontrées ($3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 45 minutes dans une rame de métro, $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 15 jours sur le quai de la station de métro Jean Jaurès), nous pouvons considérer que les teneurs maximales dans les locaux techniques auraient été nettement inférieures à la Valeur de Moyenne d'Exposition fixé par le code du travail ($3\ 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 heures).

LE CONFINEMENT

UN NIVEAU DE CONFINEMENT FAIBLE DANS LE MÉTRO

Durant ces quinze jours de mesures, les niveaux de CO_2 ont culminé à environ 800 ppm pour la station de métro Compans Caffarelli et à 1200 ppm pour la station de métro Jean Jaurès, ce qui est en dessous du seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs. Ces niveaux de dioxyde de carbone suggèrent un niveau de confinement faible dans les deux stations instrumentées. Le premier constat est donc que le système de ventilation dont sont équipées les stations de métro permet de maintenir le CO_2 à des niveaux satisfaisants.

Dans les rames de métro, les niveaux de CO_2 rencontrés ont généralement été plus élevés que sur les quais. La concentration maximale atteinte a été de 1430 ppm. Les niveaux de CO_2 dans les rames de métro peuvent donc dépasser le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs. Cependant, ces dépassements semblent très ponctuels, ils n'ont représenté que 10% du temps de mesure des deux campagnes.





PARTICULES INFÉRIEURES À 10 MICRONS

Les faits marquants de la campagne

- ➔ Respect des valeurs guides sur une heure.
- ➔ Les techniques du nettoyage approfondi n'ont pas permis la captation des particules de diamètre inférieur à 10 microns.
- ➔ Le fonctionnement de la ventilation station ne met en évidence aucun impact sur les niveaux de particules.
- ➔ La composition chimique des particules dans les stations de métro met en évidence des sources internes.
- ➔ Respect de la Valeur Limite de Moyenne Exposition fixée par les ambiances de travail.

LES PARTICULES INFÉRIEURES À 10 MICRONS : SOURCES, EFFETS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

L'air extérieur est un vecteur important de particules: poussières naturelles, pollens, moisissures, fumées, particules fines des gaz d'échappement automobiles. Ces particules peuvent pénétrer à l'intérieur des bâtiments, notamment par le système de ventilation. D'autres sources de particules sont présentes à l'intérieur en relation avec les activités des occupants : tabagisme, cuisson des aliments, fonctionnement des appareils de chauffage et de combustion (cheminée d'agrément), ménage (remise en suspension de la poussière de maison), bricolage, etc...

Dans les réseaux de transport souterrain, (métro par exemple), des émissions de particules liées au matériel roulant (usure des équipements), aux infrastructures et à la remise en suspension s'ajoutent aux particules issues de l'extérieur.

Ces particules restent plus ou moins longtemps en suspension selon leur taille avant de se déposer.

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 Composés Organiques Volatils (COV). On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10), à 2,5 microns (PM2,5) et à 1 micron (PM1).

EFFETS SUR LA SANTÉ

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

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines (PM2,5) 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 cancérogènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM10 et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès liés à des pathologies respiratoires et cardiovasculaires. Ces particules sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT

Les effets de salissures sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

PARTICULES INFÉRIEURES À 10 MICRONS (PM10) : RESPECT DES VALEURS GUIDES SUR UNE DEMI-HEURE ET UNE HEURE

En se basant sur l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, l'ORAMIP a recalculé les valeurs de référence préconisées pour le métro parisien afin de les adapter au métro toulousain à partir des concentrations en PM10 mesurées localement (Cf. Annexe 4). Il est à noter que les concentrations obtenues ont une représentativité limitée en termes d'exposition des personnes à la pollution atmosphérique, puisqu'elles ne tiennent compte ici que de deux types d'exposition : celle à l'air du métro et celle à l'air ambiant extérieur urbain.

Compte tenu du temps moyen passé par les usagers dans le métro, nous avons retenu la valeur guide sur une heure. La valeur guide sur une demi heure est fournie dans le tableau suivant à titre indicatif.

	Valeurs de référence	Dépassement	Commentaire
Valeur guide estimée pour une demi-heure d'exposition des usagers	818 µg/m ³ (maximum sur une demi-heure)	NON	Maximum sur une demi-heure : Compans Caffarelli : 165 µg/m ³ (hiver) Jean Jaurès – ligne B : 452 µg/m ³ (été) Les stations de métro Compans-Caffarelli et Jean Jaurès – ligne B n'ont pas enregistré de teneur demi-horaire glissante supérieure à la valeur guide.
Valeur guide estimée pour une heure d'exposition des usagers	556 µg/m ³ (maximum horaire)	NON	Maximum sur une heure : Compans Caffarelli : 164 µg/m ³ (hiver) Jean Jaurès – ligne B : 396 µg/m ³ (été) Les stations de métro Compans-Caffarelli et Jean Jaurès – ligne B n'ont pas enregistré de concentrations horaires glissantes supérieures à la valeur guide.

µg/m³ = microgramme par mètre cube

Signalons cependant que ces concentrations maximales horaires sont mesurées sur les quais d'une station de métro, elles ne correspondent donc pas exactement à ce que respire un usager dans le métro puisque celui-ci passe au minimum par deux ou trois stations de métro et une ou deux rames de métro.

En outre, il faut également prendre en compte les limites de ce mode de calcul liées aux hypothèses qui ont été posées pour permettre cette évaluation :

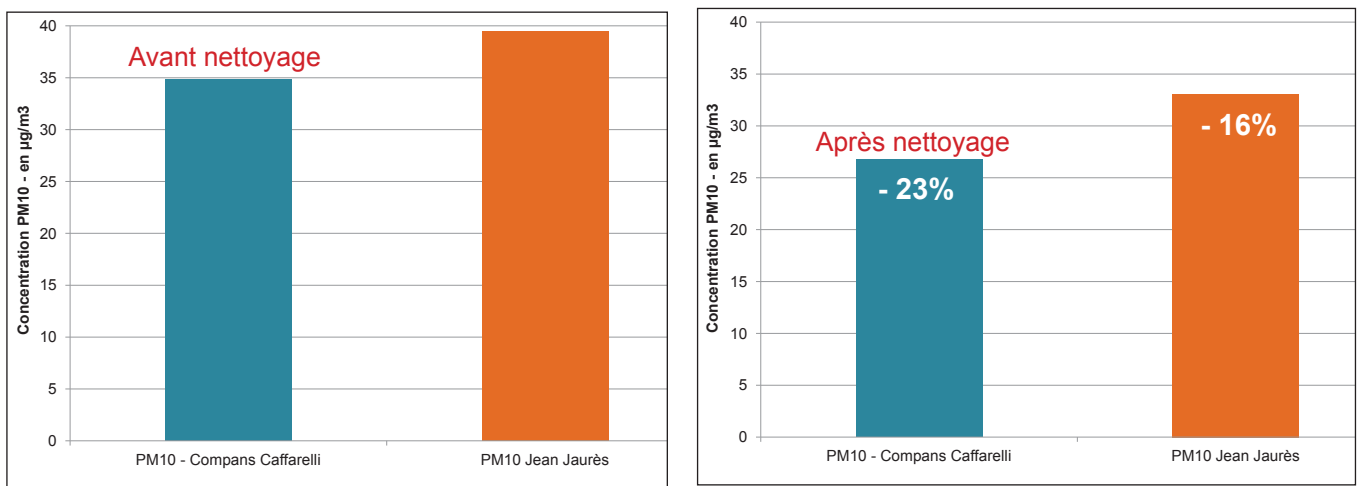
- Dans tous les milieux, à l'exception du métro, la concentration des PM10 est la même qu'en milieu extérieur.
- Les teneurs en PM10 sont constantes sur une journée (abstraction des pics).

PM10 - PAS DE BAISSSE DES NIVEAUX APRÈS NETTOYAGE DE LA STATION COMPANS CAFFARELLI

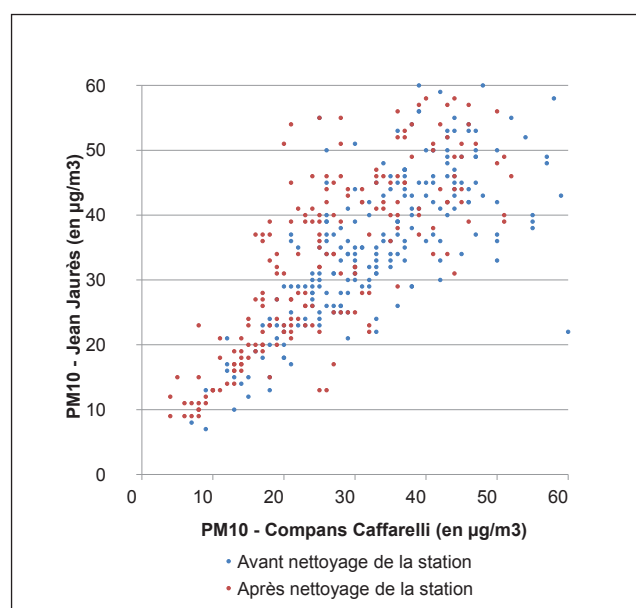
Afin d'évaluer l'impact des opérations de nettoyage de stations de métro sur les niveaux de concentrations des PM10, les niveaux de particules ont été mesurés avant (du 05 au 19 septembre 2012), pendant (du 19 au 29 septembre) et après le nettoyage (du 29 septembre au 08 octobre) de la station de métro Compans Caffarelli soit 4 semaines de mesures.

Nous avons tracé sur le graphe ci-dessous les concentrations en PM10 mesurées dans la station de métro Compans Caffarelli avant et après le nettoyage de la station. Les concentrations en PM10 mesurées dans la station de métro Jean Jaurès – Ligne B sont également indiquées à titre de comparaison.

Après la période de nettoyage, les niveaux de PM10 diminuent sensiblement (-23%) dans la station de métro Compans Caffarelli. Cependant, ils diminuent également de façon significative (-16%) dans la station de métro de référence Jean Jaurès.



L'analyse statistique des données ne met pas en évidence de diminution significative des niveaux de PM10 dans la station Compans Caffarelli suite au nettoyage de la station. Le nettoyage approfondi ne permet sans doute pas de réduction des PM10, celles-ci étant trop fines pour être captées par les techniques de nettoyage employées.



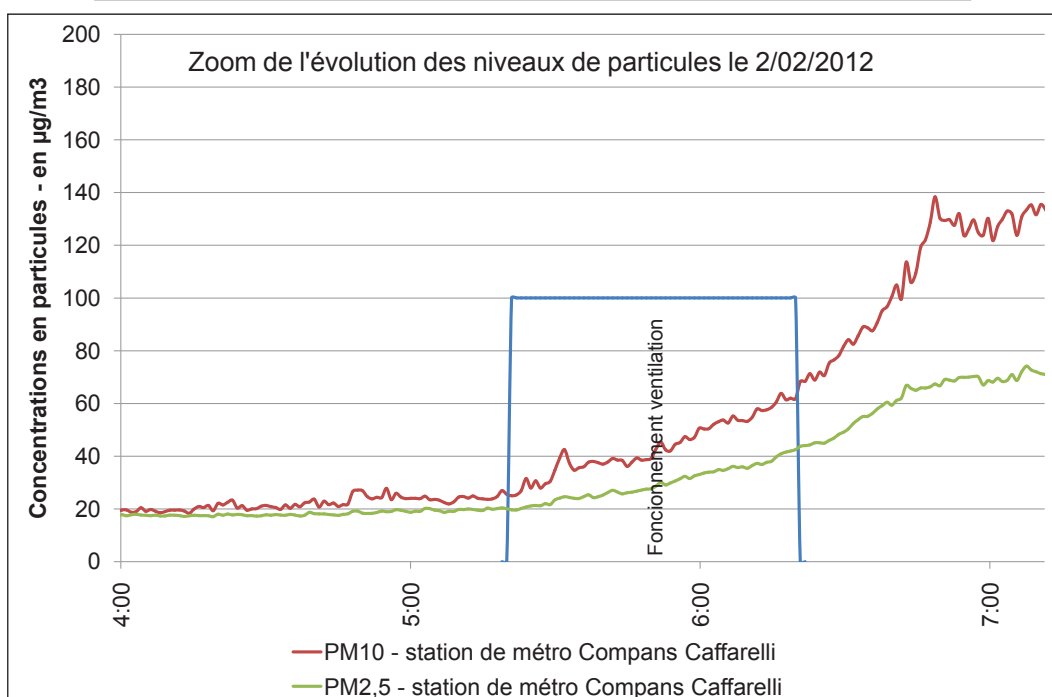
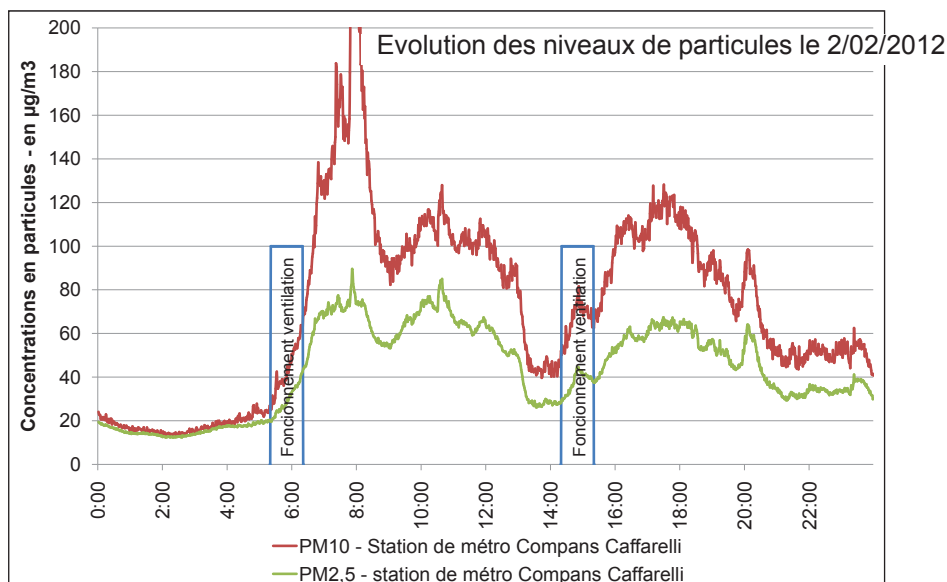
PM10 - IMPACT DE LA VENTILATION STATION NON VISIBLE SUR LES CONCENTRATIONS EN PARTICULES

La ventilation des stations de la ligne B fonctionne en automatique : le démarrage des ventilateurs station est commandé par une sonde de température avec une consignation. Une horloge est également associée au dispositif permettant de fonctionner en mode « confort » dans une plage horaire définie. En règle générale, pendant la période hivernale, la ventilation des stations s'est donc déclenchée deux fois par jour, une heure le matin et une heure l'après midi.

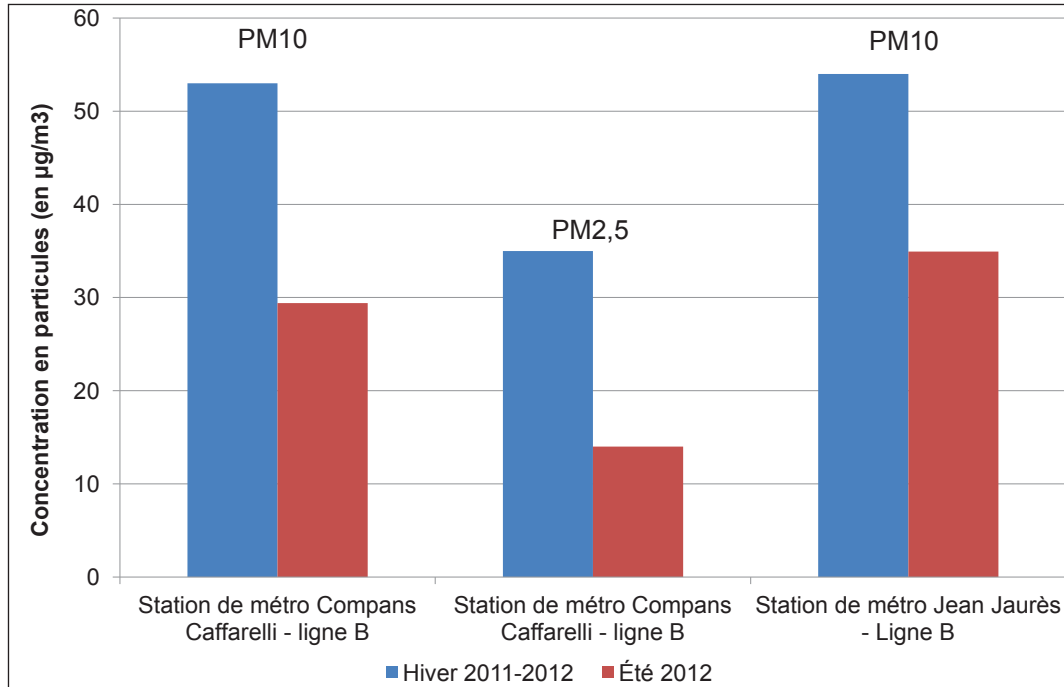
La ventilation a ainsi fonctionné le matin de 5h20 à 6h20 et l'après midi de 14h20 à 15h20 soit une heure. La période de ventilation du matin a lieu au moment du démarrage du fonctionnement commercial du métro. Les concentrations en particules sont faibles.

La période de ventilation de l'après-midi a également lieu en période creuse de fonctionnement du métro. Ces plages horaires ne sont donc pas optimisées pour permettre la réduction des niveaux de particules dans l'enceinte du métro.

L'étude de l'évolution des particules PM10 et PM2,5 avant et pendant le fonctionnement de la ventilation ne met en évidence aucun impact de la ventilation sur les niveaux de concentrations.

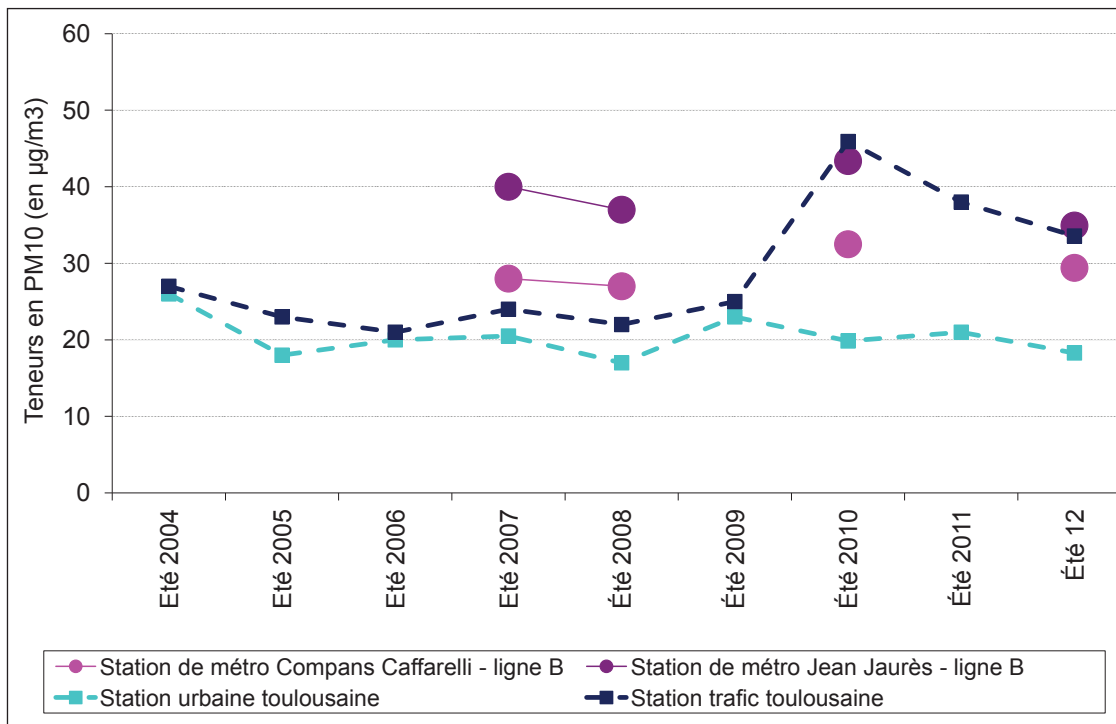


Pendant la période estivale, la ventilation fonctionne quasiment en continu. Il n'est donc pas possible d'étudier l'évolution des concentrations en PM10 avec la mise en fonctionnement de la ventilation. Cependant, le fonctionnement en continu de la ventilation induit une diminution significative des niveaux de concentrations en PM10 dans l'enceinte du métro. Les concentrations en PM10 sont en baisse de près de 50% entre l'hiver et l'été, tandis que les concentrations en PM2,5 sont en baisse de 60%.

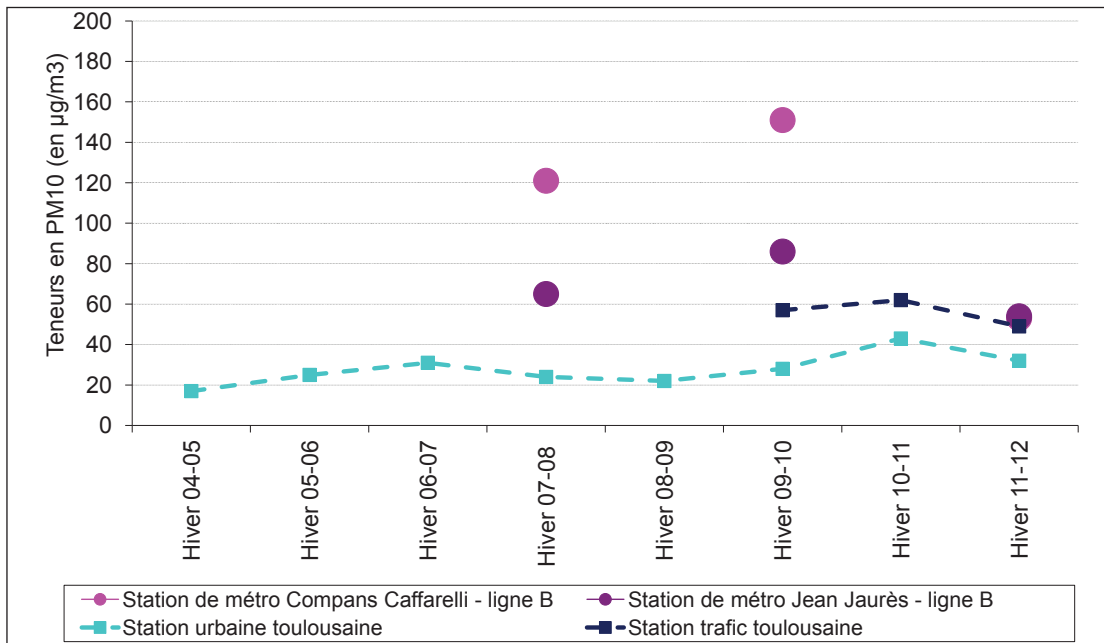


PM10 - DES CONCENTRATIONS ANNUELLES EN BAISSÉ ENTRE 2010 ET 2012

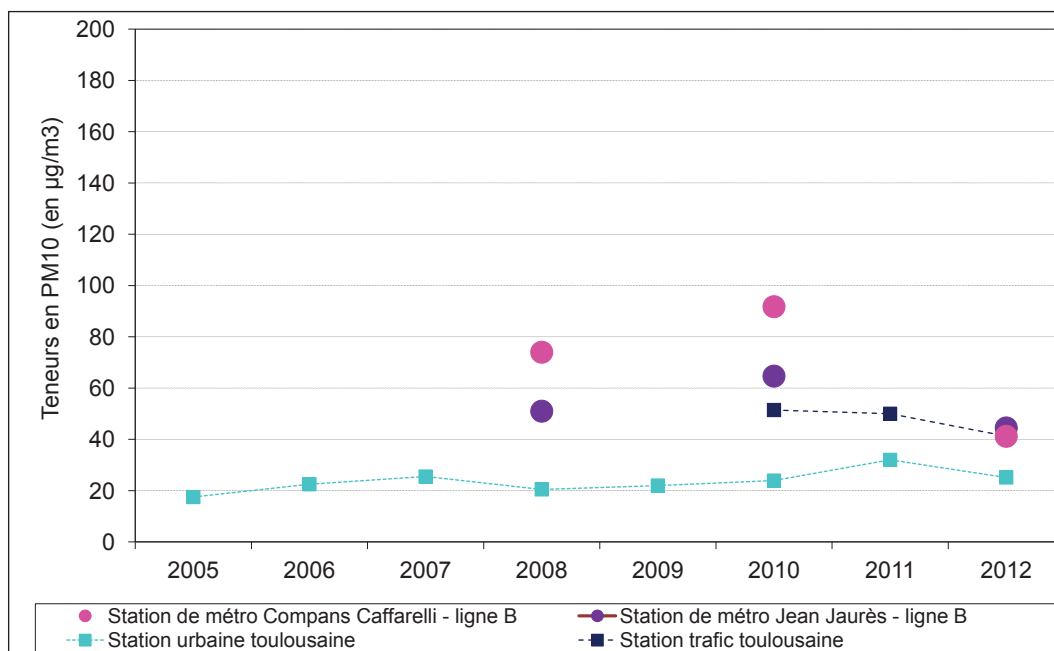
Les concentrations en PM10 mesurées pendant la période estivale en 2012 sont inférieures à celles mesurées lors de la dernière campagne de mesures pendant l'été 2010-2011. Elles ont baissé de 10% pour la station Compans Caffarelli et de 26% pour la station Jean Jaurès.



Les concentrations en PM10 mesurées pendant la période hivernale en 2012 sont également inférieures à celles mesurées lors de la dernière campagne de mesures pendant l'hiver 2009-2010. Pour la station de métro Compans Caffarelli, les concentrations de PM10 ont diminué de près de 65% entre l'hiver 2009-2010 et l'hiver 2011-2012. Pour la station Jean Jaurès, les concentrations de PM10 de l'hiver 2012 sont 37% plus faibles que celles de 2010. Les concentrations en particules PM10 sur les deux stations de métro sont ainsi très proches (53 µg/m³ pour la station de métro Compans Caffarelli, 54 µg/m³ pour la station de métro Jean Jaurès).



Les concentrations moyennées des deux périodes de mesures de l'année 2012 sont ainsi en forte baisse dans les deux stations de métro notamment du fait de l'évolution des concentrations en période hivernale. Les niveaux rencontrés dans la station Compans Caffarelli sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur les quais de la station Jean Jaurès. En outre, les niveaux de concentration rencontrés dans les deux stations de métro sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en proximité trafic en bordure du Périphérique toulousain.

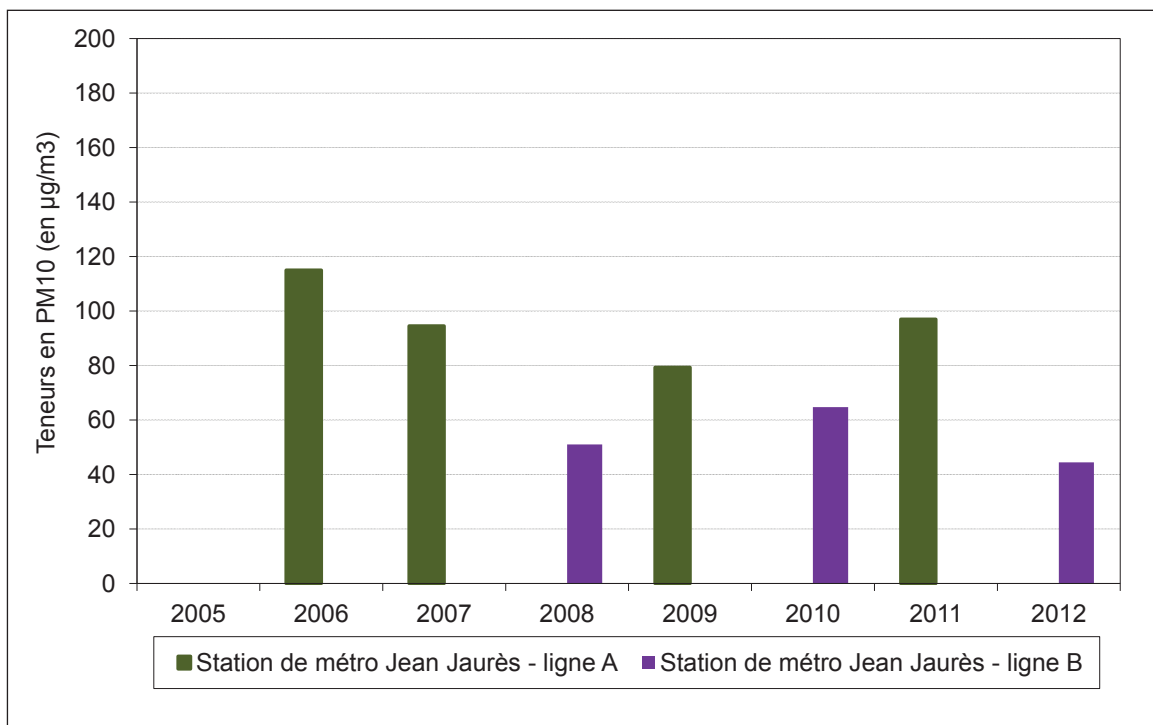
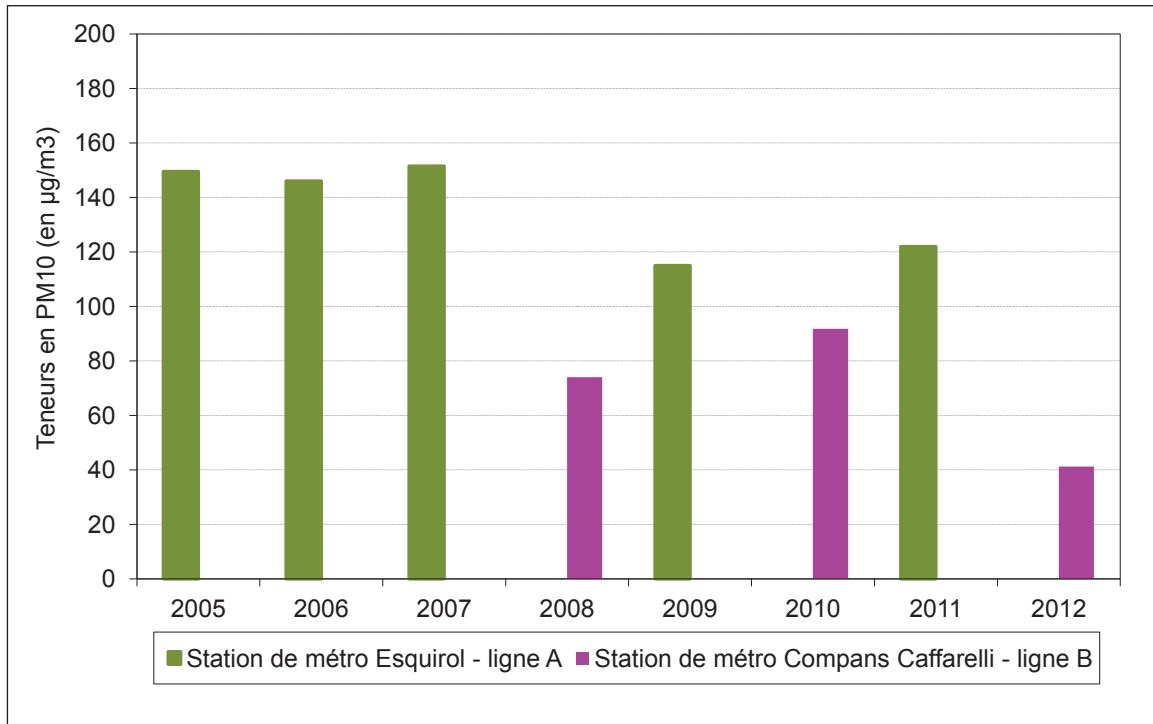


Il n'y a pas eu de modification de la ventilation sur la ligne B ces dernières années susceptible d'expliquer cette baisse des concentrations.

PM10 - DES CONCENTRATIONS INFÉRIEURES À CELLES RENCONTRÉES SUR LA LIGNE A

Les concentrations annuelles en PM10 relevées sur les quais des stations de métro ligne B sont plus faibles que celles rencontrées sur les quais des stations de métro ligne A.

En 2012, l'écart entre les concentrations en PM10 rencontrées sur les quais des stations de métro ligne B et celles mesurées sur les quais des stations de métro ligne A les années précédentes est le plus important enregistré depuis le début des mesures. Il y a ainsi un facteur 3 entre les concentrations en PM10 rencontrées sur les quais des stations de métro ligne B et celles mesurées sur le quai de la station de métro Esquirol (ligne A). On note également qu'il existe un facteur deux entre la station de métro Jean Jaurès ligne A et la station de métro Jean Jaurès ligne B.



PM10 - DES CONCENTRATIONS MOYENNES INFÉRIEURES À CELLES RELEVÉES DANS LE MÉTRO PARISIEN

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en PM10 rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien pour les campagnes de mesures hivernale et estivale dans le métro toulousain.

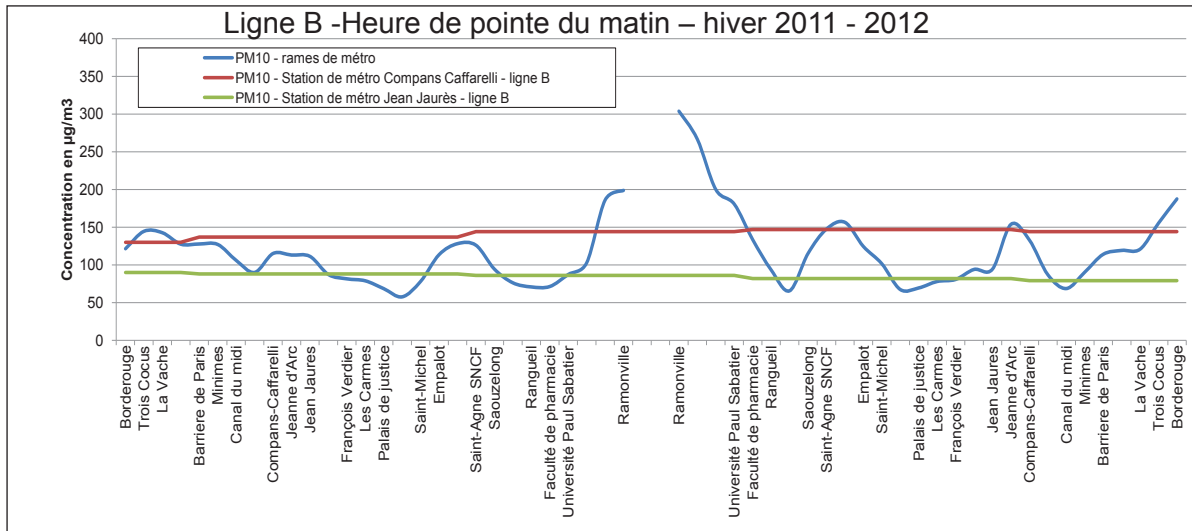
Du 25 janvier au 14 février 2012		Teneurs en PM10 (en µg/m³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	89	300
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	46	148
	Auber (RER ligne A)	222	767
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	53	163
	Jean Jaurès (métro ligne B)	54	122
Du 05 septembre au 07 octobre 2012		Teneurs en PM10 (en µg/m³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	77	226
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	36	128
	Auber (RER ligne A)	155	1213
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	29	138
	Jean Jaurès (métro ligne B)	35	353

µg/m³ = microgramme par mètre cube

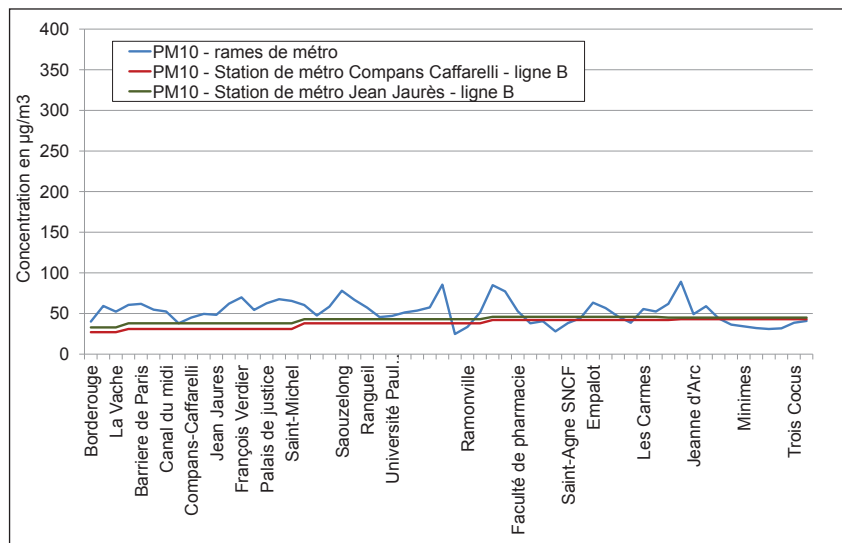
Les teneurs moyennes rencontrées sur les deux périodes de mesures sur les quais des stations Compans Caffarelli et Jean Jaurès, sont inférieures à celles relevées par la station du métro parisien Franklin D. Roosevelt, qui enregistre les concentrations parisiennes les plus faibles. Les stations de métro toulousaines sont toutefois soumises à des pics horaires de particules de diamètre inférieur à 10 microns du même ordre de grandeur que ceux qui peuvent être observés dans le métro parisien.

PM10 - DES CONCENTRATIONS FLUCTUANTES DANS LES RAMES DE MÉTRO

Les teneurs en PM10 mesurées dans les rames de métro sont variables le long de la ligne. Au cours des deux périodes, les niveaux de PM10 rencontrés dans les rames de métro sont en moyenne plus faibles que ceux mesurés sur les quais de la station Compans Caffarelli. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés à la station de métro Jean Jaurès.



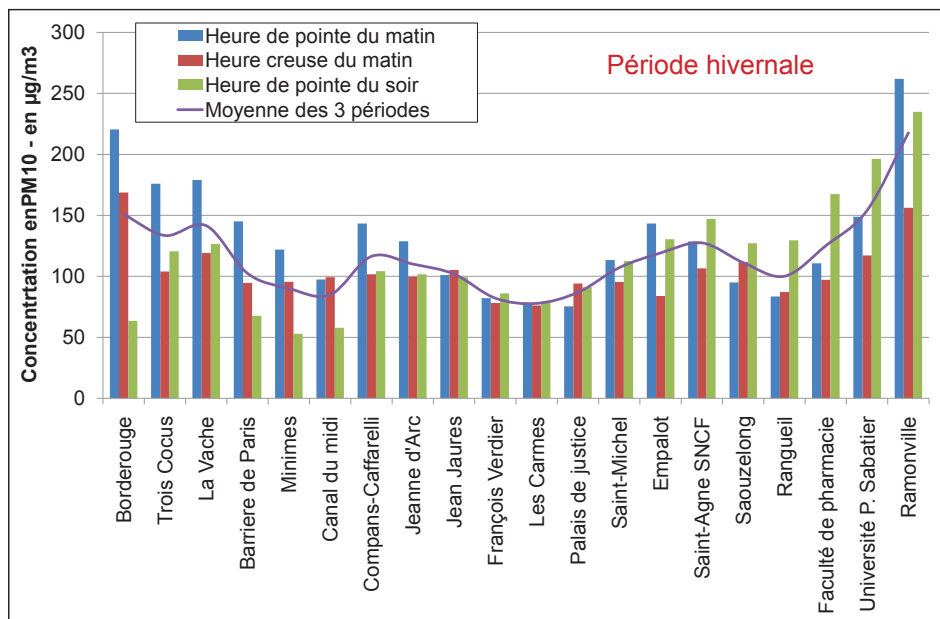
Ligne B - Heure de pointe du matin – été 2012



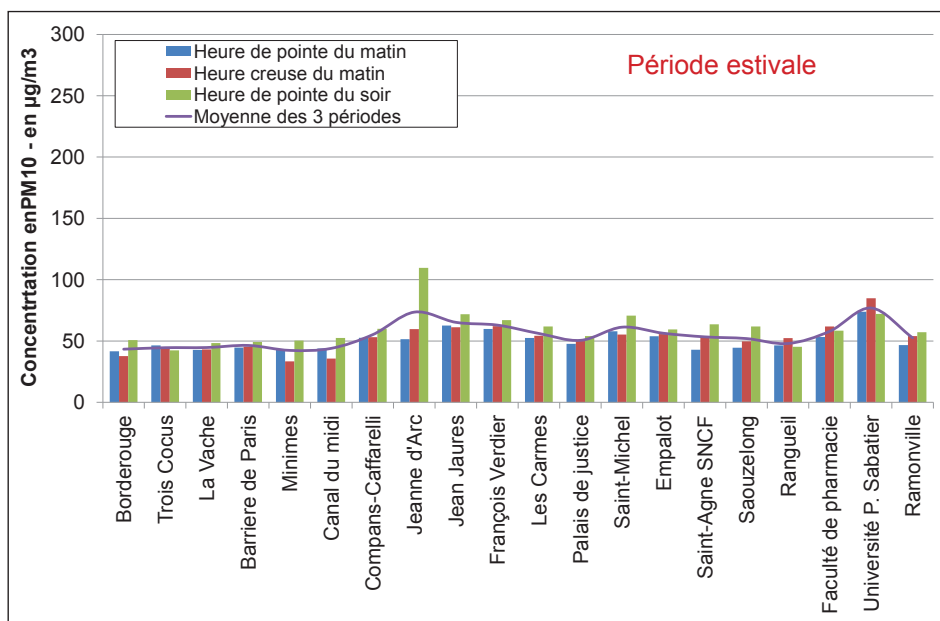
En moyenne sur l'ensemble de la ligne, les concentrations en PM10 sont de l'ordre de 120 µg/m³ pour la période hivernale.

En hiver, comme en été, les niveaux de concentration dans les rames de métro ne sont pas corrélés en fonction de la station traversée :

- une station qui enregistre la concentration la plus élevée sur un trajet peut enregistrer la concentration la plus faible quelques heures plus tard,
- les concentrations en PM10 dans les rames sont les plus élevées sur la portion Faculté de pharmacie- Ramonville.
- d'une période étudiée à l'autre, les concentrations peuvent fortement varier : de 5% de hausse pour la station François Verdier jusqu'à 177% de hausse pour la station Borderouge.



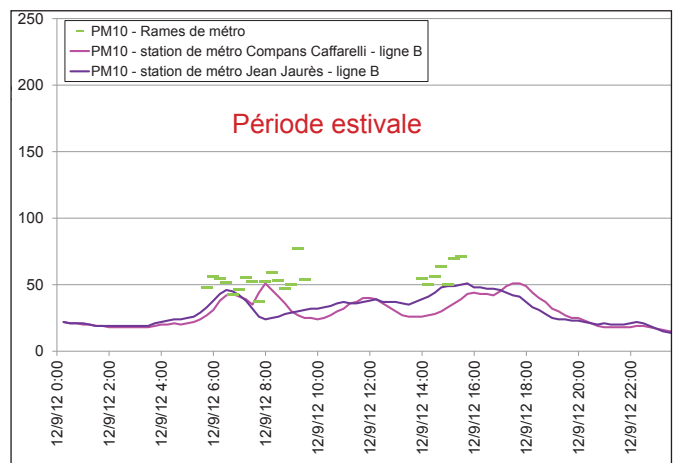
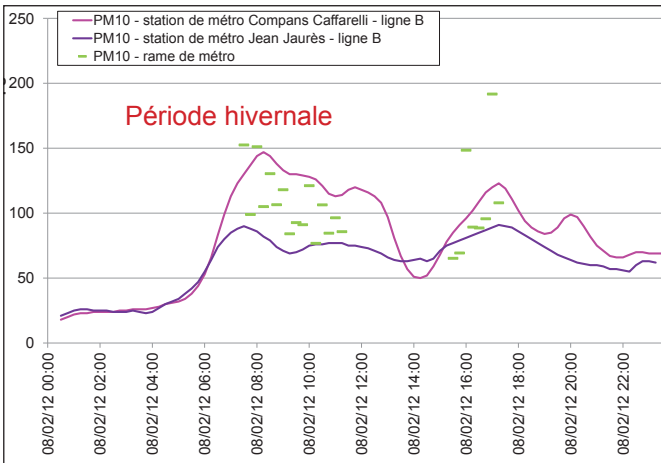
En période estivale, les concentrations mesurées sur les trois périodes étudiées (heure de pointe du matin, heure creuse du matin et heure de pointe du soir) sont beaucoup plus homogènes. En moyenne sur l'ensemble de la ligne, les concentrations en PM10 sont de l'ordre de 70 µg/m³ pour la période estivale. Les concentrations varient moins entre les trois périodes étudiées. La station qui subit la plus forte variation au cours de la journée est la station Jeanne d'Arc (53% de hausse)



PM10 - DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRES ÉLEVÉES DANS LES RAMES DE MÉTRO

En hiver, les concentrations en PM10 dans les rames de métro sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans les stations de métro. La ventilation fonctionnant peu, il y a homogénéisation des niveaux de PM10 sur l'ensemble de la ligne de métro.

En été, les concentrations en PM10 dans les rames de métro sont légèrement supérieures à celles mesurées dans les stations de métro. La ventilation fonctionne en continu dans les stations, entraînant une diminution des niveaux de PM10.



PM10 - DES CONCENTRATIONS MESURÉES INFÉRIEURES À LA VALEUR LIMITE DE MOYENNE EXPOSITION FIXÉE POUR LES AMBIANCES DE TRAVAIL

	Valeur en ambiance de travail	Dépassement	Commentaire
Valeur Limite de Moyenne Exposition	5 000 µg/m ³ sur 8 heures	NON	Dans les stations de métro Compans-Caffarelli et Jean Jaurès : la concentration maximale sur 8 heures mesurée en 2012 est respectivement de 112 µg/m ³ et de 98 µg/m ³ . Elle est nettement inférieure à la VME fixée.

µg/m³ = microgramme par mètre cube

PM2,5 - DÉPASSEMENT DE LA RÉGLEMENTATION APPLICABLE À L'AIR AMBIANT EXTÉRIEUR

Il n'existe pas de valeur guide concernant l'exposition aux PM2,5 dans l'air intérieur. A titre d'information, nous indiquons comment se situent les concentrations en PM2,5 relevées par rapport à la réglementation en air ambiant extérieur. Rappelons que cette réglementation est fixée sur une année de mesures tandis que nous avons estimé que la présence des usagers dans le métro est d'environ une heure.

	Valeurs réglementaires en air extérieur	Dépassement sur la période de mesures	Commentaire
Objectif de qualité	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	OUI	28 µg/m ³ en moyenne sur les deux campagnes de mesures.
Valeur cible	20 µg/m ³ en moyenne annuelle (à atteindre en 2015)	OUI	28 µg/m ³ en moyenne sur les deux campagnes de mesures.
Valeur limite	27 µg/m ³ en moyenne annuelle (25 µg/m ³ en 2015)	OUI	28 µg/m ³ en moyenne sur les deux campagnes de mesures.

µg/m³ = microgramme par mètre cube

PM2,5 - L'ACTIVITÉ DU MÉTRO ÉMETTRICE DE FINES PARTICULES

Avec 40 µg/m³ en moyenne sur la période hivernale, les concentrations en PM2,5 mesurées dans les stations de métro de la ligne B sont 55% plus élevées que celles mesurées dans l'air ambiant urbain extérieur.

En période estivale, les niveaux de PM2,5 étaient de 16 µg/m³. Bien qu'en forte baisse, les concentrations en PM2,5 rencontrées sur le quai de la station Compans Caffarelli sont encore 23% plus élevées que celles mesurées dans l'air ambiant urbain extérieur.

L'activité du métro est ainsi source de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns. Ces particules pénètrent dans les rames de métro par la ventilation qui prélève de l'air dans les tunnels pour l'injecter dans les rames de métro. Ces ventilations sont équipées de filtres grossiers ne permettant pas la filtration des fines particules.

Les niveaux de particules PM2,5 sont ainsi plus élevés dans les rames de métro au plus près de la source particulaire que sur les quais en partie protégés par les portes palières.

Site de mesures	Concentration moyenne PM2,5 – en µg/m ³	
	Hiver 2011 – 2012	Été 2012
Quai station Compans Caffarelli	40	16
Rames de métro	76	31
Moyenne des stations urbaines de l'agglomération toulousaine sur la période	27	13

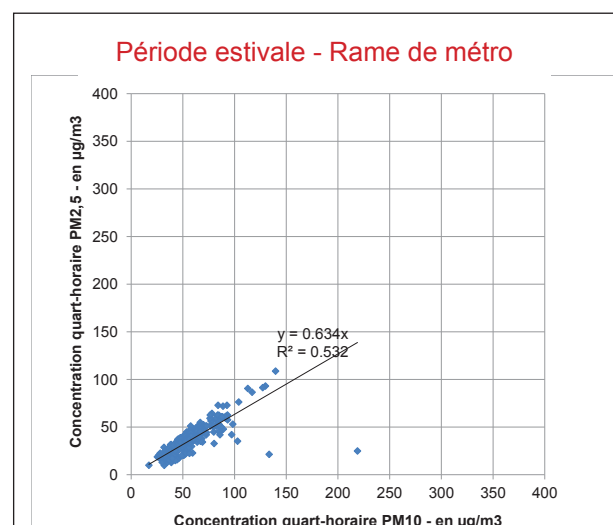
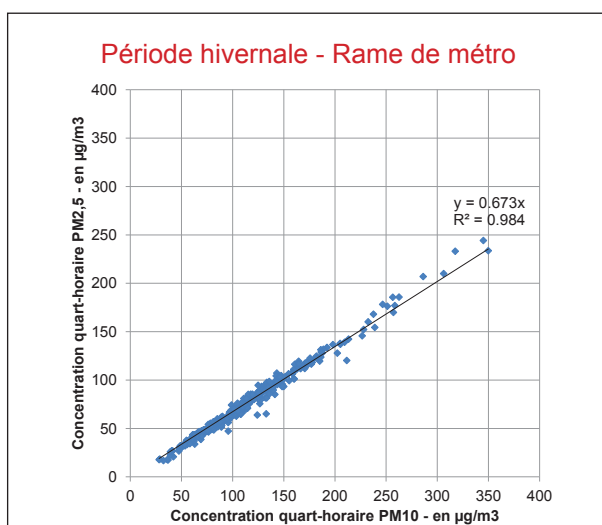
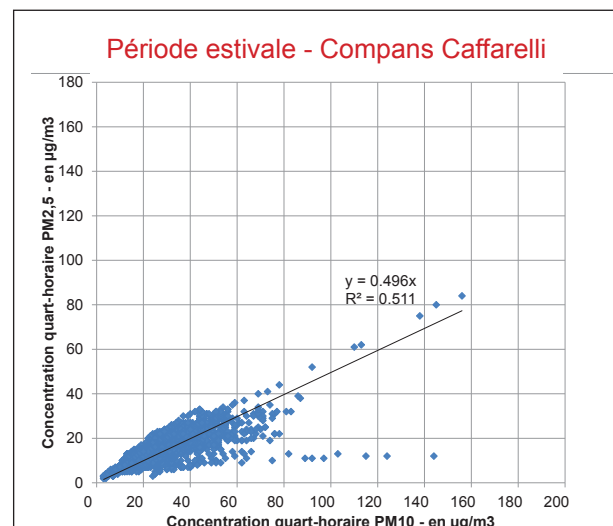
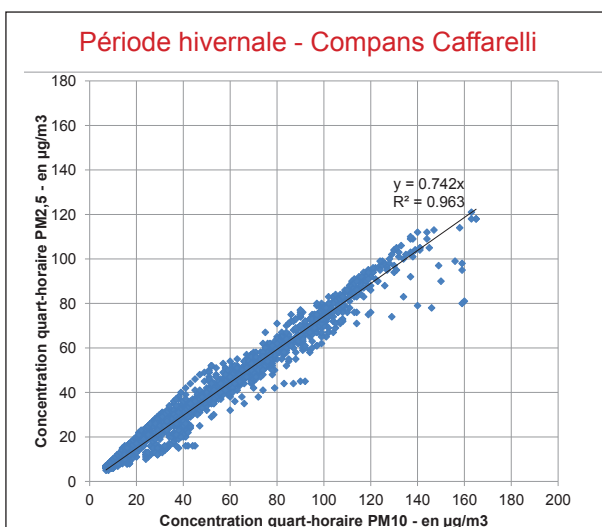
µg/m³ = microgramme par mètre cube

PM_{2,5} - FORTE PROPORTION DE PM_{2,5} DANS LES PM₁₀

Les corrélations PM_{2,5} / PM₁₀ rencontrées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli et dans les rames de métro sont fortes en période hivernale, elle sont beaucoup plus faibles en période estivale. En hiver, le métro est plus confiné qu'en été. La ventilation, en période estivale, induit l'apport d'air extérieur qui limite l'accumulation des particules dans l'air et plus particulièrement les particules PM_{2,5}.

En hiver, sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli, les PM_{2,5} représentent 74% des PM₁₀ mesurées. Les particules fines constituent donc une part prépondérante des particules dans les stations de métro. Ce taux est légèrement inférieur dans les rames de métro puisqu'il est de 67%

En été, du fait de la ventilation, ce taux passe à 50% sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli et à 44% dans les rames de métro.



PM - IMPACT DE LA VENTILATION DIFFÉRENT SELON LA TAILLE DES PARTICULES

Plus les particules sont fines, plus leur niveau de concentration chute en été par rapport à l'hiver. La ventilation a ainsi un impact plus important sur l'élimination des plus petites particules.

	Concentration moyenne – en $\mu\text{g}/\text{m}^3$								
	PM10			PM2,5			PM1*		
	Hiver	Été	Evolution	Hiver	Été	Evolution	Hiver	Été	Evolution
Quai station Compans Caffarelli	54	29	-46%	40	16	-60%	12	4	-66%
Rames de métro	105	56	-47%	87	36	-59%	30	10	-66%
Moyenne des stations urbaines de l'agglomération toulousaine	31	18	-42%	27	13	-52%	-	-	-

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

* Concentration des PM1 estimée avec un compteur à particules

PM2,5 - DES CONCENTRATIONS PLUS FAIBLES QUE SUR LES QUAIS DU RER A

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en PM2,5 rencontrés sur les quais du RER A pour la campagne de mesures hivernale 2011-2012 dans le métro toulousain.

Du 25 janvier au 14 février 2012		Teneurs en PM2.5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Auber (RER ligne A)	95	342
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	40	117

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

Du 05 septembre au 07 octobre 2012		Teneurs en PM2.5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Auber (RER ligne A)	66	524
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	16	75

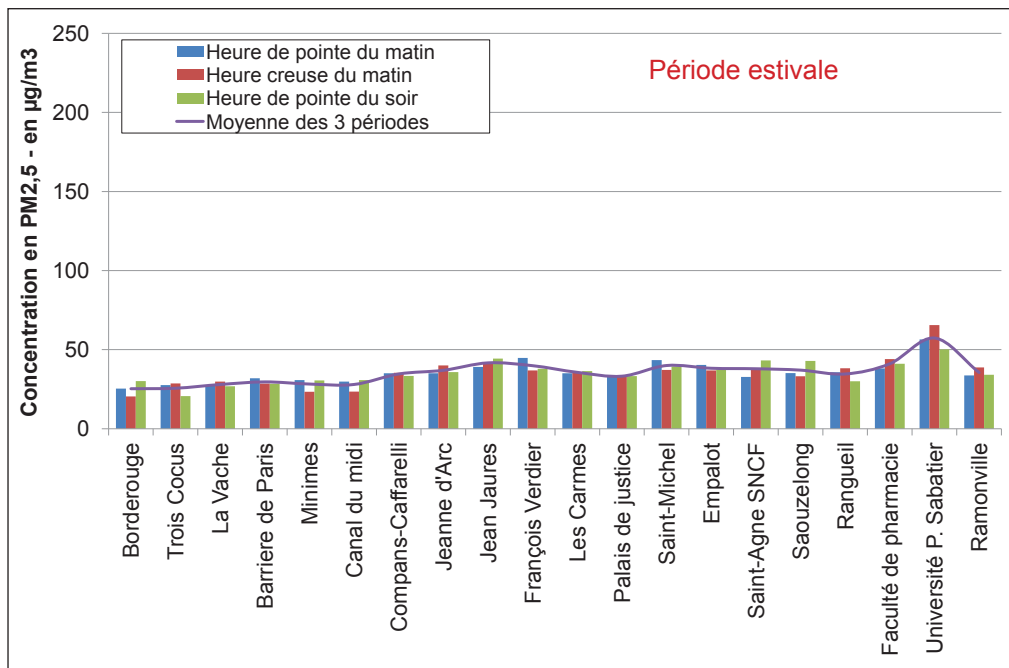
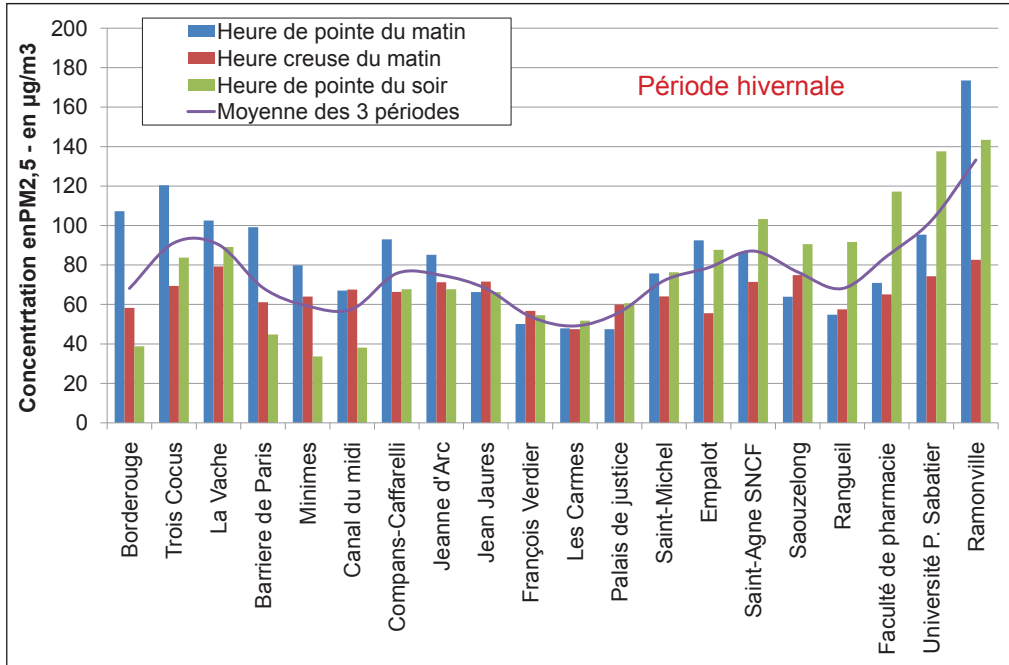
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ = microgramme par mètre cube

Les teneurs moyennes et les maxima horaires en PM2,5 rencontrés pour les deux périodes de mesures sur le quai de la station Compans Caffarelli sont nettement inférieurs à ceux relevés sur le quai du RER A.

Comme pour les résultats obtenus sur le quai de Compans Cafarelli, il existe une forte corrélation entre les concentrations en PM10 et celles en PM2,5 mesurés sur le quai du RER A. En revanche, il est intéressant de noter que, sur le quai du RER A, les PM2,5 représente 43% des PM10 en été comme en hiver. La proportion de PM2,5 dans les PM10 est donc plus faible et plus stable que celle rencontrée dans le métro toulousain (75% en hiver et 55% en été).

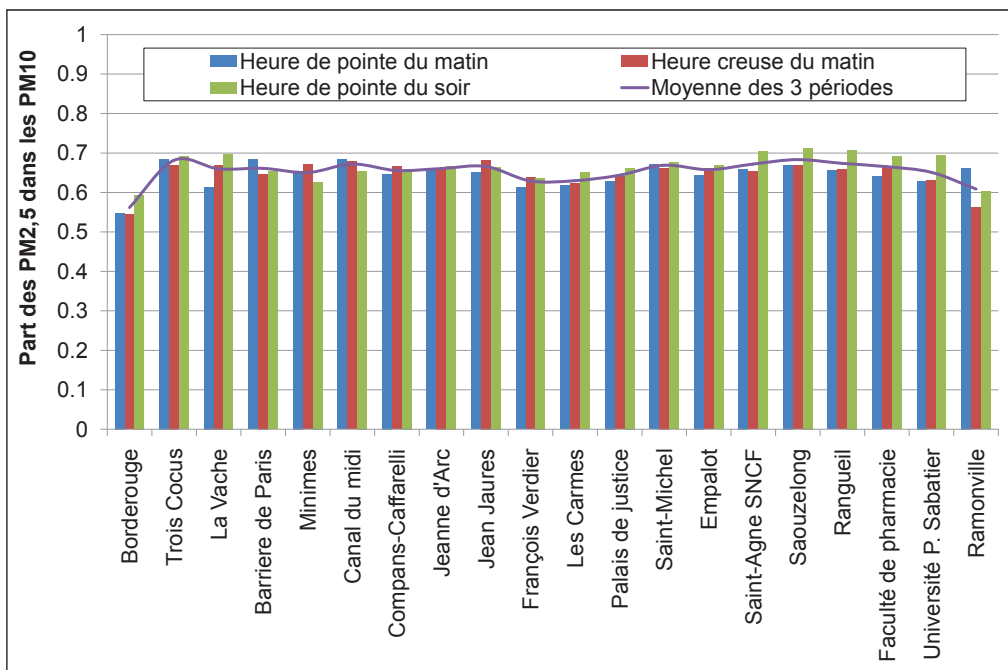
PM2,5 - DES CONCENTRATIONS FLUCTUANTES DANS LES RAMES DE MÉTRO

Comme pour les PM10, les teneurs en PM2,5 mesurées dans les rames de métro varient le long du trajet. Les stations enregistrant les concentrations en PM2,5 les plus fortes sont les mêmes que celles enregistrant les concentrations en PM10 les plus élevées.



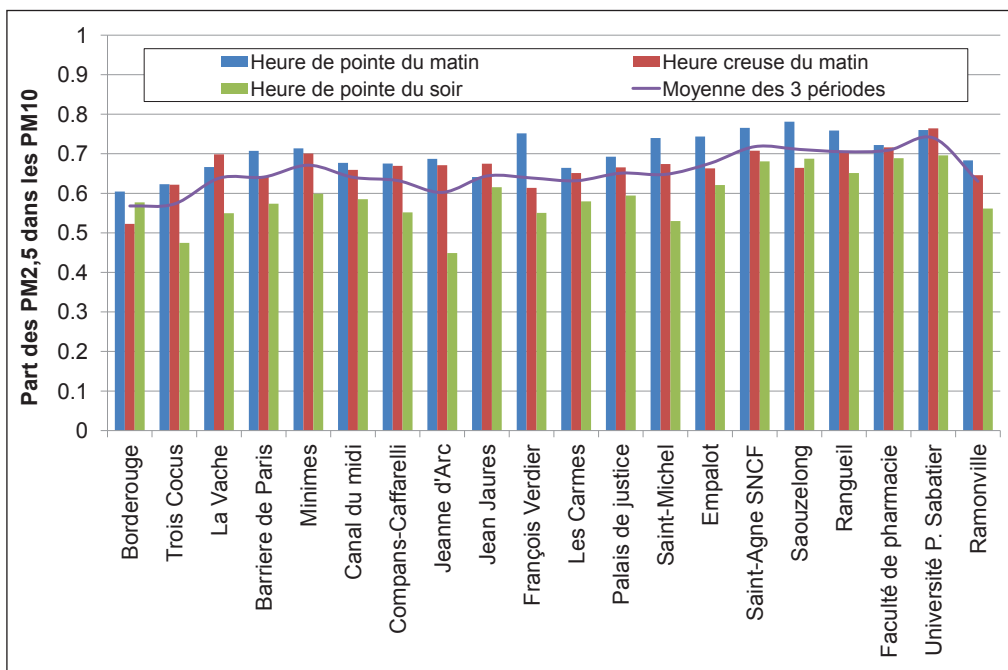
Ainsi, la part des PM2,5 dans les PM10 est homogène, comprise entre 0,6 et 0,7 sur toute la ligne pour la période hivernale.

Période hivernale



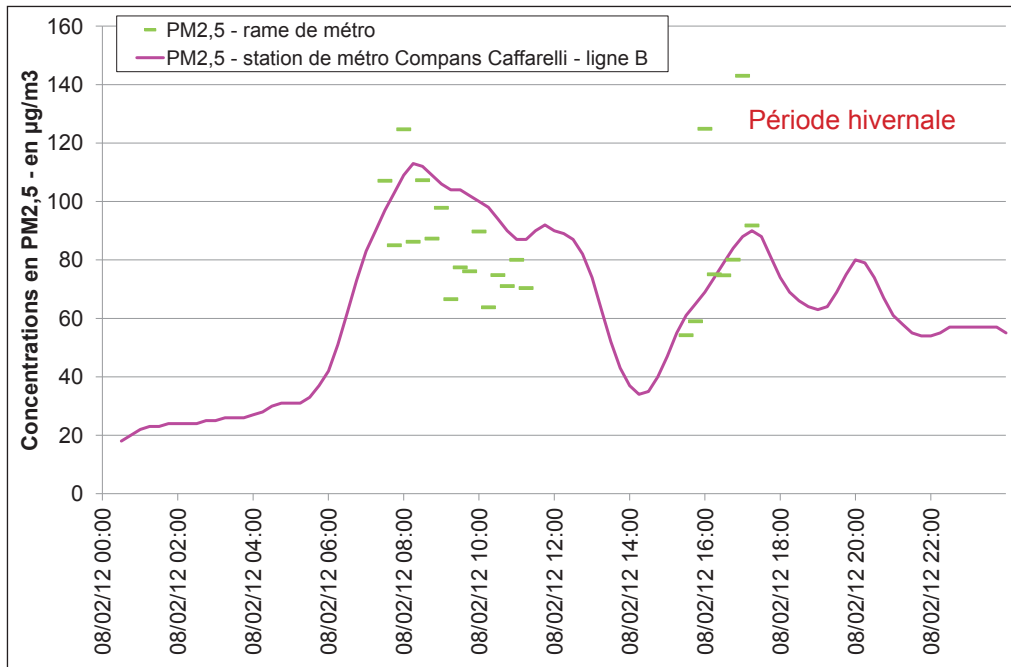
Cette part, modifiée par le fonctionnement de la ventilation, est beaucoup plus variable pendant la période estivale.

Période estivale

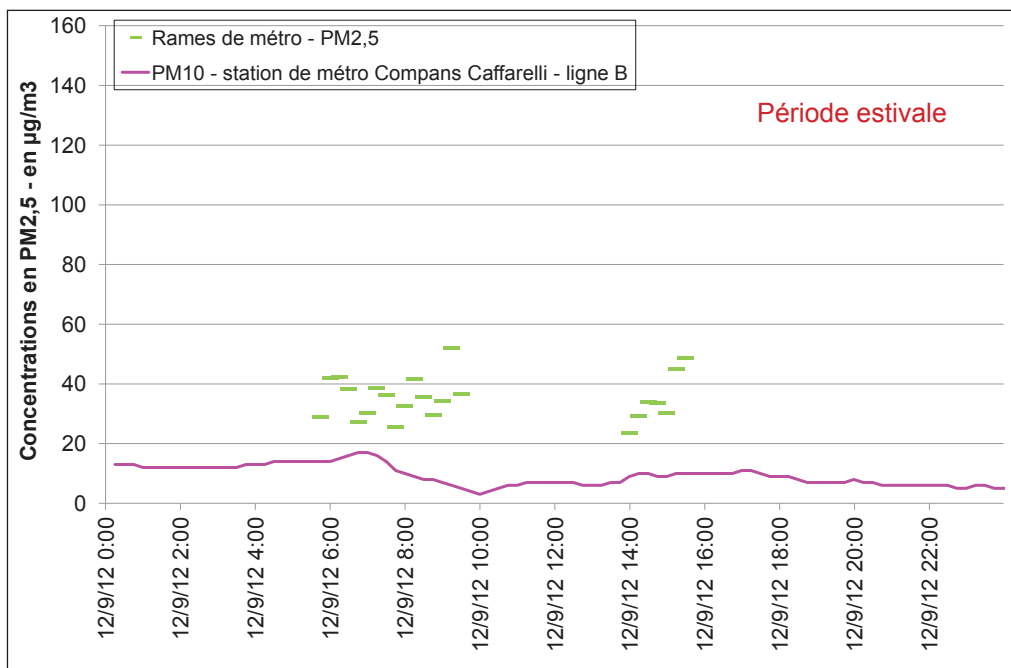


PM2,5 - DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRES SIMILAIRES À CELLES RELEVÉES SUR LES QUAIS

En période hivernale, les concentrations en PM2,5 relevées dans les rames de métro sont inférieures ou du même ordre de grandeur que celles mesurées sur le quai de la station Compans-Caffarelli. Il y a ainsi une homogénéisation des concentrations entre les rames et les stations de métro.



En période estivale, les concentrations en PM2,5 sont plus élevées dans les rames de métro au plus près de la source de particules que sur le quai de la station Compans Caffarelli.



UNE COMPOSITION CHIMIQUE DIFFÉRENTE ENTRE LES DEUX LIGNES DE MÉTRO

Pendant les deux campagnes de mesures, des prélèvements de particules PM10 sur filtres ont été réalisés en parallèle dans deux stations du métro de Toulouse Esquirol sur la ligne A et la station de métro Compans Caffarelli sur la ligne B. Les filtres étaient exposés sur une période de 24 heures.

Pour la période hivernale, des prélèvements ont été réalisés sur les quais des stations de métro Esquirol - ligne A et Compans Caffarelli - ligne B du 27 janvier au 2 février 2012 ainsi que sur un site extérieur en bordure du périphérique toulousain.

Pour la période estivale, les prélèvements ont été réalisés avant (les 12 et 13 septembre 2012) et après nettoyage (les 03 et 04 octobre) de la station Compans Caffarelli, Des prélèvements ont également été réalisés sur un site extérieur urbain de fond.

Le but des ces prélèvements étaient de déterminer la composition des particules présentes dans le métro toulousain afin d'identifier ou de préciser leur origine.

Les résultats obtenus ont ainsi montré que :

- L'activité métro sur la ligne A est plus génératrice de particules que sur la ligne B,
- La ventilation tunnel sur la ligne A n'engendre pas la même diminution des niveaux de particules que sur la ligne B,
- Du fait de débits de ventilation plus important, la composition des particules dans l'air intérieur de la ligne B est plus influencée par l'air extérieur que pour la ligne A,
- L'augmentation des temps de fonctionnement des ventilations permet de réduire les niveaux de particules dans le métro, l'activité du métro étant la principale source de ces particules.

NATURE DES PARTICULES DIFFÉRENTE ENTRE LE MÉTRO ET L'AIR AMBIANT EXTÉRIEUR

Pour les trois sites, les natures des particules sont assez différentes, avec des tailles de particules qui diffèrent en partie, et des densités en nombre entre les particules les plus fines et les plus grosses changeant entre les sites (pour des prélèvements réalisés les mêmes jours). Cependant, pour un même site, les échantillons semblent assez similaires d'un jour à l'autre, indiquant une certaine homogénéité des sources influençant chacun de ces sites.

Dans les stations de métro, les mêmes composés chimiques sont retrouvés entre la période hivernale et la période estivale.

Les prélèvements réalisés dans les deux stations de métro sont caractérisés par de grosses particules de matière carbonée. Le métro Toulousain étant un métro à pneumatique et ayant des passages aériens, ces particules peuvent d'une part correspondre à des sources internes telle que la dégradation des pneus du métro et d'autre part à des particules terrigènes provenant de l'environnement extérieur et qui seraient entraînées dans les gares souterraines par la turbulence des passages des rames de métro.

La deuxième grande classe de particules est composée d'oxydes de fer, plus ou moins oxydés et liés à différents éléments (Calcium, Cuivre, Chlore, Manganèse, Soufre, Baryum...). Ces éléments sont similaires à ceux retrouvés dans les stations de métro de Barcelone ou de Londres. Les oxydes de fer sont typiques de l'abrasion des rails conducteurs ainsi que des systèmes de freinage du métro. La présence d'autres éléments peut s'expliquer par les différents alliages de métaux. Un pic de baryum observé sur l'un des échantillons pendant la période hivernale pourrait être expliqué par la présence de barite (BaSO_4), dans le système de freinage du métro (données fournies par Tisséo).

Contrairement aux mesures dans le métro, l'air prélevé sur le périphérique et sur la station urbaine Berthelot contient quelques oxydes de fer (Fe_2O_3), mais se compose principalement des poussières crustales, notamment des mélanges d'argiles et de sables avec une majorité de silice, potassium, aluminium et oxygène. Cette composition est typique de l'air extérieur. On note également, pour le site Périphérique, la présence d'une grande proportion de carbone élémentaire, issu de la combustion des émissions de diesel des véhicules transitant sur le périphérique.

Les prélèvements de la station Compans Caffarelli (ligne B) sont moins concentrés que ceux réalisés dans la station Esquirol (ligne A) qui comportent une quantité plus importante de petites particules métalliques. Le nombre de rames en circulation sur la ligne A est sensiblement identique à celui de la ligne B. L'accumulation de ces particules dans cette station peut donc être le résultat de plusieurs facteurs (données fournies par Tisséo) :

- La ligne A est la première ligne construite, les rames circulant sur cette ligne sont plus anciennes, entraînant des dégradations plus importantes,
- Sur la ligne A circulent à part égales des vals 206 et des val 208. Les systèmes de freinage des vals 206 ont une durée de vie beaucoup plus courte que ceux des vals 208. Ils sont ainsi émetteurs de quantités plus importantes de particules
- La ventilation de cette ligne de métro et donc le renouvellement d'air est plus faible que pour la ligne B

EN HIVER, UNE COMPOSITION GLOBALE DIFFÉRENTE DANS LE MÉTRO EN COMPARAISON DE L'AIR AMBIANT EXTÉRIEUR

Les figures suivantes montrent les profils chimiques moyens de la composition des particules présentes dans les échantillons pour les deux sites de métro et la station trafic toulousaine Périphérique pour la période hivernale.

Les 2 profils du métro sont très différents du profil du site trafic toulousain :

- La matière organique est très présente pour le site trafic toulousain en air ambiant puisqu'elle représente 43% de la composition globale des particules, elle ne représente respectivement que 10 et 23% de la composition globale des particules pour les stations de métro Esquirol et Compans Caffarelli,
- Les espèces ioniques, souvent majoritaires pour des sites extérieurs, ne représentent plus qu'une très faible part de la masse pour les échantillons du métro.
- La part de carbone élémentaire est assez proche entre le site extérieur et les stations de métro. Cet élément est émis, dans l'air extérieur, par tous les phénomènes de combustion. Dans le métro, les pneumatiques des roues sont une source non négligeable de carbone élémentaire.
- Les profils des stations de métro sont très marqués par les espèces métalliques. Avec 40% de la composition des particules pour le quai de la station de métro Compans Caffarelli et 59% pour le quai de la station de métro Esquirol, le fer est l'élément prédominant. Ces espèces métalliques ne représentent qu'une faible fraction de la masse des échantillons du périphérique. La somme des métaux atteint ainsi 12% de la composition globale des particules pour le site du Périphérique contre 51% pour le quai de la station de métro Compans Caffarelli et 72% pour le quai de la station de métro Esquirol.

Les deux sites du métro toulousain se révèlent cependant assez différents. La fraction organique est en proportion plus forte à Compans-Caffarelli, tandis que la fraction métallique est prédominante pour la station Esquirol.

Une analyse globale de la matière carbonée a été réalisée afin de déterminer les parts relatives des fractions « carbone organique » (OC) et « carbone élémentaire » (EC).

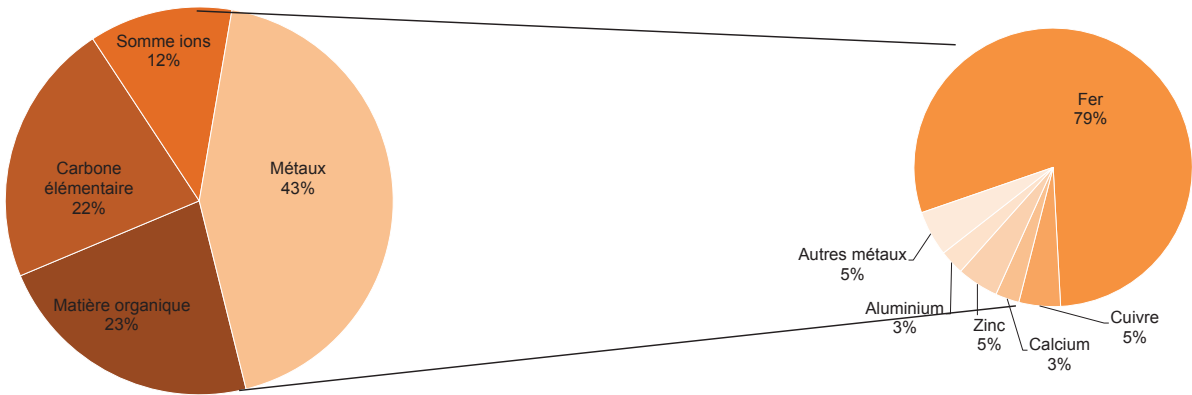
- EC (Elemental Carbon) : l'EC désigne le carbone suie, composé purement primaire, apparenté à du graphite pur. Il est principalement issu de toutes les combustions, qu'elles soient de combustibles fossiles (gazole, essence, kérosène, gaz naturel...) ou renouvelables (bois, biomasse), ainsi que des débris de matériaux carbonés relargués par les activités humaines comme les débris de pneus. C'est un bon traceur des activités anthropiques, en particulier du trafic routier. Dans le métro, l'usure des pneumatiques peut être une source de carbone élémentaire.
- OC (Organic Carbon) : constitué par l'ensemble des molécules organiques absorbées sur le carbone élémentaire.

Pour ces trois sites, le carbone élémentaire ou carbone suie (EC) représente une part importante et assez similaire de l'ordre de 15 à 22%.

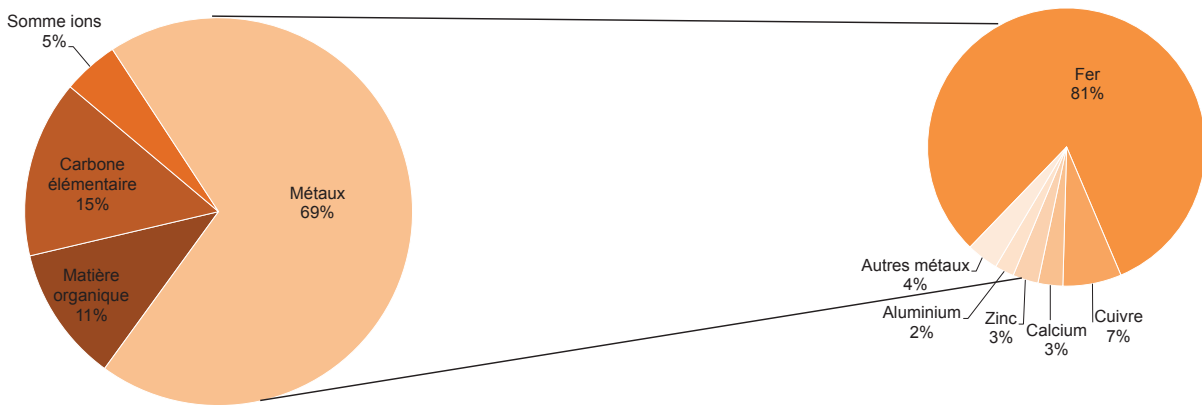
Les concentrations moyennes des espèces métalliques contenues dans les particules sont exploitées dans un prochain paragraphe.

Période hivernale : composition des particules

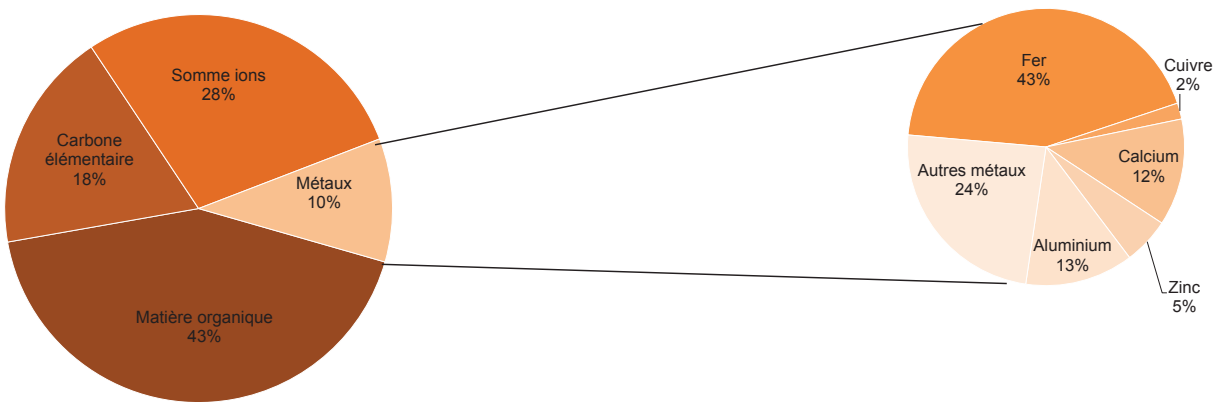
Station de métro Compans Caffarelli - période hivernale



Station de métro Esquirol - période hivernale



Station trafic toulousaine Périphérique - période hivernale



EN ÉTÉ, UNE COMPOSITION GLOBALE DIFFÉRENTE DANS LES DEUX STATIONS DE MÉTRO

Les figures suivantes montrent les profils chimiques moyens de la composition des particules présentes dans les échantillons pour les deux sites de métro et la station urbaine toulousaine Berthelot pour la période estivale.

Entre la période hivernale et la période estivale, nous notons une modification importante du profil de la station de métro Compans Caffarelli.

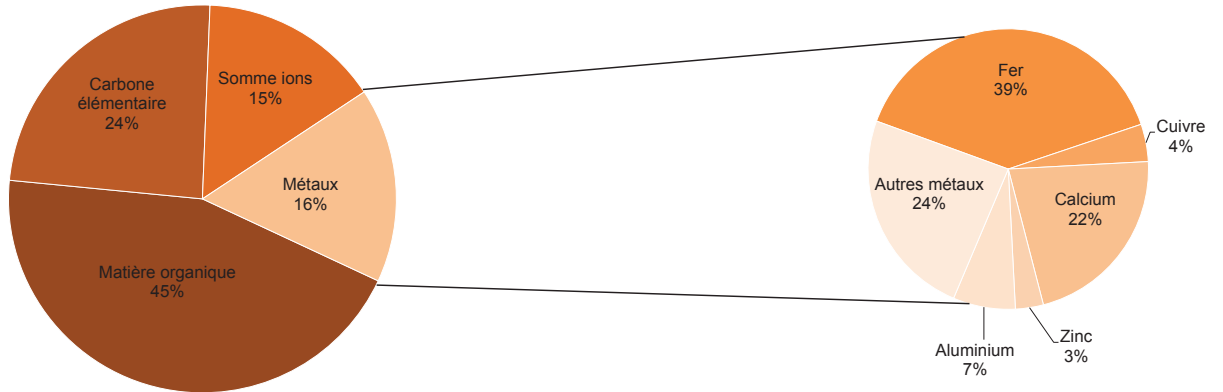
La part de la matière organique augmente fortement au détriment de la part des métaux dont la composition évolue. Le fer représente moins de la moitié du total des métaux.

La station Compans Caffarelli se révèle ainsi, moins influencée par les sources internes du métro. Elle est, par le biais de sa ventilation qui assure un bon renouvellement d'air dans la station, beaucoup plus influencée par l'environnement extérieur.

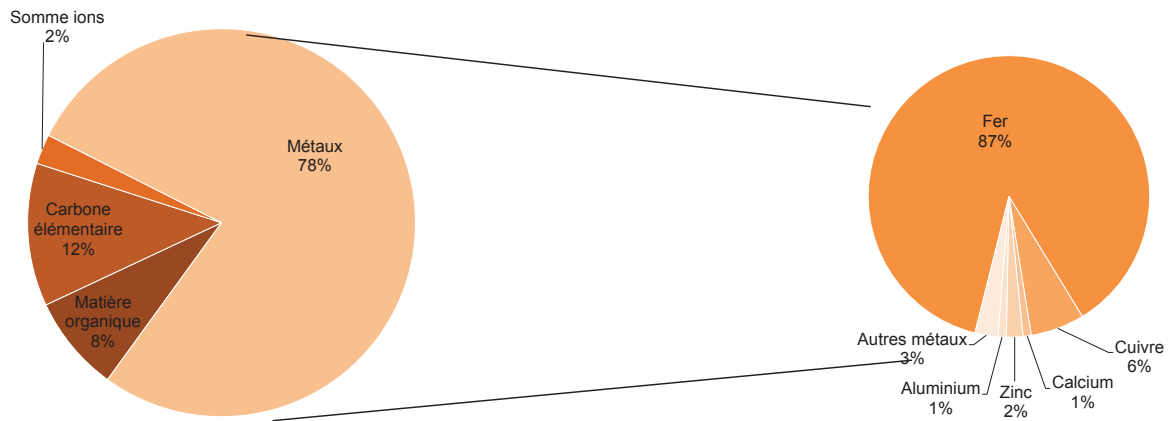
Le profil chimique de la station de métro Esquirol pour la période estivale montre de nombreuses similitudes avec celui de la période hivernale. La part des différents composés analysés est ainsi sensiblement identiques pour les deux profils saisonniers. La station de métro Esquirol est ainsi, en période estivale comme en période hivernale fortement influencée par les sources internes du métro. La ventilation semble avoir moins d'impact sur les profils chimiques de la ligne A que pour la ligne B.

Période estivale : composition des particules

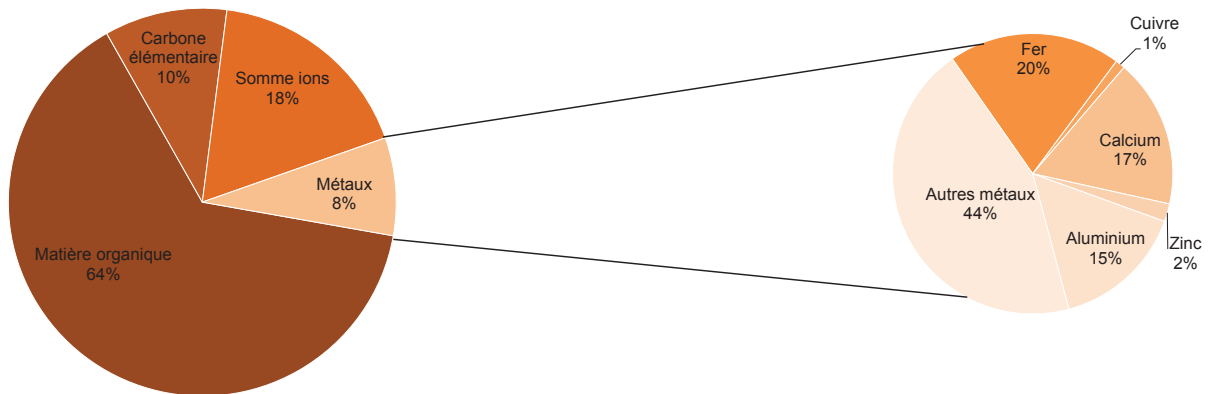
Station de métro Compans Caffarelli - période estivale



Station de métro Esquirol - période estivale



Station urbaine toulousaine Berthelot - période estivale

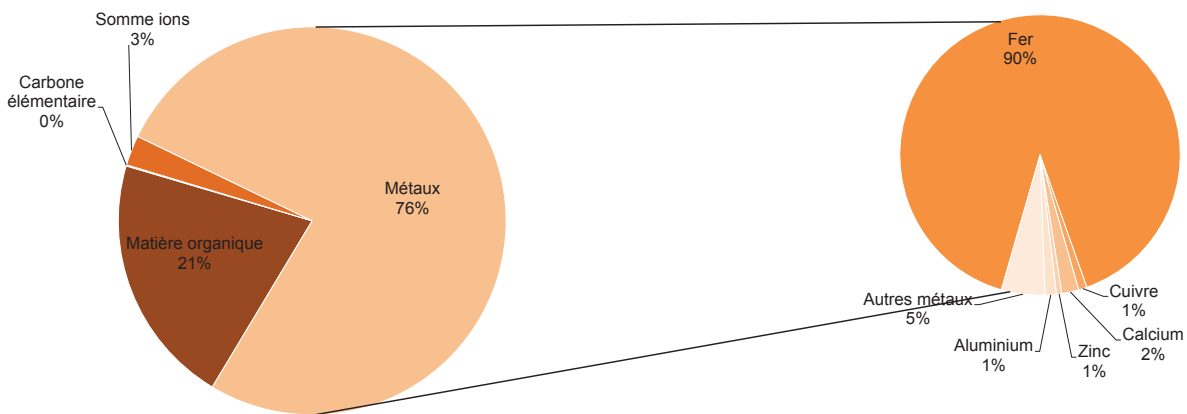


DES PROFILS DU MÊME TYPE QUE DANS LES STATIONS DE MÉTRO DE BARCELONE

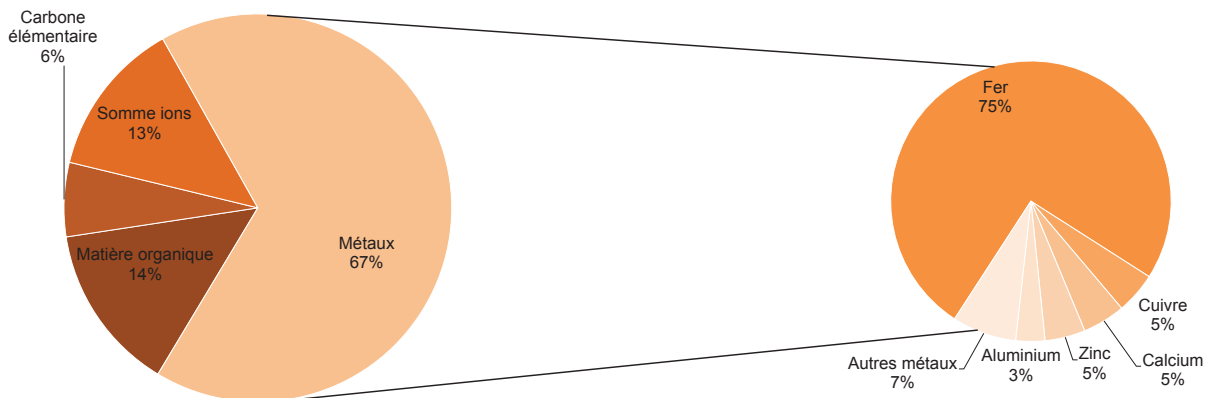
En comparaison, les profils de la station de métro toulousaine Esquirol sont du même type que ceux des stations espagnoles. On note ainsi une domination du fer et de la matière organique mais avec cependant quelques différences : beaucoup moins de carbone élémentaire, quasiment pas d'espèces ioniques pour Fontana, peu ou pas de cuivre dans les stations espagnoles, une part d'autres métaux plus forte ...

Le profil de la station de métro Compans Caffarelli montre quant à lui beaucoup plus de différence. Il est beaucoup plus influencé par l'environnement extérieur que les autres stations de métro étudiées du fait de la part de matière organique plus élevée et des métaux moins présents.

Station de métro Fontana - Barcelone - juillet 2011



Station de métro Sagrera - Barcelone - juillet 2011



Source bibliographique :

Querol X, T. Moreno, A. Karanasiou, C. Reche, A. Alastuey, M. Viana¹, O. Font, J. Gil, E. de Miguel, and M. Capdevila (2012) Variability of levels and composition of PM10 and PM2.5 in the Barcelona metro system. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 6655–6713.

Ces différentes mesures semblent donc indiquer la possibilité de variations assez importantes dans les profils sans doute dues à plusieurs facteurs : influence d'éléments internes (composition des rails, des freins...), de la localisation et de la puissance de la ventilation, impact de la pollution extérieure... L'air intérieur des stations de métro représente un système complexe impacté à la fois par l'air extérieur permettant d'alimenter les stations et par un effet d'accumulation/concentration des polluants au sein de cet environnement confiné.

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ASSEZ DIFFÉRENTES ENTRE LES SITES

Le métro source de carbone élémentaire

Le ratio EC/OC varie selon les sources d'émission.

Pour chacun des trois sites, les résultats obtenus montrent des caractéristiques spécifiques. Sur les deux stations de métro (Compans Caffarelli et Esquirol), les concentrations en OC sont légèrement plus faibles en période estivale qu'en période hivernale. Ceci peut être lié à une consommation supplémentaire de combustible pour le chauffage en hiver. Les concentrations en OC dans la station de métro Esquirol sont légèrement supérieures à celles rencontrées dans la station de métro Compans Caffarelli pour les deux périodes de mesures. Les niveaux relevés sont au moins 1,4 fois plus faibles que ceux rencontrés en proximité trafic (période hivernale) mais deux fois plus élevés que ceux rencontrés par la station urbaine (période estivale).

Les concentrations en EC sont également en baisse entre l'hiver et l'été. Pour l'EC, les concentrations les plus élevées sont observées au niveau de la station Esquirol tandis qu'on observe dans la station de métro Compans Caffarelli des niveaux légèrement supérieurs que pour la station trafic Périphérique. Il existe ainsi une source interne de carbone élémentaire; l'usure des pneumatiques dans le métro auquel s'ajoute celui introduit par le biais de la ventilation. Tisséo n'a pas relevé d'usure des pneumatiques plus importante sur les vals 206 (une rame sur deux de ce type en circulation sur la ligne A) en comparaison des vals 208 (seul type de rame en circulation sur la ligne B). L'écart de concentration entre les deux lignes de métro peut donc être attribué à la différence de débit de ventilation dans les tunnels des deux lignes.

Enfin, pour les deux périodes, le ratio EC/OC est largement supérieur à 1 à Esquirol et inférieur à 1 à Compans Caffarelli. Ces différents résultats indiquent que le site d'Esquirol est plus impacté par des processus d'accumulation très marqués que Compans Caffarelli et ce de façon constante en été comme en hiver.

	Concentrations en OC et EC en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les 4 sites et les deux périodes de mesures					
	Carbone élémentaire (EC)		Carbone organique (OC)		EC/OC	
	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été
Compans Caffarelli	7.0	4.2	8.3	6.5	0.8	0.6
Esquirol	16.3	13.1	9.9	7.3	1.6	1.8
Station trafic Périphérique	7.3	-	14.3	-	0.5	-
Station urbaine Berthelot	-	1.6	-	3.3	-	0.5

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

Les espèces ioniques introduites par la ventilation

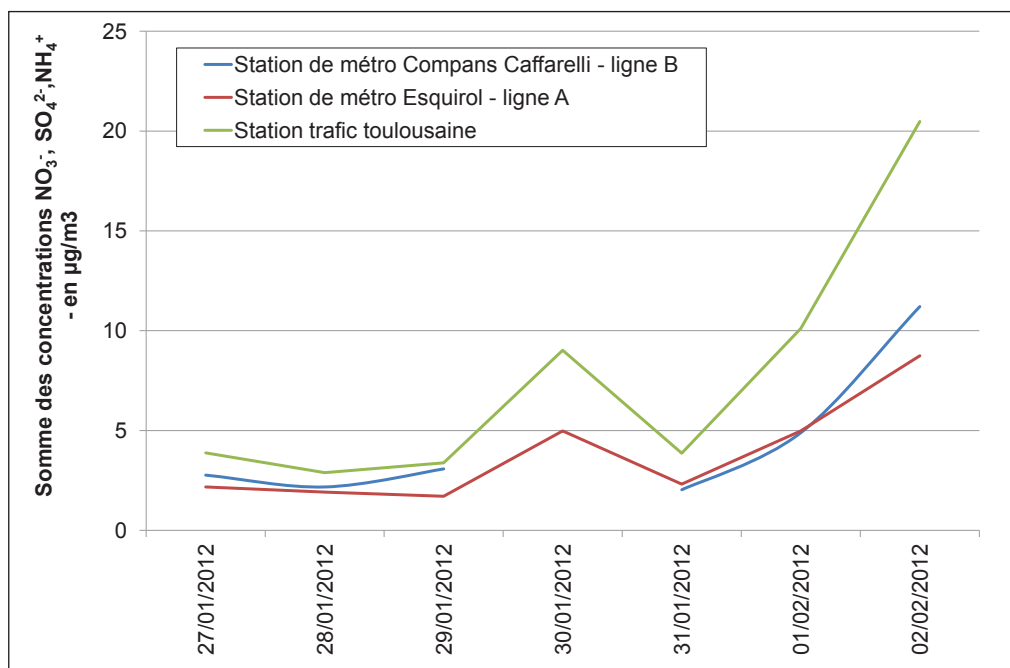
En parallèle de la mesure de la part carbonée, une analyse des ions majeurs présents dans la fraction soluble des particules a été effectuée.

Les espèces ioniques majoritairement présentes dans les particules sont :

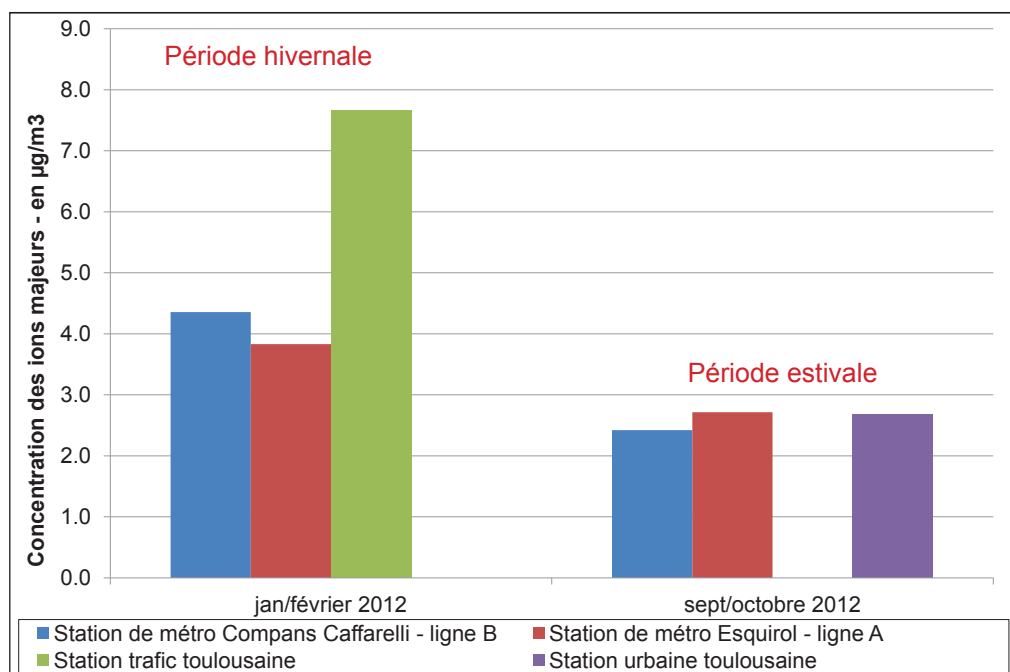
- Les sulfates, les nitrates, les chlorures pour les anions ;
- L'ammonium, le sodium, le potassium, le magnésium et le calcium pour les cations.

Les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+) sont typiques des processus de formation secondaire des émissions de combustions par oxydation du SO_2 ou des NO_x au sein de l'atmosphère. Les sulfates sont les plus abondants dans les aérosols fins et la proportion de nitrates augmente dans les masses d'air polluées du fait de la présence de NO_x . En milieu extérieur, les niveaux de concentration de ces ions sont plus élevés en période hivernale du fait des émissions plus importantes et des conditions météorologiques plus défavorables à la dispersion.

En période hivernale, les deux stations de métro Compans Caffarelli et Esquirol présentent des niveaux similaires pour les ions majeurs, NO_3^- , SO_4^{2-} et NH_4^+ . Ces niveaux évoluent de la même façon que ceux rencontrés en air extérieur. En fin de période, on note une forte hausse des concentrations le 1er et le 2 février. Cette augmentation est liée à l'épisode froid qui a démarré à cette période. Les conditions météorologiques ont favorisé une augmentation de la phase particulaire de ces espèces semi volatiles. L'origine extérieure de ces ions au cours de ces journées est donc particulièrement mise en évidence. Ces éléments sont introduits dans l'enceinte du métro par la ventilation naturelle et mécanique. Certains types de pollution particulaire extérieur peuvent donc avoir un impact sur les niveaux de concentration en particules à l'intérieur du métro.



En période estivale, la somme des ions majeurs pour les deux stations de métro est comparable à celle obtenue pour le site extérieur et on n'observe pas d'évolution temporelle remarquable pour ces trois espèces. La ventilation permet une homogénéisation des concentrations rencontrées dans le métro avec celles de l'extérieur.



	Concentrations (en µg/m³)					
	Nitrates		Sulfates		Ammonium	
	Hiver	Été	Hiver	Été	Hiver	Été
Compans Caffarelli	2.0	0.8	1.6	1.3	0.8	0.4
Esquirol	1.5	0.8	2.0	1.5	0.3	0.2
Station trafic Périphérique	4.3	-	1.8	-	1.5	-
Station urbaine Berthelot	-	0.9	-	1.4	-	0.4

µg/m³ = microgramme par mètre cube

EXISTENCE DE TRACEURS MÉTALLIQUES DES SOURCES INTERNES DU MÉTRO

Pour chaque période de mesures, les concentrations moyennes des nombreuses espèces métalliques ont été calculées pour les sites Esquirol et Compans Caffarelli (Cf annexe 7).

Pour les deux stations du métro des valeurs de concentrations très élevées ont été mesurées pour de nombreuses espèces métalliques :

- Le fer est l'élément prédominant. Ses concentrations dépassent la dizaine de µg/m³. C'est aussi une des espèces très présentes, et dans ces gammes de concentrations, dans les études présentées dans la littérature. D'après les études faites par la RATP, il provient des matériaux de freinage et de l'abrasion due au roulement.

- Le cuivre, le cadmium, le zinc et l'aluminium, le manganèse, le potassium, le baryum, l'antimoine, l'étain, le magnésium, le chrome, le plomb, et le titane enregistrent des concentrations élevées.

- Le nickel enregistre des niveaux de concentrations supérieures aux valeurs cibles fixées par la réglementation française en air extérieur pour la station de métro Esquirol.

Ces espèces métalliques avec des concentrations élevées sont généralement celles que l'on retrouve dans les études sur les systèmes de freinage de métro de la littérature.

La composition des plaquettes de frein des vals 206 et 208 font état de la présence :

- de cuivre; 22 à 23% de composés de cuivre dans les plaquettes de frein du val 206 contre 3% dans celles du val 208
- d'antimoine, à hauteur de 1% pour le val 208 et dans des proportions non connues pour le val 206.

Les plaquettes de frein du val 206 contiennent également du fer, de l'étain tandis que les plaquettes de frein du val 208 sont également composées de baryum.

Les concentrations les plus élevées sont rencontrées sur le quai de la station Esquirol en comparaison de la station Compans Caffarelli. Le ratio des concentrations en métaux Compans Caffarelli /Esquirol ramené à la concentration totale en PM10 montre que certains éléments sont plus présents dans une station en comparaison de l'autre.

Ces écarts témoignent de sources potentiellement un peu différenciées selon la ligne de métro. Rappelons que les systèmes de freinage des vals 206 en circulation sur la ligne A du métro et des val 208 en circulation sur la ligne B ne sont pas identiques ce qui peut expliquer ces différences.

Le ratio entre les valeurs moyennes de concentrations des deux stations de métro et les mesures du site trafic à l'extérieur (cf annexe 8) montre que de très nombreuses espèces sont rencontrées à des concentrations au moins 10 fois plus fortes pour le site d'Esquirol. C'est le cas du fer, du cuivre, zinc, manganèse, baryum, antimoine, étain, chrome, plomb, nickel et cobalt.

Elles sont moins nombreuses pour le site de Compans Caffarelli (fer, cuivre, baryum, antimoine et paladium).

L'analyse de la variabilité des concentrations, pour les deux sites du métro, met en évidence des sources internes très stables dans le temps. Ces « espèces stables » sont beaucoup plus nombreuses pour la station d'Esquirol que pour Compans-Caffarelli, ce qui indiquerait à nouveau une influence plus forte de ces sources internes pour cette première station.

En été, bien que les concentrations en éléments métalliques aient en général fortement diminué, les éléments rencontrés pendant la période hivernale, tels que le fer, le cuivre et le zinc restent prépondérants et dans des niveaux de concentration supérieurs à ceux rencontrés en air ambiant extérieur.

Cependant, les concentrations présentent des différences notables entre les deux stations de métro Compans Caffarelli et Esquirol.

Pendant la période hivernale, les concentrations en éléments métalliques étaient en moyenne 3,4 fois plus importantes à Esquirol qu'à Compans Caffarelli. Pour la période estivale, elles sont 14.6 fois plus élevées. Alors que la somme des éléments métalliques est quasi stable pour la station Esquirol entre les deux périodes, elle a été divisée par deux pour la station Compans Caffarelli.

Ces observations sont en accord avec les informations déjà en notre possession :

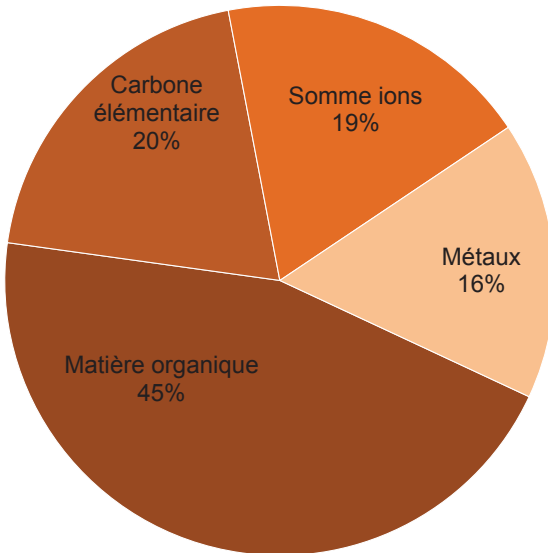
- Avec un changement de plaquette de frein nécessaires tous les 25 000 à 45 000 km pour le val 206, son système de freinage est plus émetteur de particules que celui du val 208 dont les plaquettes de frein sont changées tous les 600 à 800 000 km,
- le taux de ventilation sur la ligne B est plus important que sur la ligne A.

LE NETTOYAGE SOURCE PROBABLE DE REMISE EN SUSPENSION DE PARTICULES

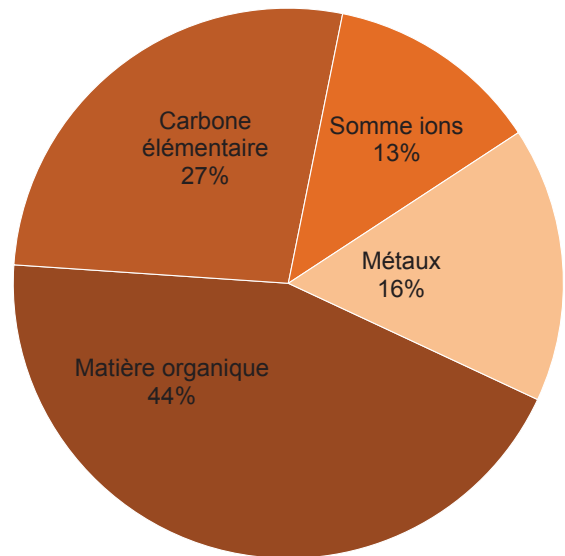
Le nettoyage de la station de métro Compans Caffarelli semble influencer sur la répartition de la composition des particules. Ainsi, on note une forte hausse du carbone élémentaire en provenance de l'environnement extérieur et également issu de l'usure des pneumatiques au détriment des espèces ioniques.

Station de métro Compans Caffarelli

Septembre 2012



Octobre 2012



De même, pour un certain nombre d'espèces métalliques, identifiées comme traceurs de l'activité métro précédemment, les concentrations rencontrées dans la station de métro Compans Caffarelli sont en forte hausse entre septembre (avant nettoyage de la station) et octobre (après son nettoyage) tandis que les niveaux rencontrés dans la station de métro Esquirol restent stables.

Ainsi, les concentrations en cuivre, baryum, étain et zinc sont multipliées par des facteurs allant de 4 à 5 tandis que le fer est multiplié par 2,75. L'arsenic est également multiplié par 2, les niveaux rencontrés restent cependant 3 fois inférieurs à la valeur réglementaire applicable en air extérieur (voir chapitre suivant). Le fer qui représentait 25% de l'ensemble des éléments métalliques en septembre en représente 49%, après nettoyage de la station.

Il semble ainsi que le nettoyage de la station Compans Caffarelli ait entraîné le réenvol de particules métalliques dans l'enceinte de la station Compans Caffarelli.

Source d'émissions potentielles

La RATP a réalisé une analyse élémentaire des matériaux bruts utilisés pour le freinage. Les résultats ont été que les semelles de freinage contiennent du manganèse. Sont également retrouvés, par ordre décroissant d'importance, le fer, l'aluminium et le silicium. Certaines semelles contiennent du chrome, du plomb ou encore du cuivre. Le nickel, enfin, apparaît en faible quantité.

Des mesures des particules émises faites sur banc d'essais ont en outre montré que le fer est l'élément prédominant. Il provient pour une part des matériaux de freinage et de l'abrasion due au roulement. Sont également retrouvés le baryum, le silicium, l'aluminium, le magnésium, le zinc, le soufre et le manganèse.

En outre, le fer, le chrome, le nickel et le manganèse sont les principaux composants des aciers constituant les rails, les cœurs de voies et les roues.

Des niveaux en métaux similaires aux campagnes précédentes

Certains métaux avaient été analysés lors de campagnes de mesures précédentes. Les niveaux observés en 2012 sont du même ordre de grandeur que ceux relevés alors.

			Ligne A	Ligne A	Ligne B	Ligne B
			hiver 2004 2005	Esquirol hiver 2012	Hiver 2008	Compans Caffarelli hiver 2012
Concentrations en ng/m ³	Aluminium	Al	-	1 846	1 006	642
	Antimoine	Sb	368	413	491	165
	Arsenic	As	-	2	3	1
	Baryum	Ba	-	482	41	374
	Cadmium	Cd	-	5	2	5
	Chrome	Cr	277	246	148	49
	Cobalt	Co	-	5	2	1
	Cuivre	Cu	5 409	5 608	1 657	1 079
	Etain	Sn	491	387	35	19
	Fer	Fe	49 084	66 966	33 778	17 749
	Manganèse	Mn	327	521	263	123
	Molybdène	Mo	-	7	36	2
	Nickel	Ni	62	30	18	7
	Plomb	Pb	109	136	33	13
	Titane	Ti	-	114	22	27
Vanadium	Va	<LD	6	4	2	
Zinc	Zn	-	2 439	3 588	1 082	
Somme métaux (en ng/m ³)			56 127	79 212	41 127	21 340

Il n'existe pas de valeur guide concernant l'exposition aux métaux dans l'air intérieur. A titre d'information, certains métaux sont réglementés dans le droit français. Les valeurs ci-dessous sont issues du code de l'environnement (partie réglementaire - Livre II « milieux physiques » - Titre II « Air et Atmosphère » - chapitre 1er : surveillance de la qualité de l'air et information du public) et de la circulaire du 12 octobre 2007 relative à l'information du public sur les particules en suspension dans l'air ambiant.

Rappelons que cette réglementation est fixée sur une année de mesures tandis que nous avons estimé que la présence des usagers dans le métro est d'environ une heure.

	Métaux	Valeurs réglementaires en air extérieur	Dépassement sur la période de mesures	Commentaire
OBJECTIF DE QUALITÉ	Plomb	250 ng/m ³ en moyenne annuelle	NON	La concentration moyenne en plomb a été de 120.0 ng/m ³ sur le quai de la station de métro Esquirol et 8.1 ng/m ³ sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli. L'objectif de qualité est donc atteint.
VALEUR LIMITE	Plomb	500 ng/m ³ en moyenne annuelle	NON	La valeur limite est respectée.
VALEURS CIBLES POUR LA PROTECTION DE LA SANTÉ	Arsenic	6 ng/m ³ en moyenne annuelle	NON	Avec respectivement 0.6 et 1.8 ng/m ³ sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli et Esquirol, la réglementation relative à l'arsenic est respectée.
	Cadmium	5 ng/m ³ en moyenne annuelle	NON	En moyenne sur les deux périodes, les niveaux de cadmium ont été de 2.5 ng/m ³ pour Compans Caffarelli et 3.8 ng/m ³ pour le site d'Esquirol. Les concentrations relevées en cadmium sont plus élevées que dans l'air ambiant extérieur (1,1 ng/m ³ sur le périphérique toulousain en période hivernale).
	Nickel	20 ng/m ³ en moyenne annuelle	OUI	Les concentrations moyennes de nickel sont de 8.1 ng/m ³ pour Compans Caffarelli et 29.6 ng/m ³ pour le site d'Esquirol. Pour le site de la station Esquirol, les niveaux de nickel relevés sur la période sont supérieurs à la valeur cible fixée en moyenne annuelle en air extérieur. Il est à noter que les concentrations de nickel en station de métro Esquirol sont relativement stables entre les deux périodes de mesures (30,2 ng/m ³ en période hivernale et 28,9 ng/m ³ en période estivale).

ng/m³ = nanogramme par mètre cube

59 composés de la fraction organique analysés

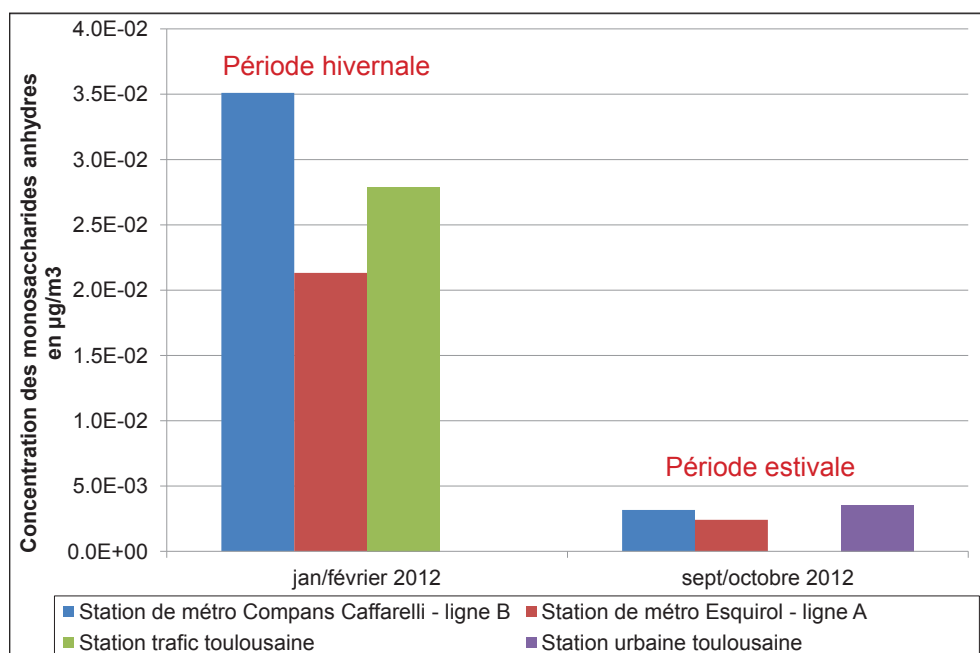
Une analyse de la fraction organique des particules a été conduite sur les 3 sites étudiés pendant les deux périodes. Cette spéciation permet la quantification de 59 composés :

- trois composés de la famille des monosaccharides anhydres : le lévoglucosan, produit lors de la combustion de la cellulose est un traceur chimique des émissions dues à la combustion de biomasse et ses deux isomères,
- le cholestérol, indicateur des émissions culinaires,
- 30 alcanes linéaires indicateurs des combustions mais également des émissions naturelles des végétaux,
- 10 hopanes, traceurs des émissions véhiculaires directes (échappements),
- 15 HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) dont le BaP réglementé actuellement en France), indicateurs de combustions de fossile et de biomasse.

Les stations de métro impactées par la combustion de biomasse à l'extérieur

En hiver, les monosaccharides anhydres mesurés en air extérieur (traceurs de la combustion de biomasse) représentent la fraction majoritaire de la matière organique identifiée avec des concentrations supérieures à celle mesurée en situation de fond rural. Les concentrations en monosaccharides anhydres observées sur les deux stations de métro et le site trafic sont importantes pour des sites non impactés directement par la combustion de biomasse. Les émissions de cette source ont dû être importantes sur l'agglomération de Toulouse au cours de l'étude et la signature chimique de l'air ambiant extérieur se retrouve au sein des sites spécifiques étudiés.

En été, la famille des monosaccharides anhydres présente, sur les 3 sites, des concentrations bien plus faibles que lors de la première campagne de février 2012. Les niveaux sont plus faibles dans l'air intérieur de la station de métro Esquirol que dans l'air ambiant contrairement à la station Compans Caffarelli pour laquelle les niveaux sont supérieurs ou du même ordre de grandeur que dans l'air ambiant extérieur. Cette variabilité saisonnière est classique pour cette famille de composés issue essentiellement de sources de combustion dont les émissions sont généralement plus fortes en période hivernale. Les monosaccharides anhydres sont introduits dans l'enceinte du métro par la ventilation. Ils contribuent à une part relativement limitée des niveaux de PM10 mesurés dans l'enceinte du métro.



Des profils de hap similaires entre l'enceinte du métro et l'extérieur

Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) sont émis par tout type de combustion. Il n'existe pas de valeur guide concernant l'exposition au benzo(a)pyrène dans l'air intérieur. A titre d'information, le benzo(a)pyrène est réglementé dans le code de l'environnement (partie réglementaire - Livre II « milieux physiques » - Titre II « Air et Atmosphère » - chapitre Ier : surveillance de la qualité de l'air et information du public). Rappelons que cette réglementation est fixée sur une année de mesures tandis que nous avons estimé que la présence des usagers dans le métro est d'environ une heure.

	Valeurs réglementaires en air extérieur	Dépassement sur la période de mesures	Commentaire
VALEURS CIBLES POUR LA PROTECTION DE LA SANTÉ	1 ng/m ³ en moyenne annuelle	NON	Avec 0,1 ng/m ³ sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli et Esquirol, la réglementation relative au benzo(a)pyrène est respectée sur la période.

ng/m³ = nanogramme par mètre cube

La somme des HAP ainsi que la concentration en BaP sont reportées dans le tableau suivant. La famille des HAP, comme celle des monosaccharides anhydres, présente, sur les 3 sites, des concentrations bien plus faibles en période estivale. Cette famille de composés est également issue essentiellement de sources de combustion dont les émissions sont généralement plus fortes en période hivernale.

La somme des HAP est inférieure pour le site de Compans par rapport au site Esquirol en hiver tandis qu'elle est du même ordre de grandeur en été.

Dans le métro, les concentrations en BaP sont faibles nettement inférieures à la valeur cible pour la protection de la santé humaine.

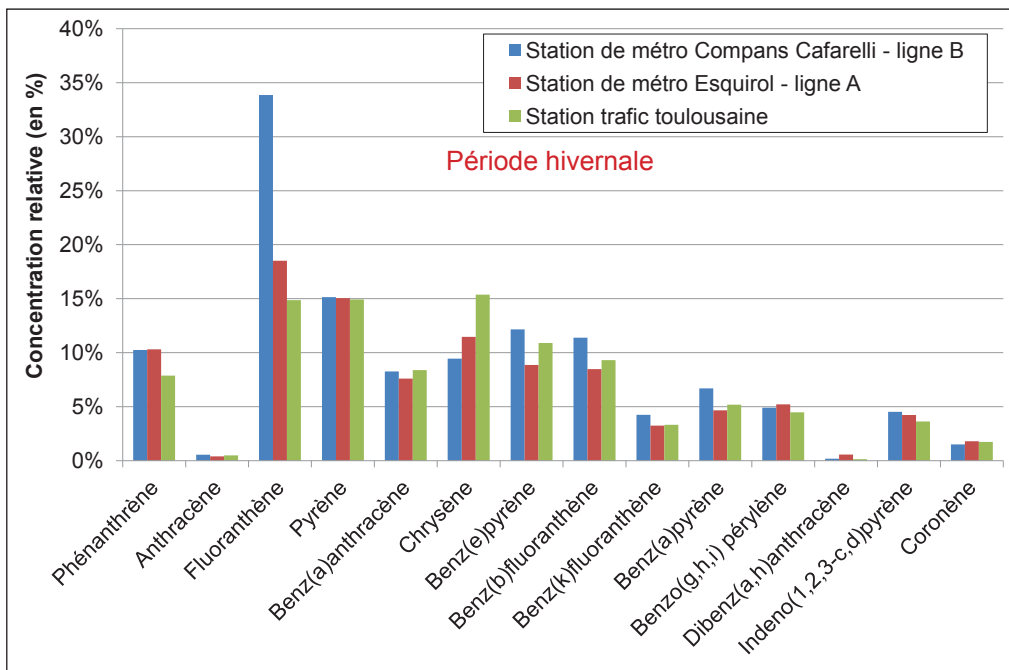
Composés	Concentrations en ng/m ³ - période hivernale				
	Compans Caffarelli	Esquirol	Périphérique	Fond urbain Toulouse	Fond rural (Gers)
Somme HAP	2.5 ± 1.5	5.9 ± 7.0	5.8 ± 2.2	-	1.1 ± 0.9
BaP	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.1	0.1 ± 0.2	0.1 ± 0.1

ng/m³ = nanogramme par mètre cube

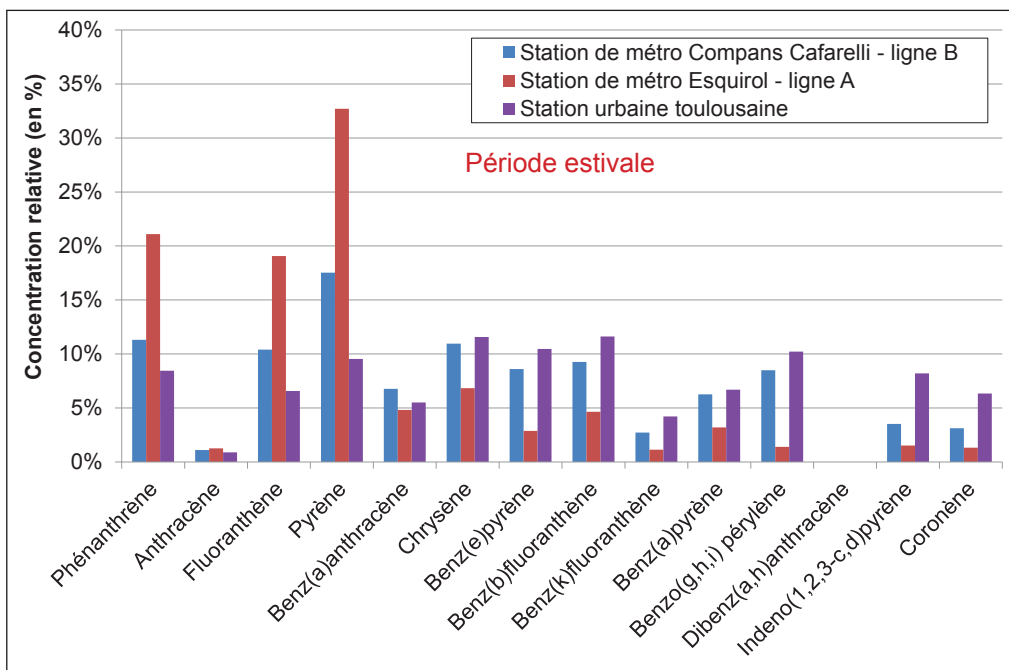
Composés	Concentrations en ng/m ³ - période estivale				
	Compans Caffarelli	Esquirol	Périphérique	Fond urbain Toulouse	Fond rural (Gers hiver)
Somme HAP	1.1 ± 0.5	0.8 ± 0.1	-	0.6 ± 0.5	1.1 ± 0.9
BaP	0.07 ± 0.03	0.02 ± 0.01	-	0.04 ± 0.03	0.1 ± 0.1

ng/m³ = nanogramme par mètre cube

La signature chimique en HAP peut être étudiée par le biais du profil chimique de cette famille de composés représentant les concentrations relatives de chaque HAP vis-à-vis de la somme totale. En période hivernale, les profils en HAP sont relativement similaires sur les 3 sites.



En période estivale, la présence de HAPs de faible poids moléculaire (Phe à Pyr) pourrait indiquer une signature chimique en HAP d'autres types d'émissions que les émissions du trafic routier. Ces HAP sont émis par la combustion de biomasse mais également par les émissions culinaires.



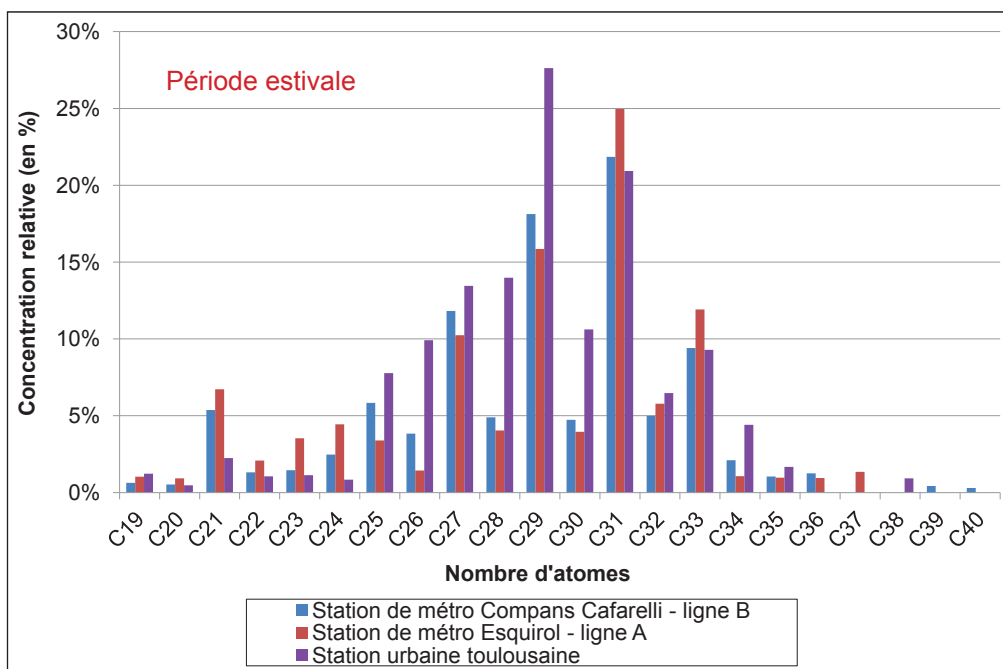
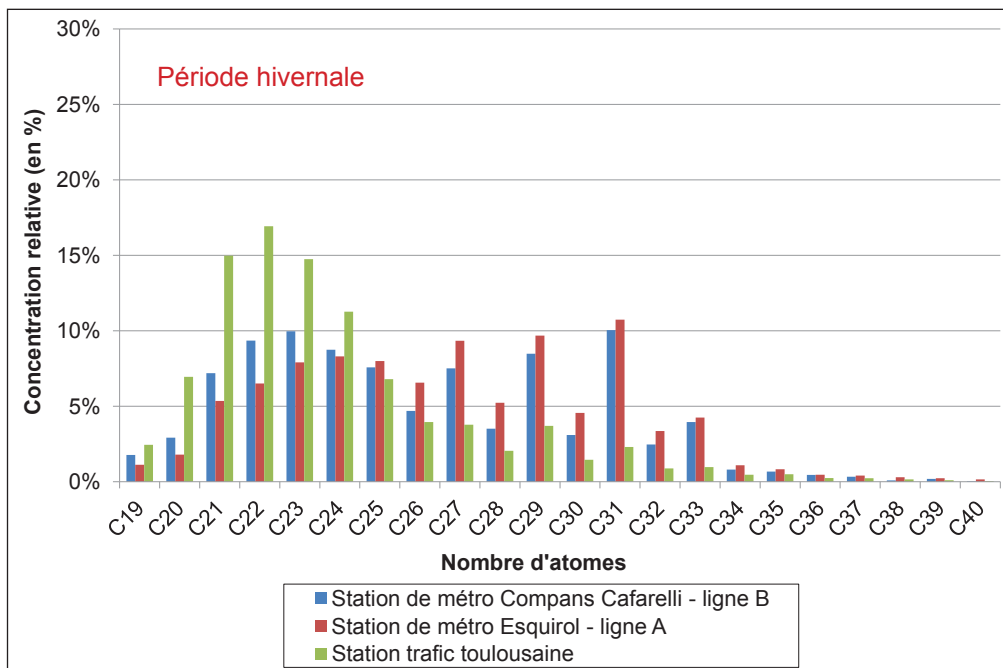
Signature chimique en alcanes similaires pour les deux stations de métro

La somme des alcanes (hydrocarbures) mesurés sur les 3 sites est du même ordre de grandeur que celle observée en air ambiant.

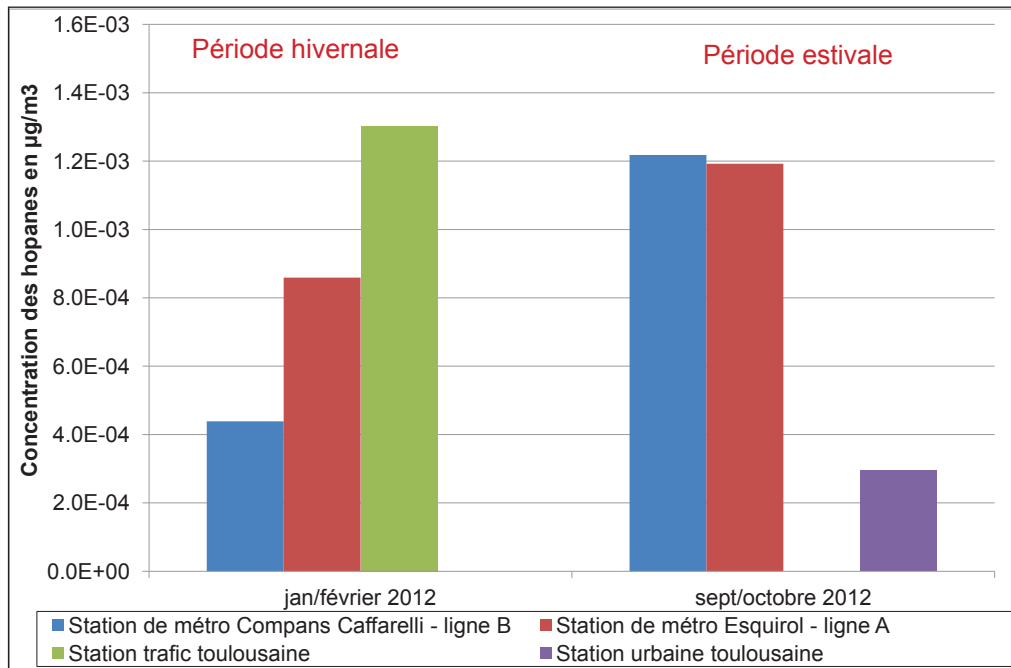
La signature chimique en alcanes linaires peut être étudiée à partir des profils chimiques en alcanes. Les profils chimiques en alcanes obtenus pour les 3 sites étudiés peuvent donner des indications sur les sources influentes. Ils sont représentés sur la figure suivante. Dans les 2 stations de métro, les profils chimiques sont différents pour les deux périodes étudiées.

Pour la période estivale dans l'enceinte du métro, les signatures chimiques sont caractéristiques des émissions naturelles des végétaux observées au printemps / été ou de combustion de déchets verts.

En hiver, cette signature apparait de manière moins marquée et mixée à la signature caractéristique des combustions de type hydrocarbure.



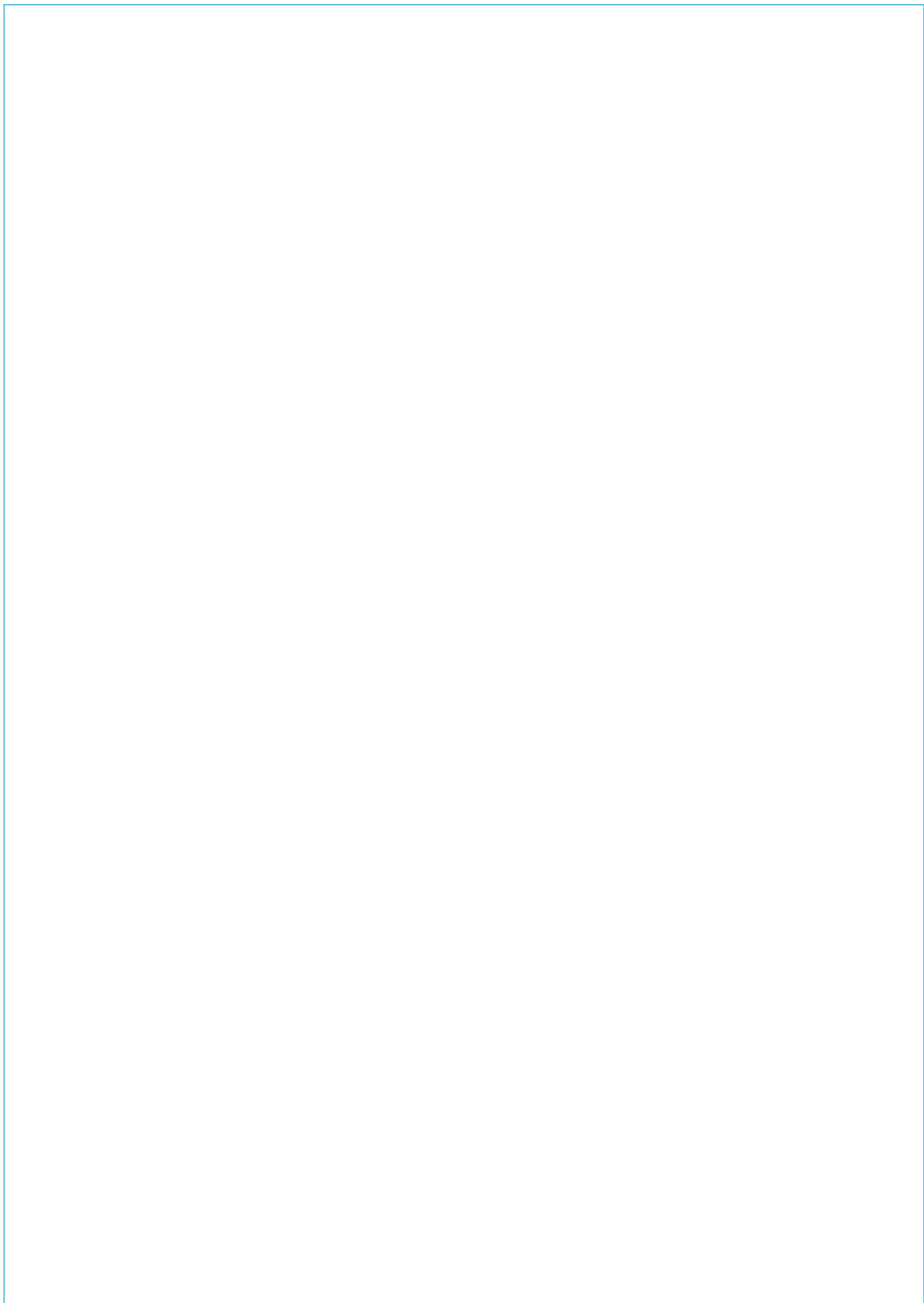
Parmi les alcanes, les hopanes sont des traceurs des émissions du trafic routier (combustions d'essence ou de gasoil). Leurs concentrations présentent des niveaux en été plus élevés que ceux rencontrés en hiver. De même, les concentrations moyennes ne présentent pas de différences notables entre les deux stations de métro. Ces observations semblent indiquer une influence plus importante de la source véhiculaire directe sur les stations de Compans et Esquirol pendant la période estivale, du fait de l'introduction plus importante de ces composés dans l'enceinte du métro par le biais de la ventilation qui fonctionne en continu.



PRÉSENCE DE CHOLESTÉROL DANS L'AIR DU MÉTRO EN PROVENANCE DES ACTIVITÉS COMMERCIALES À PROXIMITÉ

Le cholestérol mesuré dans l'atmosphère est un indicateur d'émissions atmosphériques d'activités culinaires.

Dans les deux stations de métro étudiées (Compans-Carafelli et Esquirol), ce composé est observé avec des concentrations importantes par rapport à celle mesurée sur les sites d'air ambiant (trafic et rural). Pour les deux stations de métro, la concentration en cholestérol est de l'ordre de 1 mg.g⁻¹_{OM}. Les concentrations importantes observées dans les 2 stations de métro sont probablement dues aux activités commerciales alimentaires à proximité des stations.





DIOXYDE D'AZOTE

Les faits marquants de la campagne

- Respect de la valeur guide fixée sur une heure dans l'enceinte du métro.
- Le dioxyde d'azote, en provenance de l'extérieur, est introduit par la ventilation.
- Respect de la Valeur Limite d'Exposition fixée par les ambiances de travail.

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

SOURCES

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont émis lors des phénomènes de combustion. Le dioxyde d'azote est un polluant secondaire issu de l'oxydation du monoxyde d'azote (NO). Leur présence dans les locaux est due à des sources externes (foyers pour l'industrie et le chauffage, trafic automobile) ou internes telles que les appareils fonctionnant au gaz (cuisinières, chaudières, chauffe-eau, poêles à pétrole) et dans une moindre mesure, les poêles à bois ou à essence et la fumée de cigarette.

Les stations de métro de l'agglomération toulousaine ne sont dotées d'aucun appareil de combustion. En outre, le tabagisme y est interdit et cette interdiction est respectée. Il n'y a donc, dans les stations de métro, aucune source interne de dioxyde d'azote. Ainsi, le dioxyde d'azote rencontré dans les stations de métro est le dioxyde d'azote de l'air extérieur qui pénètre dans les enceintes souterraine par ventilation naturelle et mécanique.

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 microgrammes par mètre cube, 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.

DIOXYDE D'AZOTE: RESPECT DE LA VALEUR GUIDE FIXÉE SUR UNE HEURE DANS L'ENCEINTE DU MÉTRO

Le projet IndEx (Indoor Exposure) (décembre 2004) piloté par le Centre Commun de Recherche de l'ISPRA (JRC, Institute for Health and Consumer Protection, Italie) a émis des valeurs guides pour le dioxyde d'azote (NO₂) dans les environnements clos :

- 40 µg/m³ en moyenne sur une semaine,
- 200 µg/m³ en moyenne sur une heure.

Le temps passé par un usager dans le métro (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B) est de 1h maximum par jour, à raison de deux voyages par jour de 30 mn. C'est donc la valeur guide fixée sur une heure qui est utilisée.

	Valeurs de référence	Dépassement	Commentaire
Valeur guide pour une heure dans les environnements clos	200 µg/m ³ en maximum horaire	NON	<p>Sur le quai de la station de métro Esquirol : la concentration maximale horaire de 160 µg/m³ en moyenne glissante mesurée pendant la période estivale, est nettement inférieure à cette valeur guide.</p> <p>Dans les rames de métro : La concentration maximale en NO₂ (63 µg/m³) sur 55 minutes (durée du prélèvement réalisé) enregistrée pendant la période estivale respecte cette valeur guide.</p>

µg/m³ = microgramme par mètre cube

DIOXYDE D'AZOTE: UN POLLUANT EN PROVENANCE DE L'EXTÉRIEUR

Le dioxyde d'azote rencontré dans les stations de métro est le dioxyde d'azote de l'air extérieur qui pénètre dans le métro par ventilation naturelle et mécanique.

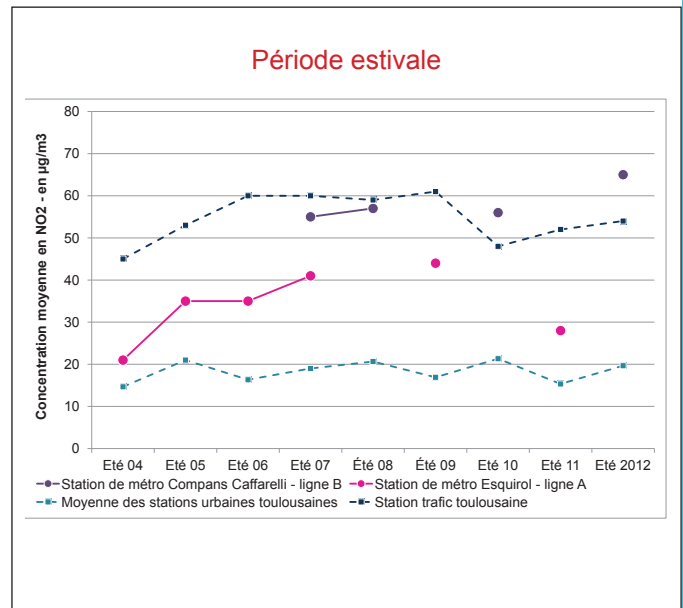
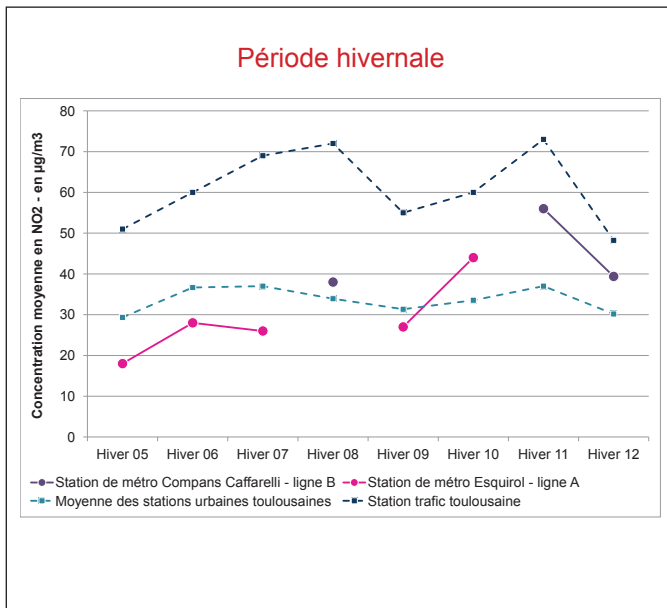
Ainsi, les teneurs les plus élevées en dioxyde d'azote sont mesurées sur les stations de métro situées dans le centre ville de Toulouse, où la densité du trafic automobile est plus importante.

Les concentrations de NO₂ dans les stations de métro sont relativement stables d'une campagne à l'autre.

- En période hivernale, les températures diurnes sont plus basses que la température de confort. La ventilation mécanique du métro fonctionne peu, le dioxyde d'azote de l'extérieur est peu introduit dans l'enceinte du métro. Les concentrations en dioxyde d'azote rencontrées dans les stations de métro sont plus faibles que celles mesurées à l'extérieur en proximité trafic,
- En période estivale, la ventilation fonctionne en continu introduisant dans l'enceinte du métro le NO₂ issu du trafic routier. Dans l'air extérieur, des processus de réactions photochimiques entraînent la destruction du NO₂ émis tandis que dans le métro, le NO₂ n'est pas détruit. Les concentrations en dioxyde d'azote rencontrées dans les stations de métro sont plus élevées que celles mesurées à l'extérieur en proximité trafic.

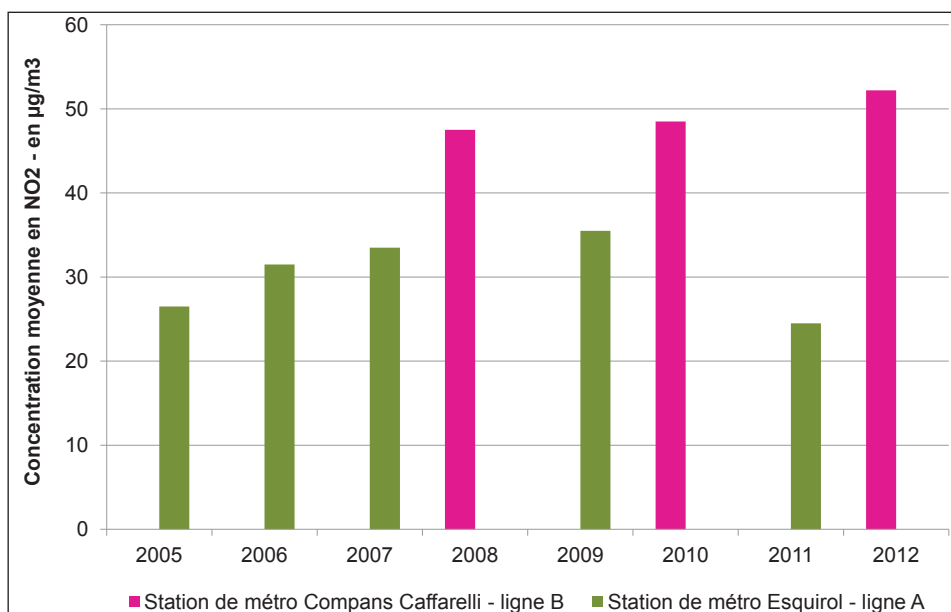
DIOXYDE D'AZOTE: STABILITÉ DES CONCENTRATIONS DANS LA STATION DE MÉTRO COMPANS CAFFARELLI EN 2012 PAR RAPPORT AUX ANNÉES PRÉCÉDENTES

La concentration moyenne en NO₂ relevée sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli pendant la campagne hivernale est similaire à celles relevées les années précédentes. En revanche, la concentration estivale est plus élevée de 16% par rapport à 2010. On note également que la concentration rencontrée en proximité trafic est en hausse de 12% pour la campagne estivale 2012 en comparaison de la campagne estivale 2010. Les niveaux de NO₂ dans l'air extérieur étaient ainsi sans doute plus élevés en 2012 en comparaison de 2010. Ce NO₂ a ensuite été introduit dans l'air de la station de métro Compans Caffarelli par le biais de la ventilation.



DIOXYDE D'AZOTE: DES CONCENTRATIONS PLUS ÉLEVÉES QUAI COMPANS CAFFARELLI QUE SUR LE QUAI ESQUIROL

Les concentrations de NO₂ dans les stations de métro – ligne A sont inférieures aux teneurs mesurées dans les stations de métro ligne B. Le tracé de la ligne B suit, sur une large portion, les boulevards toulousains. Le dioxyde d'azote présent dans le métro étant d'origine extérieure, la proximité de voies de circulation fréquentées associées à un débit de ventilation des ventilateurs tunnels plus important sur la ligne B induit des teneurs en NO₂ plus élevées sur cette ligne par rapport à la ligne A.



DIOXYDE D'AZOTE: DES CONCENTRATIONS MOYENNES PLUS FAIBLES QUE CELLES RELEVÉES DANS LE MÉTRO PARISIEN

Depuis janvier 2008, la RATP rend public les résultats de qualité de l'air dans les espaces ferroviaires souterrains du réseau francilien. Nous indiquons ci-après la concentration moyenne et le maximum horaire (mesuré pendant les heures de fréquentation du métro par les usagers) en NO₂ rencontrés sur les quais des stations du réseau francilien pour les deux campagnes de mesures dans le métro toulousain.

Du 26 janvier au 15 février 2012		Teneurs en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	43	89
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	58	93
	Auber (RER ligne A)	54	89
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	39	132

Du 05 septembre au 08 octobre 2012		Teneurs en NO ₂ (en µg/m ³)	
		Moyenne sur la période	Maximum horaire
Paris	Châtelet (métro ligne 4)	69	124
	Franklin D. Roosevelt (métro ligne 1)	64	189
	Auber (RER ligne A)	46	101
Toulouse	Compans Caffarelli (métro ligne B)	65	158

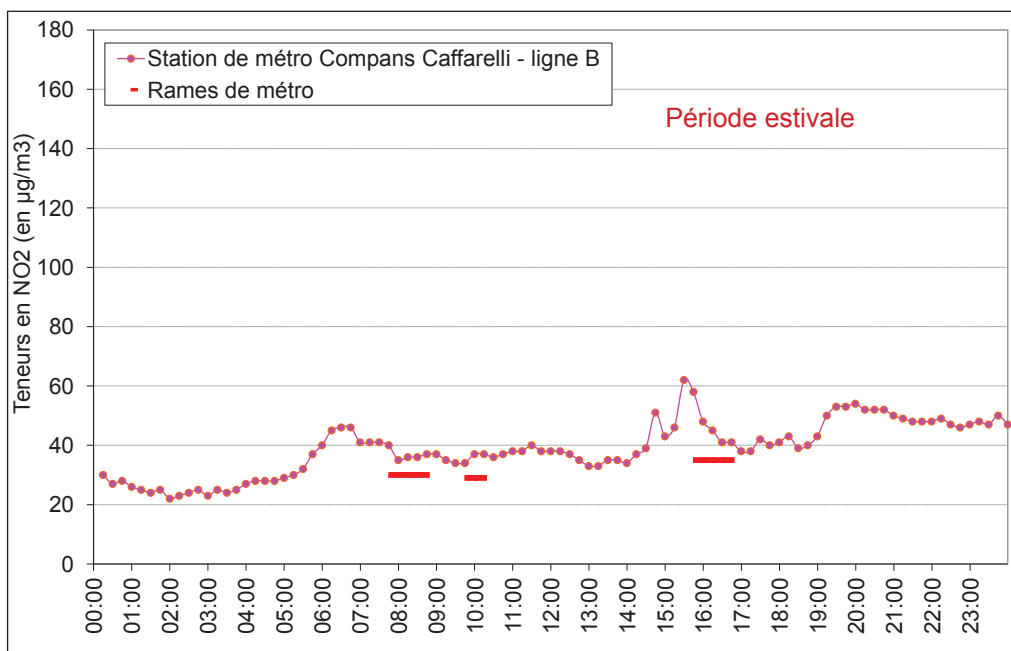
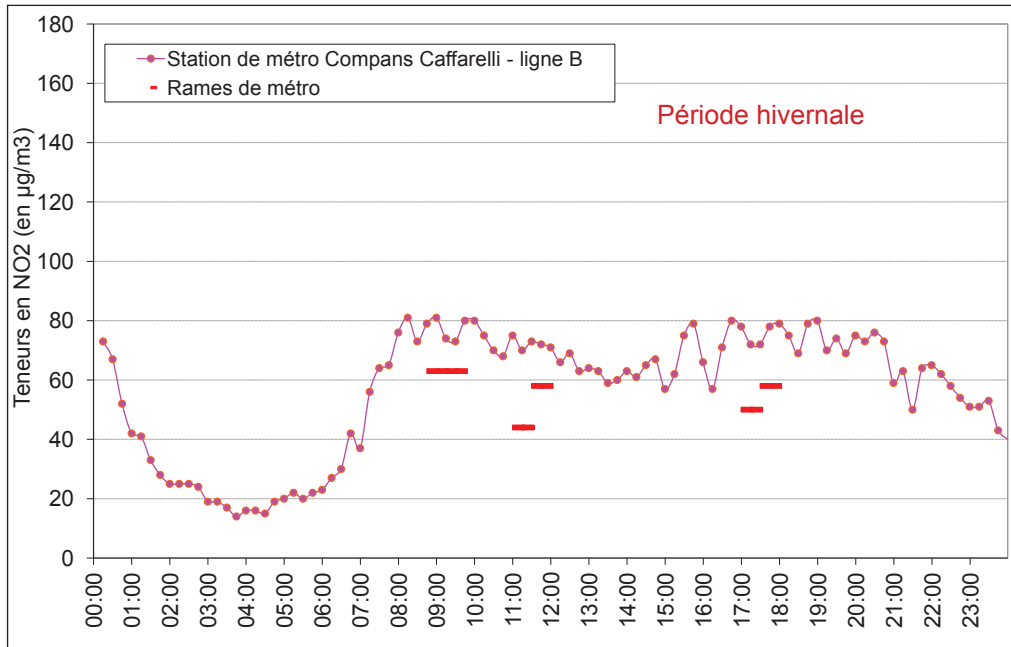
En période hivernale, les teneurs moyennes en NO₂ rencontrées sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli, sont plus faibles que celles relevées dans les stations du métro parisien Chatelet et Franklin D. Roosevelt et dans la station du RER A. En revanche, nous notons que la concentration horaire maximale est plus élevée sur le quai de la station de métro toulousaine.

En période estivale, les concentrations moyennes et les maxima horaires rencontrés sur le quai Compans Caffarelli sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le métro parisien.

Dans le métro parisien, comme dans le métro toulousain, le NO₂ présent est issu de l'environnement extérieur. Ces différences entre les deux réseaux de métro sont sans doute imputables aux niveaux de NO₂ dans l'air ambiant extérieur et à la ventilation des stations de métro.

DIOXYDE D'AZOTE: DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRES FAIBLES DANS LES RAMES DU MÉTRO

En période hivernale comme en période estivale, les concentrations en NO₂ rencontrées dans les rames de métro sont plus faibles que celles relevées dans la station de métro Compans Caffarelli.



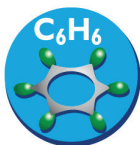
DIOXYDE D'AZOTE: RESPECT DE LA VALEUR LIMITE D'EXPOSITION

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

	Valeur en ambiance de travail	Dépassement	Commentaire
Valeur limite d'exposition	6 000 µg/m ³ sur 15 minutes	NON	<p>Sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli : la concentration maximale quart-horaire de 164 µg/m³ mesurée pendant la période estivale est nettement inférieure à la VLE fixée.</p> <p>Dans les rames de métro : La concentration maximale en NO₂ (63 µg/m³ pendant la période hivernale) sur 55 minutes (durée du prélèvement réalisé) est très inférieure à la VLE fixée.</p>

µg/m³ = microgramme par mètre cube





BENZÈNE

Les faits marquants de la campagne

- Dépassement de la valeur cible dans les deux stations de métro étudiées.
- Le benzène provient majoritairement de l'extérieur mais il semble qu'il existe de possibles sources ponctuelles internes.
- Respect de la Valeur de Moyenne Exposition fixée pour les ambiances de travail.

BENZÈNE : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Dans les lieux clos, la présence de benzène résulte à la fois des sources intérieures et du transfert de la pollution atmosphérique extérieure. Les principales sources intérieures identifiées sont les combustions domestiques et le tabagisme mais on ne peut exclure, dans certaines situations, une contribution des produits de construction, de décoration, d'ameublement ainsi que d'entretien ou de bricolage (diluants, solvants,...). La contamination de l'air extérieur résulte, quant à elle, des émissions du secteur résidentiel et tertiaire – chauffage au bois notamment – du trafic routier et de certaines industries telles que la pétrochimie.

Le benzène présent dans les stations de métro provient pour beaucoup de sources extérieures (circulation automobile), et est introduit dans le métro par la ventilation. Il y a probablement dans l'enceinte du métro d'autres sources internes de benzène telles que les produits d'entretien et/ou de maintenance qui s'ajoutent au benzène en provenance de l'extérieur.

EFFETS SUR LA SANTÉ

Le benzène est un hydrocarbure aromatique monocyclique dont les propriétés cancérigènes sont connues depuis longtemps. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé le benzène cancérigène certain pour l'homme (groupe 1) sur la base d'excès de leucémies observés lors d'expositions professionnelles. Ce composé est également classé cancérigène de catégorie 1 par l'Union européenne et par l'Agence américaine de l'environnement (US-EPA). À ce titre, il est soumis à d'importantes restrictions d'usage.

BENZÈNE : LA VALEUR CIBLE DÉPASSÉE POUR LES 2 STATIONS DE MÉTRO ÉTUDIÉES

Compte tenu des connaissances actuelles sur les effets sur la santé de cet hydrocarbure, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET) a proposé trois valeurs guides de qualité d'air intérieur (VGAI).

Ces valeurs guides sont des objectifs à atteindre mais ne sont pas des « valeurs de gestion » : elles n'ont pas été construites pour indiquer un ou des seuils de concentration à partir desquels des actions de protection de la santé doivent être mises en place. C'est pourquoi la Direction Générale de la Santé (DGS) a demandé au Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) de déterminer des valeurs repères d'aide à la gestion pour différents polluants de l'air intérieur, dont le benzène. Ces valeurs sont nécessaires, d'une part pour fixer dès maintenant des niveaux à ne pas dépasser dans les bâtiments neufs ou rénovés, et d'autre part pour engager des actions correctives dans les bâtiments existants, avec une modulation de ces actions et de leur délai de mise en œuvre en fonction des concentrations mesurées.

Considérant que l'effet cancérogène du benzène est l'effet critique à retenir pour l'établissement des valeurs repères, le HCSP propose de fixer trois valeurs pour les expositions chroniques sur le long terme :

	Valeurs de référence	Dépassement	Commentaire
Valeur d'action rapide	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	NON	Aucun site n'a obtenu de teneurs en benzène supérieures à la valeur d'action rapide proposée par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP).
Valeur repère de qualité de l'air	5 µg/m ³ en moyenne annuelle	NON	Aucun site n'a obtenu de teneurs en benzène supérieures à la valeur repère de qualité de l'air proposée par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP).
Valeur cible	2 µg/m ³ en moyenne annuelle	OUI	Les deux sites étudiés, le quai de la station de métro Compans Caffarelli et le quai de la station de métro Jean Jaurès ont mis en évidence une concentration en benzène supérieure à la valeur cible sur un an.

µg/m³ = microgramme par mètre cube

Toutefois, rappelons que cette réglementation est fixée pour une année de mesures. Or, La durée des mesures dans les stations du métro toulousain a représenté environ 8% de l'année, elle ne peut donc pas être considérée comme représentative de l'année complète.

En outre, rappelons que nous avons estimé que la présence des usagers dans le métro est d'environ une heure.

BENZÈNE : EN PROVENANCE MAJORITAIREMENT DE L'EXTÉRIEUR, MAIS DE POSSIBLES SOURCES PONCTUELLES INTERNES

Dans l'air extérieur, le benzène est rejeté lors de la combustion de combustibles pétroliers comme les fiouls et l'essence ou par simple évaporation sous l'effet de la chaleur (réservoirs automobiles). Il est donc principalement émis par le transport routier et dans une moindre mesure par les chauffages résidentiel/tertiaire.

Etant principalement émis par la circulation routière, les concentrations en benzène les plus élevées sont mesurées dans le centre-ville. Introduit majoritairement par la ventilation, les concentrations maximales en benzène sont également mesurées dans les stations de métro du centre ville.

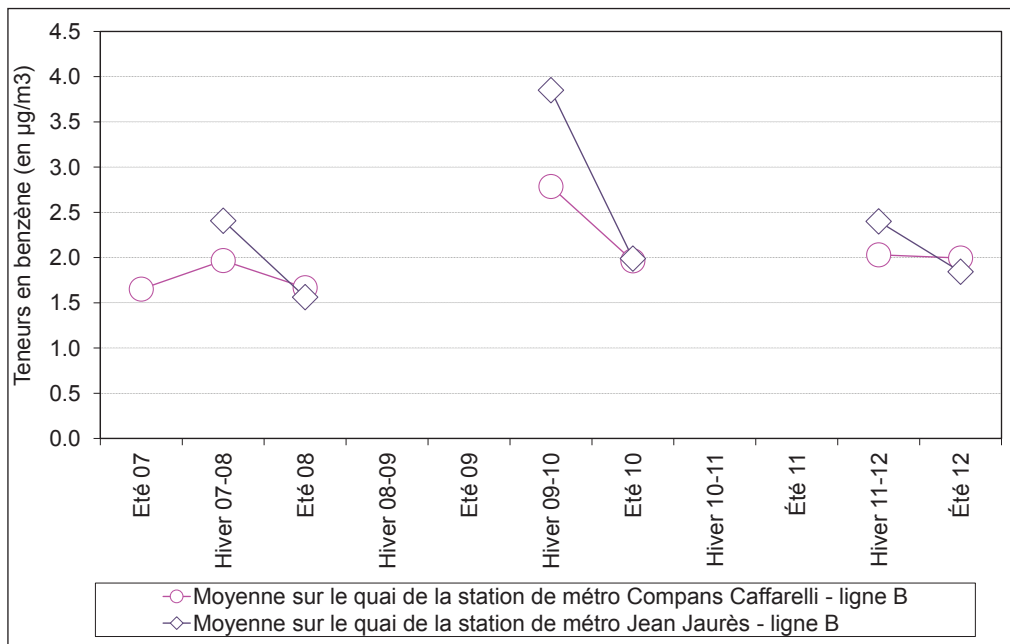
Concentration moyenne en benzène			
Ligne B			Air extérieur
Compans-Caffarelli	Jean Jaurès	Station urbaine Berthelot	
Moyenne des deux périodes de mesures	2.0	2.1	1.5

Les études précédentes ont montré que les concentrations mesurées à l'intérieur de stations de métro sont légèrement supérieures à celles rencontrées à l'extérieur. Il y a donc dans l'enceinte du métro des sources internes de benzène sans doute dues aux produits utilisés (entretien et/ou maintenance) qui s'ajoutent au benzène en provenance de l'extérieur. L'hypothèse qui a été émise pour expliquer ces concentrations en benzène plus élevées dans le métro en comparaison de l'extérieur est la présence de benzène et plus généralement de Composés Organiques Volatils dans les produits nettoyants utilisés dans le métro.

Une étude a ainsi été engagée en 2013 pour déterminer les principales familles de substances rencontrées dans les produits d'entretien dont ceux utilisés dans le métro et fournit des indications sur les principaux impacts qu'elles ont sur l'environnement et la santé.

BENZÈNE : DES NIVEAUX EN BAISSSE PAR RAPPORT À L'HIVER 2009-2010

Après une hausse des concentrations relevées pendant l'hiver 2009-2010, on note, pour cette nouvelle campagne de mesures, un retour à des niveaux de benzène sur le quai des deux stations de métro étudiées similaires à ceux rencontrés en 2007-2008.



BENZÈNE : DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRES DANS LES RAMES SIMILAIRES À CELLES SUR LE QUAI

Pour la campagne de mesures hivernale 2011-2012, les concentrations en benzène enregistrées dans les rames de métro sont légèrement supérieures à celles relevées sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli et Jean Jaurès pendant 15 jours.

Campagne hivernale 2011 - 2012 : Mercredi 08 février 2012				
Teneurs en benzène (en µg/m³)				
Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir	Quai des stations de métro	
Rame	Rame	Rame	Compans Caffarelli	Jean Jaurès
3.1	2.5	2.6	2.0	2.4

µg/m³ = microgramme par mètre cube

En revanche, pour la campagne estivale, les concentrations en benzène sont légèrement plus faibles.

Campagne hivernale 2011 - 2012 : Mercredi 12 septembre 2012				
Teneurs en benzène (en µg/m³)				
Heure pointe matin	Heure creuse matin	Heure pointe soir	Quai des stations de métro	
Rame	Rame	Rame	Compans Caffarelli	Jean Jaurès
1.9	1.7	1.4	2.0	2.1

BENZÈNE : RESPECT DE LA VALEUR DE MOYENNE EXPOSITION

Les mesures en moyenne sur 15 jours ou sur 45 minutes dans les rames ne sont pas comparables à la réglementation du travail, fixée sur 8 heures. Cependant, aux vues des teneurs maximales en benzène rencontrées dans le métro nous pouvons considérer que les teneurs maximales quart-horaires dans les locaux techniques auraient été nettement inférieures aux valeurs fixées par le code du travail.

	Valeur en ambiance de travail	Dépassement	Commentaire
Valeur moyenne d'exposition	3 250 µg/m³ sur 8 heures	NON	<p>Dans les rames de métro : La concentration maximale sur 45 minutes en benzène (3.1 µg/m³) est très inférieure à la VME fixée.</p> <p>Sur les quais des stations de métro : La concentration moyenne sur 15 jours en benzène (2.4 µg/m³ pour le quai de la station de métro Jean Jaurès) est très inférieure à la VME fixée.</p>

µg/m³ = microgramme par mètre cube



LE CONFINEMENT

Les faits marquants de la campagne



Niveau de confinement satisfaisant dans le métro.

CONFINEMENT

Le dioxyde de carbone, est un composé chimique de formule CO_2 . Dans les conditions normales de température et de pression, c'est un gaz incolore, inodore, à la saveur piquante.

Le CO_2 est un gaz à effet de serre bien connu, transparent en lumière visible mais absorbant dans le domaine infrarouge, de sorte qu'il tend à bloquer la réémission l'énergie thermique reçue du soleil. Son suivi en air intérieur est intéressant car il s'agit d'un très bon indicateur de l'efficacité de ventilation d'un bâtiment et de son niveau de confinement.

En effet, à l'intérieur et en l'absence de sources de combustions, ce sont essentiellement les rejets de gaz carbonique par les occupants lorsqu'ils respirent qui sont à l'origine de l'augmentation des niveaux de CO_2 . Le gaz carbonique est donc un indicateur du taux de renouvellement d'air pour l'air intérieur. Ainsi, dans un local mal ventilé, le CO_2 émis voit sa concentration augmenter rapidement.

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

*"Art. 64.-Ventilation mécanique ou naturelle des conduits" du règlement sanitaire départemental
"(...) Dans les conditions habituelles d'occupation, la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone ne doit pas dépasser 1 p.1000 avec tolérance de 1,3 p.1000 dans les locaux où il est interdit de fumer."*

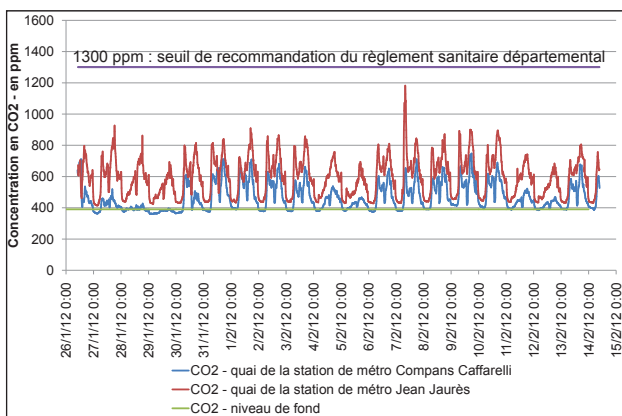
RECOMMANDATION DU RÈGLEMENT SANITAIRE DÉPARTEMENTAL RESPECTÉE

	Valeur de référence	Dépassement	Commentaire
Recommandation du règlement sanitaire départemental	1300 ppm	NON	Les niveaux de CO ₂ ont culminé à environ 800 ppm pour la station de métro Compans Caffarelli et à 1200 ppm pour la station de métro Jean Jaurès pendant la période hivernale.

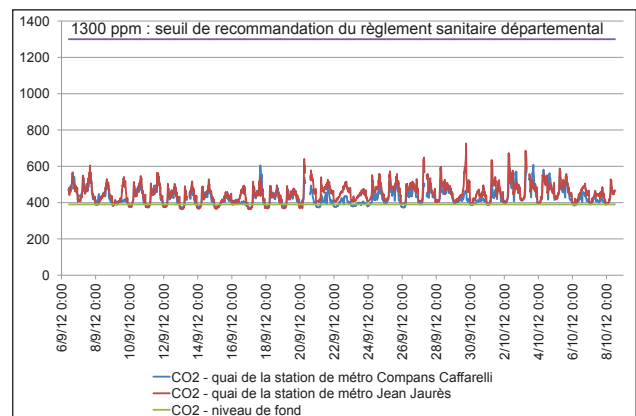
UN NIVEAU DE CONFINEMENT SATISFAISANT DANS LE MÉTRO

Sur l'année 2012, les niveaux de CO₂ ont culminé à environ 800 ppm pour la station de métro Compans Caffarelli et à 1200 ppm pour la station de métro Jean Jaurès, ce qui est inférieur au seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs. Ces niveaux de dioxyde de carbone suggèrent un niveau de confinement faible dans les deux salles instrumentées. Le premier constat est donc que le système de ventilation dont sont équipées les stations de métro permet de maintenir le CO₂ à des niveaux satisfaisants. En outre, l'augmentation du temps de fonctionnement des ventilations en période estivale permet de réduire fortement les niveaux de concentration dans le métro. On observe que le quai de la station de métro Jean Jaurès enregistre les concentrations les plus hautes en présence du public. Cette station compte jusqu'à 42000 validations/jour contre environ 17 000 pour la station de Compans Caffarelli. Cette fréquentation nettement plus importante induit également une émission plus importante également de CO₂. En dehors des heures de fonctionnement du métro, les concentrations sont restées proches du niveau de fond extérieur, la différence apparaissant sur le graphique est inférieure à l'incertitude des appareils et n'est donc pas significative.

Période hivernale



Période estivale

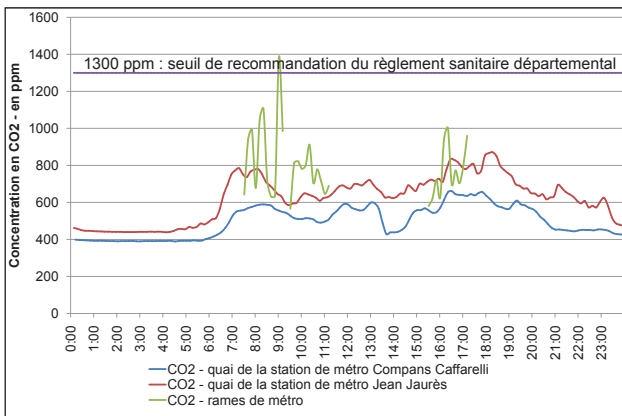


UN NIVEAU DE CONFINEMENT LÉGÈREMENT PLUS ÉLEVÉ DANS LES RAMES DE MÉTRO

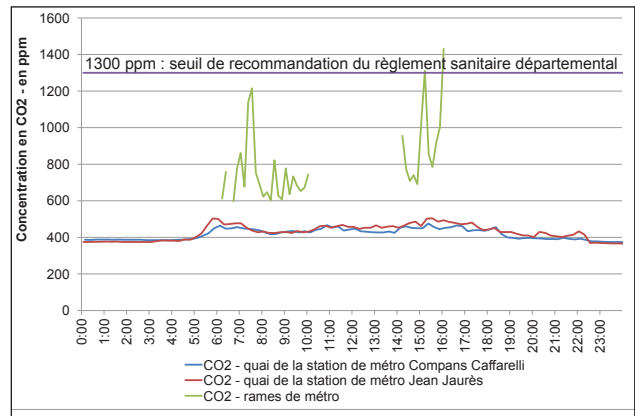
Lors des mesures de CO₂ dans les rames de métro, les niveaux ont généralement été plus élevés que sur les quais.

La concentration maximale atteinte sur 10 minutes a été de 1430 ppm pendant la période estivale. Les niveaux de CO₂ dans les rames de métro peuvent donc dépasser le seuil du règlement sanitaire départemental fixé à 1300 ppm pour les locaux non fumeurs. Cependant, ces dépassements semblent ponctuels, ils ont représenté 10% du temps de mesure des deux campagnes.

Période hivernale

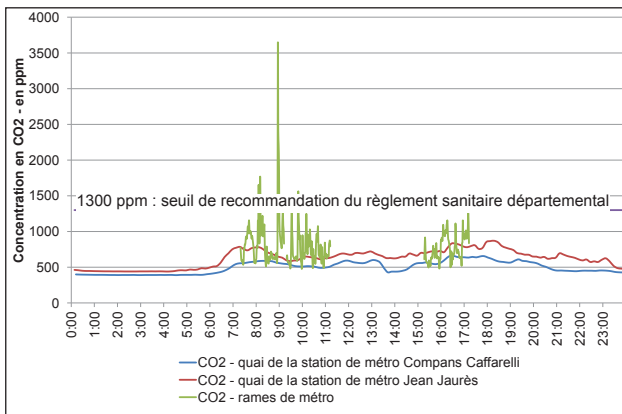


Période estivale

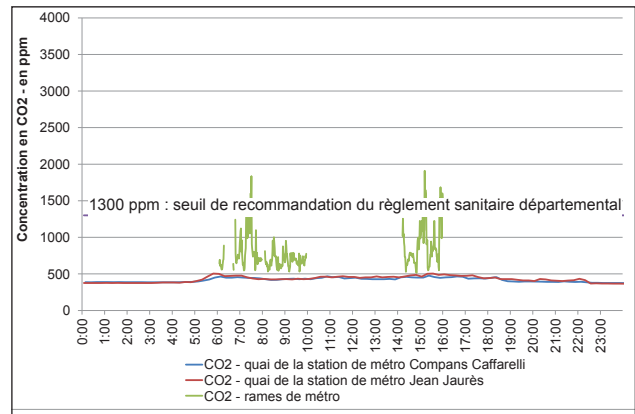


Sur un pas de temps d'une minute, les variations des concentrations en CO₂ dans les rames de métro sont très importantes de 500 ppm à 3650 ppm pendant la période hivernale et de 500 ppm à 1900 ppm pendant la période estivale. Cela traduit l'influence de la fréquentation du métro selon les stations desservies.

Période hivernale



Période estivale



ANNEXES

Annexe 1 :	Caractéristiques techniques du métro toulousain.....	page 67
Annexe 2 :	Caractéristiques techniques des stations de métro parisien	page 68
Annexe 3 :	Évaluation de la qualité de l'air dans les zones accessibles au public.....	page 70
Annexe 4 :	Calcul des valeurs de référence de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines pour le métro toulousain.....	page 73
Annexe 5 :	Évolution des teneurs en PM10 sur le quai de stations de métro depuis 2004	page 74
Annexe 6 :	Aspects de la réglementation en ambiance de travail	page 75
Annexe 7 :	Concentrations en métaux relevés dans deux stations de métro toulousaines et en site de proximité trafic	page 77
Annexe 8 :	Ratio entre les valeurs moyennes de concentration des deux stations de métro et les mesures des sites urbain et trafic à l'extérieur	page 78

ANNEXE 1 :**- CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MÉTRO TOULOUSAIN****I.A CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE A**

- 12,4 km orientés dans l'axe sud-ouest nord-est passant par le centre de Toulouse essentiellement souterrain,
- 18 stations de métro,
- rames type VAL 206 (Véhicule Automatique Léger) : 29 rames,
- rames type VAL 208 : 14 rames,
- 36 rames circulent simultanément aux heures de pointes,
- le parc est constitué de 43 rames au total,
- vitesse commerciale moyenne : 32 km/h,
- 24 minutes pour traverser Toulouse de Basso-Cambo à Balma Gramont,
- fréquence de passage de rame : de 70 secondes au minimum (aux heures de pointes) et jamais plus de 5 minutes (pendant les heures creuses).
- 150 000 à 160 000 validations pour le métro par jour (journée record : le 12 janvier 2005 : avec près de 185 000 validations).

I.B CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE B

- 15.8 km orientés dans l'axe nord/sud passant par le centre de Toulouse entièrement souterrain,
- 20 stations de métro,
- rames type VAL 208 (Véhicule Automatique Léger),
- 36 rames circulent simultanément aux heures de pointes,
- le parc est constitué de 43 rames au total,
- vitesse commerciale moyenne : 36 km/h,
- 24 minutes pour traverser Toulouse de Borderouge à Ramonville,
- fréquence de passage de rame : 1 minute et demie aux heures de pointes.
- 140 000 validations sur la ligne B par jour (journée record : le 6 décembre 2007 : avec 152 000 voyageurs).

I.C CARACTÉRISTIQUES COMMUNES AUX DEUX LIGNES

Le matériel roulant est sur pneumatiques.

La ventilation des rames est assurée par des ventilateurs embarqués qui aspirent l'air du tunnel dans les plafonds des véhicules. Les rames circulent dans des ouvrages souterrains où l'air est renouvelé par ventilation mécanique. La ventilation dans toutes les stations de métro est mise en route à partir des données fournies par des sondes de températures qui visent à maintenir une température de confort qui ne soit pas trop élevée.

- En période hivernale, les températures diurnes sont plus froides que la température de confort. La ventilation fonctionne peu.
- En période estivale, les températures diurnes sont plus élevées que la température de confort. La ventilation fonctionne.

ANNEXE 2 :**- CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES STATIONS DU METRO PARISIEN****STATION DE MÉTRO CHÂTELET (MÉTRO LIGNE 4)**

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

En 2004, elle était la dixième station la plus fréquentée du réseau, avec 12,84 millions d'utilisation. La ligne 4 est entièrement souterraine et située dans Paris intra-muros. La longueur totale de la ligne est de 10,6 kilomètres. Avec 26 stations, la longueur moyenne des interstations est de 424 mètres, ce qui est la plus faible valeur du réseau parisien. Elle est la seule en correspondance avec la totalité des lignes principales de métro et les cinq lignes du RER.

En 2008, le parcours complet de la ligne demande environ 30 minutes. L'intervalle moyen entre les rames les jours ouvrés est de deux à quatre minutes en journée et de cinq à sept minutes le soir.

Le parc de véhicules de la ligne 4 est composé de quarante-six rames en 2008. Les rames en circulation, les MP 59, sont montées sur pneumatique. Les MP59 constituent le plus ancien matériel roulant encore en circulation sur le réseau en 2008.

Le métro sur pneumatiques est un système de métro qui circule sur des roues équipées de pneumatique, par opposition au matériel ferroviaire classique roulant sur des roues en acier. Il nécessite une voie spécialement aménagée.

Les rames sont équipées de bogies dont les essieux conservent les roues en acier classiques et comportent en outre deux roues, de même diamètre, équipées de pneumatiques et situées à l'extérieur des précédentes. Les roues à pneus assurent les fonctions de traction et de freinage, celles en acier servent en cas de secours (crevaisin) ainsi qu'au guidage lors du franchissement des aiguillages et pour le retour du courant électrique de traction. Les bogies comportent également des roues horizontales plus petites assurant le guidage latéral des véhicules.

La voie comporte deux rails en acier, comme toute voie ferrée, et de ce fait autorise la circulation de matériel ferroviaire classique, notamment pour les opérations d'entretien, et deux pistes de roulement dont la largeur est adaptée à celle des pneumatiques. Elle comporte en outre un rail latéral servant à la fois au captage du courant par frotteurs et de piste de roulement pour les roues horizontales. Le retour du courant de traction s'effectue par les rails classiques.

Le système VAL fonctionne également selon ce principe, mais les rames ne disposent pas de roues en acier, les voies n'étant dotées que de pistes pour pneumatiques et non de rails classiques. Les aiguillages sont franchis grâce à un système différent, un appareil de guidage situé dans l'axe de la voie.

STATION DE MÉTRO FRANKLIN D ROOSEVELT (MÉTRO LIGNE 1)

Franklin D. Roosevelt est une station des lignes 1 et 9 du métro de Paris ; elle est située dans le 8e arrondissement de Paris.

En 2004, elle était la treizième station la plus fréquentée du réseau, avec 12,19 millions d'entrants directs soit environ

La ligne 1 du métro de Paris, première ligne française dont le premier tronçon a été ouvert en 1900 lors de l'exposition universelle, relie aujourd'hui la station La Défense à l'ouest, à la station Château de Vincennes, à l'est et traverse 6 communes. Avec une longueur de 16,5 kilomètres, elle constitue une

voie de communication est-ouest majeure pour la ville de Paris : c'est historiquement la ligne de métro la plus fréquentée du réseau.

Elle dessert 256 stations, la longueur moyenne des interstations est de 688 mètres.

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

En 2008, le parcours complet de la ligne demande trente-cinq minutes. L'intervalle moyen entre les rames les jours ouvrés est de deux à quatre minutes en journée et de cinq à sept minutes le soir.

Le parc de véhicules de la ligne 1 est composé de cinquante-deux rames en 2007. Les rames en circulation, les MP89CC (CC pour Conduite Conducteur (manuelle)), sont montées sur pneumatique.

En 2010, la ligne 1 deviendra la première ligne majeure d'un réseau métropolitain existant dans une capitale à être intégralement automatisée. Dans le cadre de la modernisation et de cette ligne la station Franklin D Roosevelt est en travaux jusque fin 2008. Les quais de cette station seront entièrement rénovés comme l'ensemble des quais de la ligne. Ils seront équipés de portes palières fin 2008.

STATION DE RER AUBER (RER LIGNE A)

La gare Auber est une gare ferroviaire du 9^e arrondissement de Paris.

Elle est desservie à raison :

- de 12 trains par heure le samedi et le dimanche, 18 trains/heure aux heures creuses du lundi au vendredi, et de 24 à 30 trains/heure aux heures de pointe soit un train toutes les 2 minutes sur le sens le plus chargé. En soirée, c'est 8 trains par heure.

La ligne A du RER, est une ligne du réseau express régional d'Île-de-France qui traverse d'est en ouest l'agglomération parisienne, avec plusieurs embranchements. Elle relie Saint-Germain-en-Laye (branche A1), Cergy (branche A3) et Poissy (branche A5) à l'ouest, à Boissy-Saint-Léger (branche A2) et Marne-la-Vallée (branche A4) à l'est, en passant par le cœur de Paris.

D'une longueur de 108 km, elle dessert au total 46 gares dont 5 dans Paris intra-muros et traverse 41 communes. La longueur moyenne des interstations est de 2 360 mètres.

Elle est de loin la plus chargée du réseau avec un million de voyageurs par jour ouvrable et régulièrement proche de la saturation, ce qui en fait également une des lignes au trafic les plus denses du monde. Elle assure à elle seule plus d'un quart du trafic ferroviaire de la banlieue parisienne.

Le RER A est exploité à l'aide de trois types de matériels roulants différents roulant sur des roues en acier :

- 125 rames MS 61 ;
- 65 rames MI 84 ;
- 43 rames MI 2N (à deux niveaux).

ANNEXE 3 :

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ZONES ACCESSIBLES AU PUBLIC

I - QUAIS DE STATIONS DE MÉTRO :

MESURES DE POLLUANTS GAZEUX ET PARTICULAIRES

Des mesures de polluants gazeux et particulaires par analyseurs automatiques ont été menées sur le quai de la station de métro Esquirol. Le choix de ce site de mesures repose sur des critères de fréquentation de la station par les usagers ainsi que sur des contraintes techniques inhérentes au fonctionnement et à la sécurité des analyseurs.

Ces mesures ont pour but de connaître la qualité de l'air respiré par les usagers en attente dans le métro.



Cette station de mesures a été équipée de trois analyseurs permettant chacun la mesure en continu 24h/24 d'un polluant ou d'une famille de polluants.

Station de mesure provisoire sur le quai de la station de métro Esquirol

Les paramètres mesurés par analyseurs fixes automatiques sont les suivants :

Polluants atmosphériques	Technique de mesure	Norme
Monoxyde et Dioxyde d'azote	Chimiluminescence	NF X 43-018
Particules de diamètre inférieur à 10 µm	Gravimétrie	NF ISO 7708

Ces analyseurs 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.

Ces analyseurs fournissent des données tous les quarts d'heure.

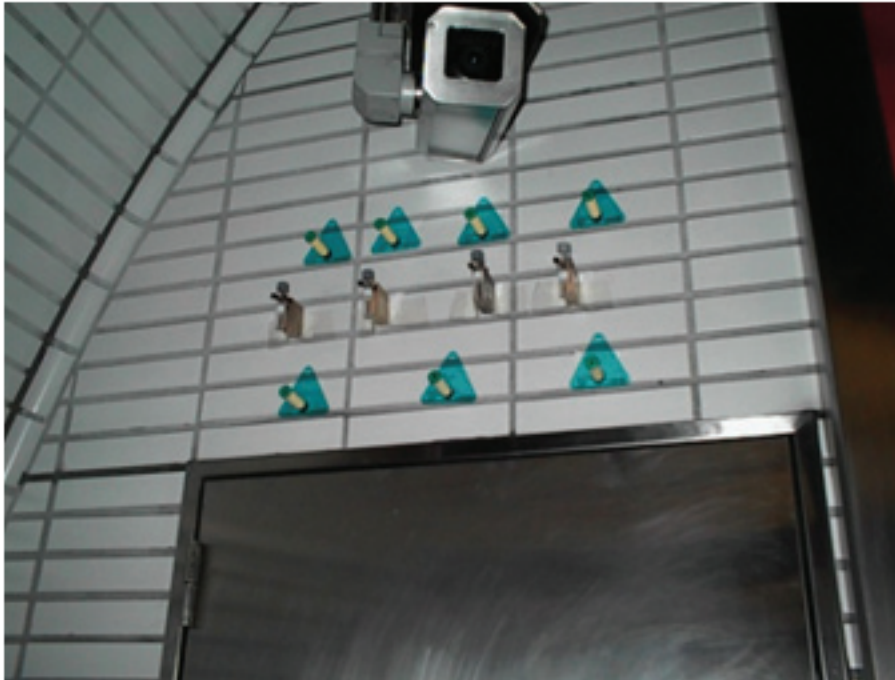
Ces stations ont également été équipées d'un système d'acquisition qui permet de stocker les données.

MESURES PAR ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS

Des mesures de benzène, par échantillonneurs passifs ont été réalisées sur les quais des stations de métro Compans Caffarelli et Jean Jaurès-ligne B.

Ces mesures ont permis d'établir une cartographie de distribution de polluants gazeux sur l'ensemble du réseau métro ouvert au public (quais, couloirs et salles des billets). De plus, des tubes échantillonneurs passifs ont été placés à l'entrée de chaque station de métro afin de connaître les niveaux de concentrations à l'extérieur.

Les valeurs obtenues grâce à cette technique sont des concentrations moyennes du polluant mesuré



Tube à diffusion passive

dans l'air ambiant sur la période d'exposition déterminée. Or, le temps moyen passé dans une rame de métro est de 6 minutes, temps auquel il faut ajouter l'accès à la rame et la sortie du métro. Il faut donc considérer 3 temps : 6 minutes dans une rame (temps moyen passé par les usagers du métro), 15 minutes en moyenne dans le réseau (depuis la salle des billets jusqu'à la rame et inversement, considérant les échanges lignes A et B) et enfin 30 minutes maximum dans le métro (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B).

Les mesures par tubes passifs ne sont donc pas représentatives

de la qualité de l'air respirée par les usagers mais permettent de définir la répartition des polluants sur le réseau.

MESURES PAR POLLUANTS PARTICULAIRES



Un analyseur de particules de diamètre inférieur à 10 μm permettant la mesure en continu 24h/24 (technique de mesures : gravimétrie) a également été installé dans la station de métro Jean Jaurès sur le quai de la ligne B durant la même période que la station de mesures sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli.

Station de mesure provisoire sur le quai de la station de métro Jean Jaurès (ligne A)

II - RAMES DE MÉTRO

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

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

Cependant, au printemps 2008, l'ORAMIP a mené une étude afin d'évaluer l'exposition des personnes à la pollution de l'air dans différents moyens de transports : voiture, bus, métro, marche à pied et vélo. Afin de réaliser cette étude, l'ORAMIP a testé un nouveau type d'appareillage à la fois portatif et précis pour la mesure du dioxyde d'azote, des BTEX et des particules. Cet appareillage ayant donné satisfaction, nous avons décidé de l'utiliser dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air dans le métro toulousain pendant la campagne hivernale 2008-2009.

Toutefois, les résultats obtenus pour le dioxyde d'azote ont montré que cette technique de mesures engendre une sous-estimation de ses concentrations dans l'air ambiant. Ainsi, compte tenu du faible débit de prélèvement, les variations rapides de concentrations et plus particulièrement les hausses, ne sont pas prises en compte. En raison du lissage important des concentrations constatées, nous sommes revenus, pour le dioxyde d'azote, pour la campagne estivale 2009 aux prélèvements actifs dans un sac Tedlar avec analyse en différé par les analyseurs sur le quai de la station de métro Esquirol. En revanche, nous avons conservé la technique par prélèvement actif pour le benzène. Ainsi, dans la rame de métro, l'air prélevé à l'aide d'une pompe, passe pour le benzène, au travers d'une cartouche adsorbante thermodésorbable. Les cartouches adsorbantes sont constituées d'un tube en verre contenant deux adsorbants des COV séparés par de la laine de quartz.

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

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

Sur une journée, plusieurs prélèvements ont été réalisés à l'aide de pompes manuelles sur l'ensemble du trajet de terminus à terminus de la ligne A du métro.

Les BTEX ainsi prélevés sont analysés en différé par un laboratoire spécialisé.

Les teneurs obtenues sont représentatives de l'air respiré par les usagers à l'instant où les prélèvements ont été réalisés.

ANNEXE 4 : CALCUL DES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE QUALITÉ DE L'AIR DANS LES ENCEINTES FERROVIAIRES SOUTERRAINES POUR LE MÉTRO TOULOUSAIN

En se basant sur l'avis du CSHPF, l'ORAMIP a recalculé les valeurs de référence préconisées pour le métro parisien afin de les adapter au métro toulousain à partir des concentrations en PM10 mesurées localement. Il est à noter que les concentrations obtenues sont très approximatives en terme d'exposition des personnes à la pollution atmosphérique, puisqu'elles ne tiennent compte ici que de deux types d'exposition : celle à l'air du métro et celle à l'air ambiant extérieur urbain.

La concentration limite dans le métro (Csout) à ne pas dépasser est fonction du temps passé dans le métro (Tsout), de la concentration extérieure en PM10 (en percentile 90.4 : P90.4) et de la réglementation dans l'air ambiant (CLim) qui a évolué jusqu'à atteindre en 2005 la valeur de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estimation des concentrations limites à ne pas dépasser dans le métro toulousain

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CLim = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	P90.4ext = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	P90.4ext = 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *
Tsout = 15 mn	Csout < 1950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 1095 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 1855 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 1412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 1602 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 905 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 1602 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tsout = 30 mn	Csout < 990 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 567 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 943 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 724 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 818 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 473 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 818 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tsout = 45 mn	Csout < 670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 391 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 639 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 494 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 329 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tsout = 1 h	Csout < 510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 303 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 487 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 426 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Csout < 426 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

* On note en 2007 une augmentation de la valeur du Percentile 90,4 mesuré dans l'air ambiant extérieur. Cette augmentation est due à la réévaluation des concentrations en PM10 par la mise en place d'un facteur correctif permettant de prendre en compte la fraction des composés organiques volatiles fixés aux poussières (cf Evolution de la méthode de mesure des particules en suspension PM10)

Le temps moyen passé dans une rame de métro est de 6 minutes, temps auquel il faut ajouter l'accès à la rame et la sortie du métro. Il faut donc considérer 3 temps : 6 minutes dans une rame (temps moyen passé par les usagers du métro), 15 minutes en moyenne dans le réseau (depuis la salle des billets jusqu'à la rame et inversement, considérant les échanges lignes A et B) et enfin 30 minutes maximum dans le métro (d'un terminus à l'autre et avec ou sans échange entre lignes A et B).

De plus, en moyenne les usagers effectuent un trajet aller/retour dans la journée soit au maximum de 1 heure d'exposition. C'est donc la valeur guide sur une heure qui est retenue soit 426 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 2012.

ANNEXE 5 : ÉVOLUTION DES TENEURS EN PM10 SUR LE QUAI DE STATIONS DE MÉTRO DEPUIS 2004

Nous indiquons ci-dessous les concentrations en PM10 dans les stations de métro ligne A et B et dans l'air ambiant extérieur en stations urbaines et de proximité automobile depuis 2004 date de la première campagne de mesures sur la ligne A.

Récapitulatif des teneurs moyennes en PM10 mesurées sur les quais des stations de métro pour chaque période de mesures depuis 2004.

	Teneurs moyennes en PM10 (en µg/m³)					
	Ligne A		Ligne B		Station urbaine	Station trafic
	Stations de métro					
	Esquirol ligne A	Jean Jaurès	Compans Caffarell	Jean Jaurès		
Été 2004	93	-	-	-	26	27
Hiver 2004-2005	147	-	-	-	17	23
Été 2005	152	82	-	-	18	23
Hiver 2005-2006	165	105	-	-	25	28
Été 2006	127	125	-	-	20	21
Hiver 2006-2007	165	102	-	-	31	37
Été 2007	138	87	28	40	20.5	24
Hiver 2007-2008	-	-	121	65	24	27
Été 2008	-	-	27	37	17	22
Hiver 2008-2009	134	82	-	-	22	40*
Été 2009	96	77			23	25
Hiver 2009-2010	-	-	151	86	28	57*
Été 2010	-	-	32	43	20	46*
Hiver 2010 - 2011	168	121	-	-	43	62*
Été 2011	76	73	-	-	21	38*
Hiver 2011 - 2012	-	-	53	54	32	49*
Été 2012	-	-	29	35	18	34

* : concentration fournie par la station de mesures implantée à proximité du périphérique sud de Toulouse.

ANNEXE 6 : ASPECTS DE LA RÉGLEMENTATION EN AMBIANCE DE TRAVAIL

En atmosphère de travail, les normes en vigueur sont fixées par le code du travail et passent par la définition de différentes valeurs limites. A titre d'information voici quelques aspects de cette réglementation :

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

- soit des valeurs limites admises (VL) à caractère indicatif dans le cas général ;
- soit des valeurs limites réglementaires (VR), indicatives (VRI) ou contraignantes (VRC) pour certains composés ;
- soit des valeurs limites recommandées par la Caisse nationale de l'assurance maladie.

Ces valeurs fournissent des repères chiffrés d'appréciation de la qualité de l'air des lieux de travail mais supposent l'élaboration préalable de méthodes d'échantillonnage et d'analyse ainsi que de la définition de critères pour l'évaluation des risques pour la santé. »

« La valeur limite d'un composé chimique représente sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération pour sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées. Aucune atteinte organique ou fonctionnelle de caractère irréversible ou prolongé n'est raisonnablement prévisible.

Toutefois, l'expérience montre que de nouvelles pathologies continuent d'être découvertes ; c'est pourquoi il convient que les pratiques retenues visent à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi basses que raisonnablement possible : les VL doivent être considérées comme des objectifs minimaux.

Deux types de valeurs limites ont été retenus :

- Des valeurs limites court terme (VLCT), qui sont destinées à protéger des effets des pics d'exposition. Elles se rapportent à une durée de référence de 15 minutes (sauf indication contraire). Rigoureusement, les VLE jusqu'ici utilisées en France et issus des circulaires du ministère chargé du travail sont des valeurs plafonds mesurées sur une durée maximale de 15 minutes en fonction de la nature du risque et des possibilités de mesurage et ne sont donc pas équivalentes aux valeurs limites court terme définies par la réglementation européenne et reprises depuis 2004 dans les textes français la transposant. Cependant dans la pratique, compte tenu du fait que les mesures d'exposition destinées à vérifier le respect des VLE sont généralement effectuées sur 15 minutes, les VLE et VLCT peuvent être considérées comme équivalentes. [...] On privilégiera désormais le sigle VLCT par rapport à la VLE.

- Des valeurs limites sur 8 heures ou valeur limite de moyenne d'exposition (VME) destinées à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. La VME peut être dépassée sur une courte durée sous réserve de ne pas dépasser la VLCT lorsqu'elle existe. Dans ce cas, les notions de valeur de moyenne d'exposition issues des circulaires du ministère chargé du travail et de valeur limite sur 8 heures issues de réglementation européenne sont strictement identiques, le sigle VME continuera d'être utilisé.»

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

« Dans les locaux à pollution spécifique (où des substances dangereuses ou gênantes sont émises), les concentrations moyennes en poussières inhalables et alvéolaires de l'atmosphère inhalé par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg.m³ d'air.

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

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

ANNEXE 7 : CONCENTRATIONS EN MÉTAUX RELEVÉS DANS DEUX STATIONS DE MÉTRO TOULOUSAINES ET EN SITE DE PROXIMITÉ TRAFIC

Echantillons	Concentrations en ng/m ³					
	Période hivernale			Période estivale		
	Compans Caffarelli	Esquirol	Périphérique	Compans Caffarelli	Esquirol	Berthelot
Fe	17749.4	66965.9	1998.6	1122.9	74389.7	261.0
Cu	1079.3	5608.1	86.0	123.4	5277.4	14.6
Ca	981.8	4909.9	639.3	623.8	799.0	224.8
Zn	1081.9	2439.3	250.5	92.2	1616.7	27.0
Al	641.7	1846.0	581.0	205.4	818.7	200.7
Mn	122.8	521.3	22.8	19.3	364.0	5.2
K	200.0	508.2	164.3	141.1	171.2	88.0
Ba	374.4	482.1	32.0	51.6	189.6	4.5
Na	92.9	463.0	867.6	359.5	351.2	389.8
Sb	164.5	412.6	5.8	7.6	319.6	1.5
Sn	19.3	387.1	17.6	4.3	349.8	2.3
Mg	170.5	373.2	96.2	47.3	60.8	48.6
Cr	48.9	245.7	8.9	4.0	163.0	1.0
Pb	13.1	135.6	11.1	3.0	104.4	3.4
Ti	27.2	114.2	18.3	19.0	69.6	8.4
Ni	7.2	30.2	1.7	2.8	28.9	1.9
Sr	7.3	17.4	2.4	2.2	11.9	1.4
Zr	45.5	17.4	6.4	1.4	<LD	0.1
Mo		7.0	2.8	24.8	37.6	23.6
V	1.7	5.8	1.0	1.4	6.0	1.1
Cd	4.6	5.0	1.1	0.5	2.7	0.6
Co	1.0	4.6	0.3	0.3	3.9	0.1
Rb	1.2	2.4	1.2	0.7	1.2	0.7
Ce	1.6	2.4	1.1	0.9	1.6	0.3
As	1.0	2.0	0.8	0.2	1.6	0.2
La	0.9	1.2	0.3	0.5	0.9	0.1
Se	0.8	0.9	0.8	0.2	1.1	0.2
Pd	2.6	0.8	0.3	0.4	<LD	0.5
Li	0.2	0.6	0.2	0.3	0.5	0.2
Cs	0.07	0.13	0.07	0.03	0.1	0.04
Tl	0.07	0.07	0.06	<LD	<LD	<LD
Pt	0.017	0.004		<LD	<LD	<LD

ANNEXE 8 : RATIO ENTRE LES VALEURS MOYENNES DE CONCENTRATION DES DEUX STATIONS DE MÉTRO ET LES MESURES DES SITES URBAINS ET TRAFIC À L'EXTÉRIEUR

Echantillons	Période hivernale		Période estivale	
	Compans/ Périphé- rique	Esquirol/ Périphé- rique	Compans/ Berthelot	Esquirol/ Berthelot
Sb	28.5	71.4	5.2	220.1
Cu	12.5	65.2	8.4	360.5
Fe	8.9	33.5	4.3	285.0
Cr	5.5	27.7	4.0	165.9
Mn	5.4	22.8	3.7	70.1
Sn	1.1	22.0	1.9	152.2
Ni	4.4	18.2	1.5	15.6
Ba	11.7	15.0	11.5	42.1
Co	3.2	14.3	2.3	30.4
Pb	1.2	12.2	0.9	30.4
Zn	4.3	9.7	3.4	59.8
Ca	1.5	7.7	2.8	3.6
Sr	3.0	7.1	1.6	8.5
Ti	1.5	6.3	2.3	8.3
V	1.7	5.7	1.3	5.6
Cd	4.2	4.6	0.9	4.3
La	3.1	4.4	3.2	6.5
Mg	1.8	3.9	1.0	1.3
Al	1.1	3.2	1.0	4.1
K	1.2	3.1	1.6	1.9
Li	1.1	2.8	1.7	3.2
Zr	7.1	2.7	9.8	-
Pd	8.9	2.6	1.0	-
As	1.3	2.6	1.5	9.6
Mo		2.5	1.1	1.6
Ce	1.4	2.2	2.8	5.2
Rb	0.9	2.0	-	-
Cs	1.0	2.0	0.8	1.8
Tl	1.2	1.2	-	-
Se	1.0	1.0	0.8	4.7
Na	0.1	0.5	0.9	0.9



ORAMIP

OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES

Surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées 24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •



L'information
sur la qualité de l'air
en Midi-Pyrénées :

www.oramip.org