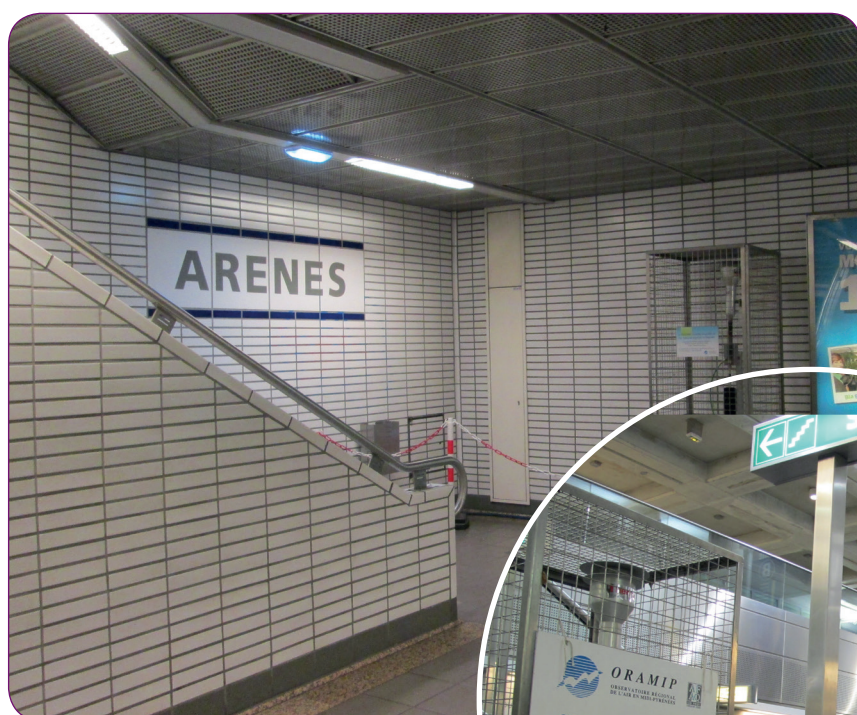




ORAMIP
OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES
Atmo Midi-Pyrénées

Qualité de l'air Rapport d'étude

ÉVALUATION DES NIVEAUX DE PARTICULES PM10 DANS CERTAINES STATIONS DU MÉTRO TOULOUSAIN HIVER 2013-2014



Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP

19 avenue Clément Ader
31770 COLOMIERS
Tél : 05 61 15 42 46

contact@oramip.org - <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>

CONDITIONS DE DIFFUSION

ORAMIP ATMO - Midi-Pyrénées, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de Midi-Pyrénées. ORAMIP ATMO-Midi-Pyrénées fait partie de la fédération ATMO France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

ORAMIP ATMO-Midi-Pyrénées met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site www.oramip.org.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle de ORAMIP Atmo Midi-Pyrénées. Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec l'ORAMIP :

- depuis le formulaire de contact sur le site <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>
- par mail : contact@oramip.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

CONDITIONS DE DIFFUSION	2
SOMMAIRE	3
SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES.....	4
ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DANS PLUSIEURS STATIONS DU MÉTRO TOULOUSAIN	9
ANNEXE II : PRÉSENTATION DE LA CAMPAGNE D'ETUDE	16
ANNEXE III : COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRE MESURÉES SUR LES QUAIS DES STATIONS DE MÉTRO	18
ANNEXE IV : MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION	22
ANNEXE V : APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE SUR LES STATIONS DE MÉTRO PRISES COMME RÉFÉRENCE.....	24
ANNEXE VI : PRÉSENTATION DES MODÈLES OBTENUS POUR CHAQUE STATION DE MÉTRO	28
ANNEXE VII : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES HORAIRES GLISSANTES MESURÉES ET MODÉLISÉES	33
ANNEXE VIII : COMPARAISON DE LA DISPERSION DES CONCENTRATIONS MESURÉES ENTRE LA STATION DE MÉTRO DE RÉFÉRENCE ET LES AUTRES STATIONS DE MÉTRO	35
ANNEXE IX : SITE ÉTUDIÉS POUR LA MESURE DES PARTICULES PM10 DANS CHAQUE STATION DE MÉTRO.....	37

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES

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 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 (PM10), dioxyde d'azote (NO₂) et benzène rencontrés dans le métro toulousain.

Il est ainsi apparu que les concentrations en particules PM10 relevées sur les quais de deux stations de métro des lignes A et B, ainsi que dans les rames de métro sont plus élevées que celles rencontrées dans l'air l'extérieur. Aux particules en provenance de l'extérieur et amenées dans le métro par la ventilation s'ajoutent celles émises en grande quantité 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.

En outre, il a été mis en évidence des niveaux de particules plus faibles sur la ligne B en comparaison de la ligne A. Cette différence de niveaux de concentrations en particules trouve son explication dans le fait que les deux lignes de métro toulousain, inaugurées à 14 ans d'intervalle, sont technologiquement différentes. Ainsi, sur la ligne B circule des rames équipées d'un système de freinage moins émetteur en particules. Cette ligne est, en outre, équipée d'un système de ventilation plus performant.

Enfin, les niveaux de particules PM10 sont marqués par une évolution saisonnière, liée au mode de fonctionnement de la ventilation, sur les deux lignes de métro. Dans toutes les stations de métro, la ventilation 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. Ainsi, en période froide, les températures sont plus faibles que la température de confort. La ventilation fonctionne peu, les particules s'accumulent dans l'enceinte du métro. La valeur guide fixée sur une heure peut ainsi, ponctuellement, être dépassée. En période chaude, les températures plus élevées que la température de confort déclenchent la ventilation. Celle-ci permet l'extraction d'une partie des particules

dans l'air ambiant extérieur et une diminution des niveaux de concentration des particules dans l'enceinte du métro.

Chaque année, depuis 2004, ce sont les mêmes stations de métro qui font l'objet d'une évaluation des niveaux de PM10 (Esquirol et Jean Jaurès pour la ligne A et Compans Caffarelli et Jean Jaurès pour la ligne B). Les niveaux de particules PM10 rencontrés sur les autres quais des autres stations de métro ne sont donc pas connus.

Afin de pallier ce manque d'information, une campagne de mesures de particules PM10 a été réalisée dans le courant de l'hiver 2013 - 2014, période pendant laquelle les concentrations en particules sont les plus élevées, dans les stations de métro les plus fréquentées des deux lignes du métro toulousain.

Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un analyseur de particules TEOM qui fournit une mesure tous les quarts-d'heure.

Pour chaque ligne de métro, un analyseur de particules a été installé dans une station pendant toute la durée des mesures sur la ligne étudiée. Les résultats obtenus sur ces sites ont servi de référence (station référente).

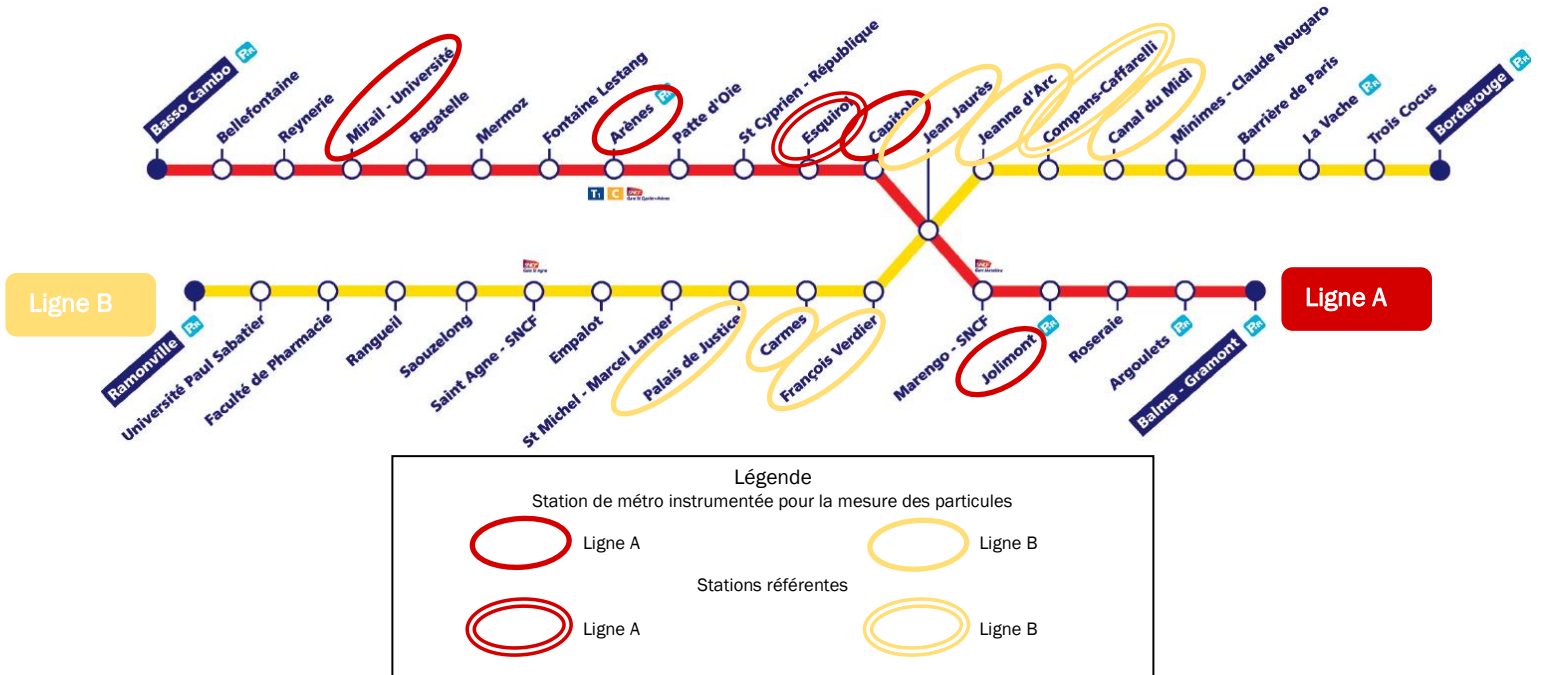
Dans les autres stations de métro, l'analyseur a été installé pour une période d'au moins 6 jours par station de métro.

Le déroulement de la campagne de mesures est détaillé en annexe II.

Les concentrations en particules PM10 mesurées dans chaque station de métro ont été étudiées et comparées aux niveaux mesurés dans les stations de métro prises comme référence (Esquirol pour la ligne A et Compans Caffarelli pour la ligne B).

Afin de pouvoir comparer les niveaux de concentration en particules PM10 entre les différentes stations de métro d'une même ligne sur l'ensemble de la période de mesures, la relation entre les concentrations mesurées et certaines variables a été étudiée selon une méthodologie détaillée en annexe IV.

Les niveaux de particules PM10 de chaque station de métro ont ensuite été modélisés sur l'ensemble de la période de mesures avec un intervalle de confiance de 95%.



Graph 1 : Présentation des stations de métro étudiées pendant la campagne de mesures

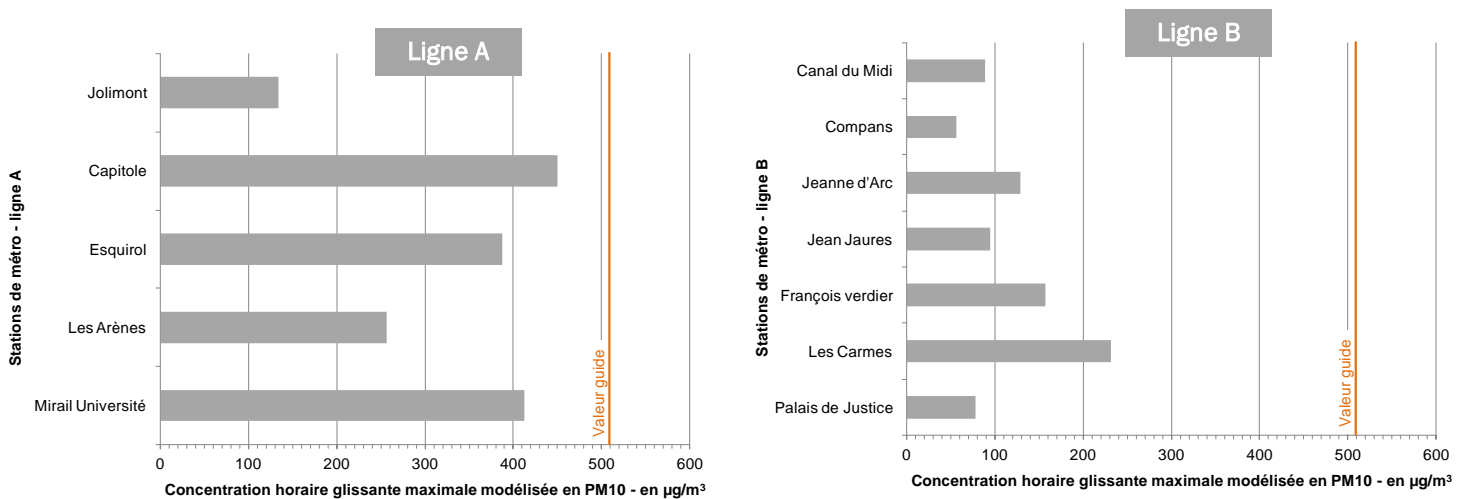
Respect de la valeur guide préconisée dans les environnements clos

Suivant les recommandations du CSHPF, une valeur limite approximative à ne pas dépasser dans le métro a été estimée à **510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une heure d'exposition en 2013**.

Dans les graphes ci-dessous sont indiquées les concentrations maximales horaires glissantes obtenues. Ce sont des concentrations modélisées pour la quasi-totalité des stations de métro étudiées. En

revanche, pour la station de métro Mirail Université, la concentration moyenne glissante maximale indiquée est une moyenne mesurée.

Aucune des stations étudiées sur les deux lignes de métro n'obtient de concentrations horaires glissantes supérieures à la valeur guide.



Graph 2 : Situation vis-à-vis de la valeur guide préconisée dans les environnements clos

Mise en évidence de l'influence de certains paramètres sur les concentrations en PM10 mesurées dans les stations de métro

Afin de pouvoir comparer les niveaux de concentration en particules PM10 entre les différentes stations de métro d'une même ligne sur l'ensemble de la période de mesures, les niveaux de particules PM10 de chaque station de métro ont été modélisés grâce à l'étude de la relation existant entre les concentrations mesurées et certaines variables.

Afin d'obtenir les modèles les plus pertinents, nous avons pris en compte tous les paramètres pouvant potentiellement avoir un impact :

- Les niveaux de particules mesurés dans les stations de référence (Esquirol pour la ligne A et Compans Caffarelli pour la ligne B),

- la température mesurée dans les stations de métro de référence,
- la pression atmosphérique mesurée dans les stations de métro de référence,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro étudiée,
- la fréquentation de la station de métro étudiée,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations de surveillance de la qualité de l'air urbaines toulousaines,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations toulousaines de surveillance de la qualité de l'air en proximité trafic,
- les conditions météorologiques relevées dans l'air ambiant toulousain (direction du vent, vitesse du vent, température, pression).

La mesure de particules PM10 dans une station de métro référente pour chaque ligne de métro, dans le but d'intégrer les mesures dans le modèle de régression, s'est avérée pertinente. Pour la quasi-totalité des stations de métro étudiées, les modèles de régression multiples choisis utilisent les concentrations mesurées dans la station référente de leur ligne.

Seul le modèle de la station de métro Jolimont n'utilise pas les concentrations en particules de la station de métro Esquirol en variable explicative. Les concentrations en particules PM10 qui sont mesurées dans cette station de métro aérienne sont influencées par les concentrations mesurées en environnement extérieur.

Les concentrations de PM10 sont corrélées au trafic des rames. Ce paramètre est utilisé comme variable explicative pour la quasi-totalité des stations de métro souterraines (exceptée Canal du Midi).

La prise en compte des mesures faites en air ambiant extérieur et des paramètres météo permettent l'obtention de modèles de régression plus performants.

En revanche, le nombre de validations n'est une variable qui permet l'amélioration systématique des modèles. Elle n'est utilisée comme variable explicative que pour 3 stations de métro sur 9 étudiées.

Variables utilisées pour la modélisation des stations de métro LIGNE A

	Station de métro Esquirol	Concentrations extérieures en PM10	Nombre de rames	Nombre de validations	Paramètre(s) météo extérieur	Variable(s) qualitatives
Station de métro Esquirol - référente		X	X	X	X	
Station de métro Mirail Université	X	X	X	X	X	
Station de métro Les Arènes	X	X	X		X	X
Station de métro Capitole	X	X	X		X	X
Station de métro Jolimont		X			X	X

Variables utilisées pour la modélisation des stations de métro LIGNE B

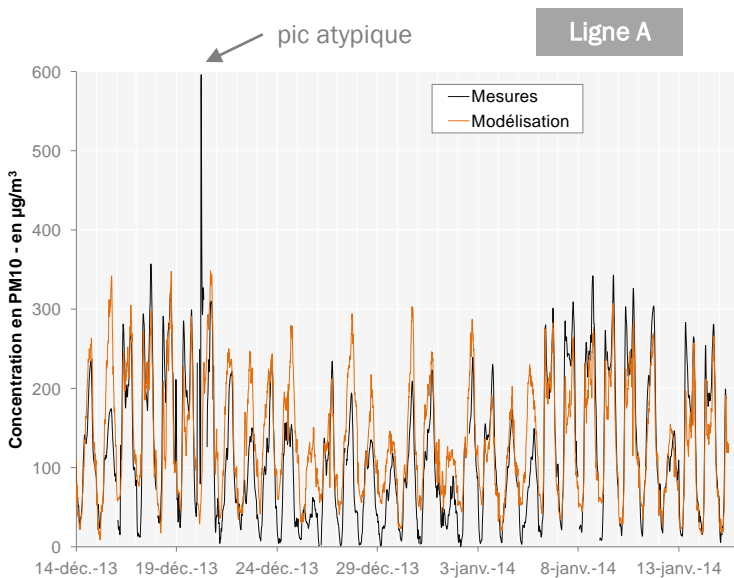
	Station de métro Compans Caffarelli	Concentrations extérieures en PM10	Nombre de rames	Nombre de validations	Paramètre(s) météo extérieur	Variable(s) qualitatives
Station de métro Compans Caffarelli - référente		X	X	X	X	
Station de métro Canal du Midi	X	X		X	X	X
Station de métro Jeanne d'Arc	X	X	X		X	X
Station de métro Jean Jaurès	X	X	X	X	X	
Station de métro Les Carmes	X	X	X		X	X
Station de métro Palais de justice	X	X	X		X	

Des concentrations atypiques sous-estimées par le modèle

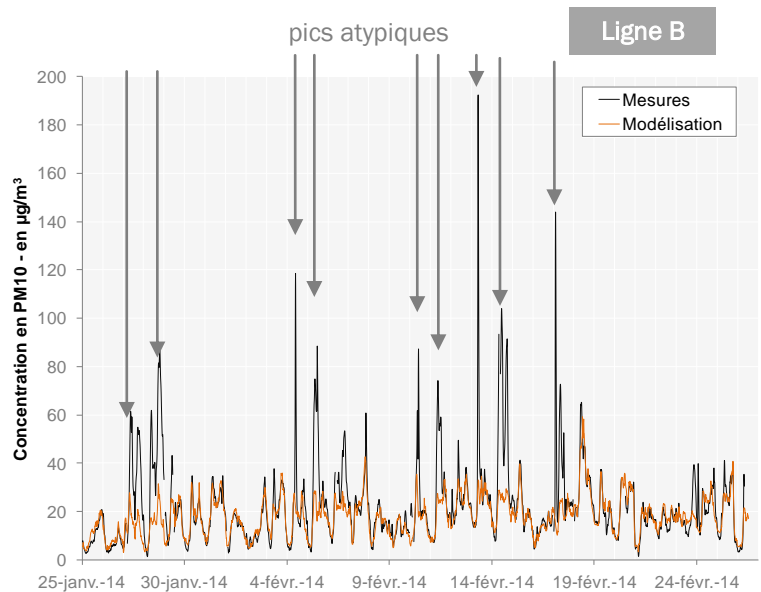
La comparaison mesures/modèle faite sur les deux stations de métro prises comme référence : Esquirol pour la ligne A et Compans Caffarelli pour la ligne B a permis de conclure que le modèle utilisé permet une modélisation performante des concentrations en PM10. Cependant, il est apparu que des pics de particules (notés pics atypiques) sont difficiles à estimer avec les paramètres disponibles (nombre de rames de métro, fréquentation...). Ces pics reflètent donc des conditions particulières que les variables explicatives utilisées pour la modélisation n'expliquent pas. Ainsi, il apparaît que

d'autres éléments non pris en compte cette étude doivent avoir une incidence importante sur les plus fortes concentrations de particules PM10.

On note également que le nombre de concentrations atypiques est plus important pour la station Compans Caffarelli sur la ligne B que pour la station Esquirol ligne A. Le caractère plus ventilé de cette station de métro peut être l'un des paramètres ayant une incidence sur pics.



Station de métro Esquirol - ligne A



Station de métro Compans Caffarelli - ligne B

Grappe 3 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais d'une station de métro

Au regard de l'ensemble de l'analyse statistique réalisée sur les stations de métro étudiées, la corrélation est meilleure sur la ligne A en comparaison de la ligne B. La ventilation étant l'un des principaux paramètres

qui diffèrent entre les 2 lignes, ce paramètre joue sans doute un rôle dans les concentrations atypiques mesurées.

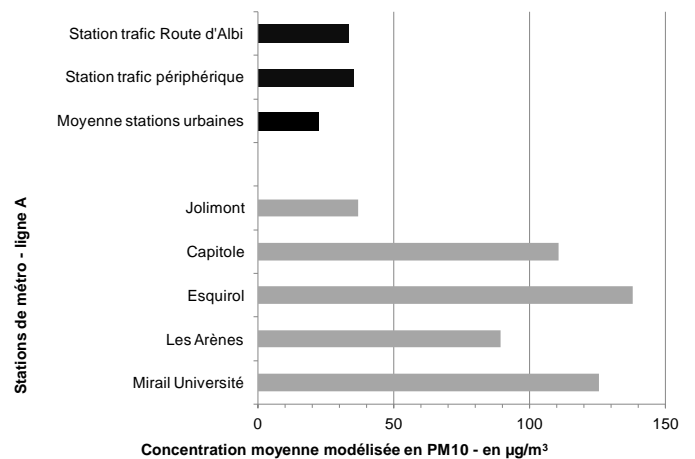
Des niveaux de particules PM10 variables entre les stations sur une même ligne du métro

Ligne A

Les concentrations moyennes en PM10 mesurées dans les stations de métro Mirail Université, Esquirol et Capitole sont proches. La station de métro Les Arènes enregistre, quant à elle, des concentrations moyennes en particules PM10 plus faibles. Les niveaux moyens relevés dans toutes ces stations de métro sont 2,5 à 4 fois supérieurs à ceux mesurés en air extérieur.

Ces résultats confirment le caractère confiné de cette ligne de métro.

En revanche, la station de métro Jolimont enregistre des niveaux de particules PM10 4 fois inférieurs aux stations de métro Mirail Université, Esquirol et Capitole. Cette station de métro aérienne est aérée par les mouvements d'air de l'extérieur. Les niveaux rencontrés pour cette station restent cependant élevés et sont ainsi du même ordre de grandeur que ceux relevés par la station trafic périphérique (35 µg/m³ en moyenne sur la période).



Grappe 4 : Concentration moyenne modélisée en PM10 dans les stations de métro et comparaison aux concentrations mesurées dans l'air ambiant extérieur.

Les concentrations moyennes en PM10 modélisées dans les stations de métro Jeanne d'Arc, Compans Caffarelli et Canal du Midi sont similaires. Elles sont du même ordre de grandeur que celles relevées par la station trafic implantée route d'Albi.

On note, en revanche, une augmentation progressive des niveaux de PM10 entre Jeanne d'Arc et les Carmes. Cette station de métro enregistre la concentration moyenne en particules la plus élevée de la ligne B. Les niveaux moyens relevés pour cette station de métro sont 2,5 fois supérieurs à ceux mesurés en air extérieur.

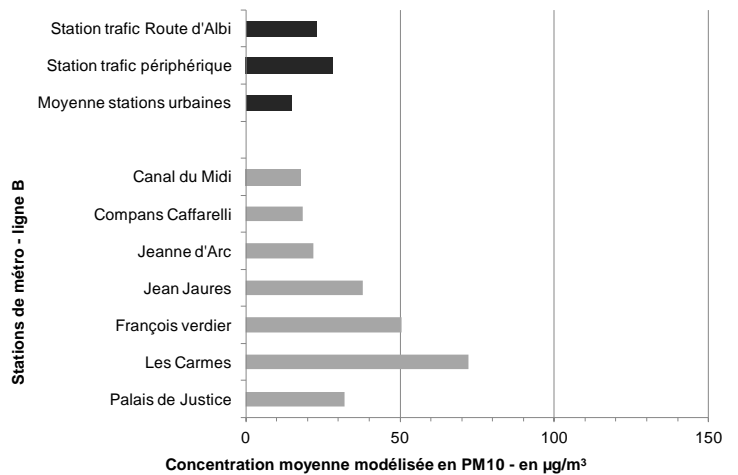
Il semble qu'il y ait dans la station de métro des Carmes une accumulation de particules PM10. La cause de cette accumulation peut être un volume de station inférieur en comparaison des autres stations, la profondeur de la station, une ventilation défectueuse, un freinage mécanique plus important...

Pour toutes les stations de métro, le volume des stations de métro peut être un paramètre jouant sur les niveaux de concentration en particules PM10 mesurés. La connaissance de ce paramètre pourrait permettre une meilleure compréhension des écarts de concentration en particules mesurés.

Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Dans toutes les stations de métro étudiées la concentration maximale modélisée sur 8 heures est

Ligne B



Graph 5 : Concentration moyenne modélisée en PM10 dans les stations de métro et comparaison aux concentrations mesurées dans l'air ambiant extérieur

nettement inférieure à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) fixée en ambiance de travail.



ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DANS PLUSIEURS STATIONS DU MÉTRO TOULOUSAIN

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect des valeurs guides sur une heure
- Des niveaux de concentration variables selon les stations de métro. Sur la ligne A, les stations de métro enregistrant les niveaux les plus élevées sont : Esquirol, Capitole et, dans une moindre mesure, Mirail Université. Sur la ligne B, la station de métro la plus exposée aux particules PM10 est la station Les Carmes.
- Respect de la Valeur Limite de Moyenne Exposition fixée par les ambiances de travail

LES PARTICULES : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE 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, ...

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 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 SANTE

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 cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM10 et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et 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 des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

Respect de la valeur guide préconisée dans les environnements clos

Suivant les recommandations du CSHPF, une valeur limite approximative à ne pas dépasser dans le métro a été estimée à $510 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une heure d'exposition en 2013.

Aucune des stations étudiées sur les deux lignes de métro n'obtient de concentrations horaires glissantes modélisées supérieures à la valeur guide la période de mesures.



PARTICULES DE DIAMETRE INFERIEUR A 10 μm

	Conformité la valeur guide	Temps d'exposition des usagers par jour	Valeur guide	Période
Exposition de courte durée	OUI	1 heure	$510 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximum sur une heure : Même en considérant la borne haute de prédiction (cf. annexe IV), aucune concentration horaire glissante modélisée sur les stations des deux lignes de métro ne dépasse la valeur guide.

Des niveaux de concentration en particules PM10 variables entre les stations de métro

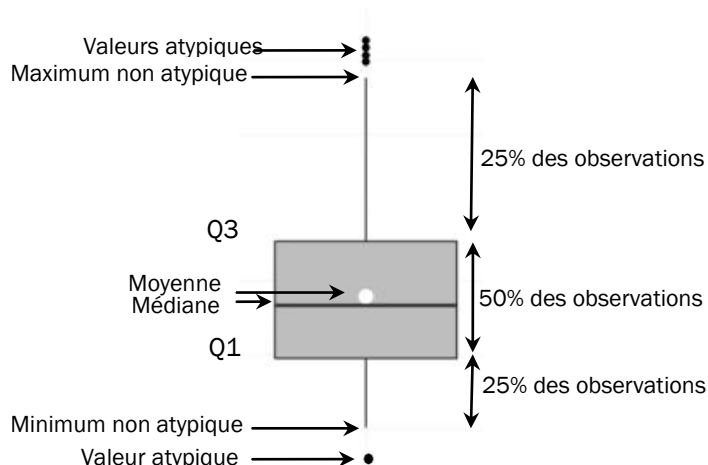
Les concentrations quart-horaires rencontrées sur les quais de toutes les stations de métro instrumentées ont été modélisées afin de couvrir l'ensemble de la période de mesures de la station de métro servant de référence :

- Du 05 décembre 2013 au 15 janvier 2014 pour la station de métro Esquirol
- Du 17 janvier au 25 février 2014 pour la station de métro Compans Caffarelli

Les variables explicatives ayant servi à construire chaque modèle et coefficients de détermination obtenus (permettant d'analyser la pertinence de ces modèles) sont décrits en annexe V et VI.

En outre, pour chaque concentration prédite, un intervalle de prédiction a été calculé avec un intervalle de confiance choisi de 95%. Cet intervalle a ainsi 95% de chance de couvrir la vraie valeur de concentration.

Pour comparer la distribution des concentrations modélisées sur les quais des différentes stations de métro, elle a été représentée sous forme de "boîte à moustaches".



Graph 6 : Lecture d'une "boîte à moustaches"

La boîte à moustaches utilise 5 valeurs qui résument les données : le minimum, les 3 quartiles : Q1 (correspondant à 25% des observations), Q2 (médiane) et Q3 (correspondant à 75% des observations) et le maximum.

Les valeurs dites extrêmes, atypiques, exceptionnelles, situées au-delà des valeurs minimales et maximales non atypiques sont individualisées.

La moyenne est, quant à elle, représentée par le point blanc.

L'écart interquartile est utilisé comme indicateur de dispersion. Il correspond à 50% des effectifs situés dans la partie centrale de la distribution.

Ligne A

Les niveaux de concentration en particules PM10 apparaissent différents selon la station de métro envisagée.

Stations de métro - LIGNE A	Concentration moyenne en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance				
	Mirail Université	Les Arènes	Esquirol	Capitole	Jolimont
Moyenne sur la période (µg/m ³)	125 [61 - 190]	89 [37 - 142]	138 [60 - 217]	111 [87 - 134]	37 [4 - 69]

Les stations de métro Esquirol et Capitole semblent être les deux stations de métro les plus exposées aux fortes concentrations en particules PM10. Elles présentent des médianes et des dispersions des concentrations similaires. La proximité de ces deux stations de métro peut expliquer ces résultats.

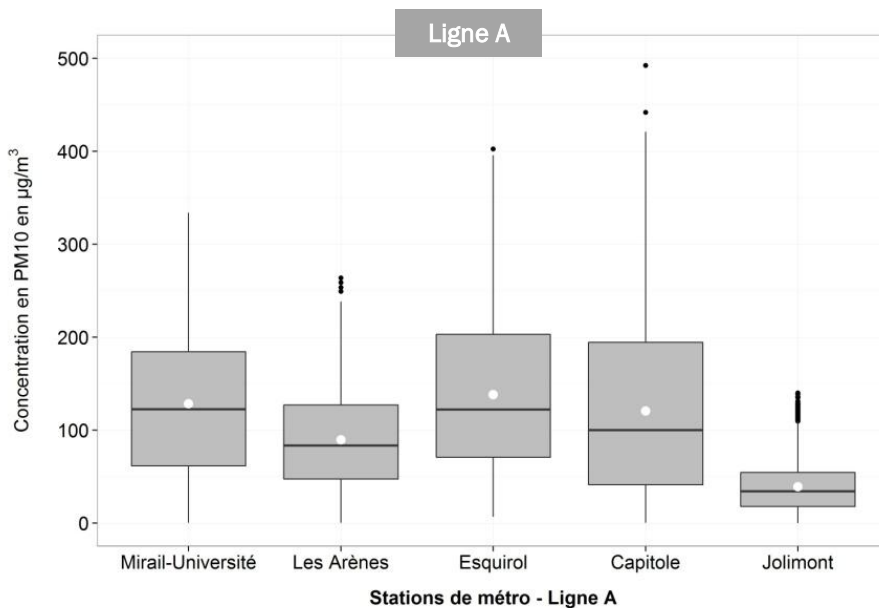
La station Mirail-Université est très proche également de ces deux stations, avec cependant, des niveaux maximum légèrement plus faibles.

Le profil de la station de métro Mirail-Université est assez proche de ceux d'Esquirol et de Capitole mais la dispersion des concentrations y est légèrement plus faible. Les niveaux de concentration les plus élevés sont ainsi légèrement plus faibles que ceux d'Esquirol et de Capitole.

La station Arènes présente une médiane et une dispersion plus faible. En outre, les concentrations quart-horaires maximales en particules PM10 sont quasiment 2 fois plus faibles que celles relevées sur Esquirol ou Capitole.

Enfin, les concentrations en PM10 modélisées pour la station de métro Jolimont sont homogènes. Il y a peu de dispersion entre les valeurs minimales et maximales. Le caractère ventilé de cette station (station situé au 1^{er} étage et ouverte sur l'extérieur) explique ces résultats.

Pour toutes les stations de métro, des concentrations fortes en PM10 engendrent une moyenne supérieure à la médiane.



Graphe 7 : Représentation schématique par "boîte à moustaches" de la distribution des concentrations quart-horaires en PM10 modélisées pour les 5 stations de métro de la ligne A

Ligne B

Comme pour la ligne A, les niveaux de concentration en particules PM10 varient selon la station de métro envisagée.

Stations de métro - Ligne B	Concentration moyenne en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance						
	Palais de Justice	Les Carmes	François Verdier	Jean Jaurès	Jeanne d'Arc	Compans Caffarelli	Canal du Midi
Moyenne sur la période de modélisation (µg/m ³)	32 [11 - 53]	72 [0 - 164]	50 [18 - 83]	38 [21 - 55]	22 [13 - 31]	18 [12 - 25]	18 [7 - 29]

La station de métro Les Carmes semble être la station de métro la plus exposée aux concentrations en particules PM10. Cette station enregistre la médiane et la moyenne la plus élevée.

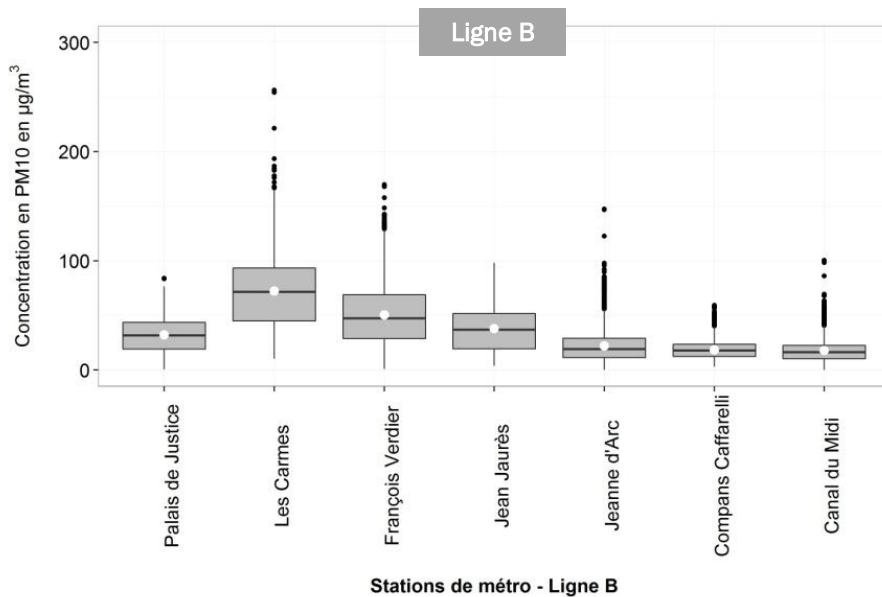
Les niveaux de particules diminuent de part et d'autres de cette station de métro. De la même façon que le coefficient de détermination R², faible pour la station de métro des Carmes, augmente progressivement lorsque l'on s'éloigne de cette station. Il semble qu'il existe, dans la station de métro des Carmes, une source de particules dont le passage des rames et le nombre de validations ne sont pas à l'origine.

La station de métro François Verdier, sans doute influencée par la station de métro Les Carmes est la

seconde station exposée aux concentrations en particules PM10.

Le profil de la station de métro Palais de Justice est assez proche de celui de François Verdier mais la dispersion des concentrations y est plus faible.

Les stations de métro Jeanne d'Arc, Compans Caffarelli et Canal du Midi présentent des médianes et des moyennes nettement inférieures aux autres stations. Les concentrations en PM10 modélisées pour ces trois stations sont homogènes. Il y a peu de dispersion entre les valeurs minimales et maximales. Cela traduit une bonne ventilation des stations quelque soit son niveau d'activité.



Graphe 8 : Représentation schématique par "boîte à moustaches" de la distribution des concentrations quart-horaires en PM10 modélisées pour les 7 stations de métro de la ligne B

Des concentrations horaires glissantes très variables pour les deux lignes de métro

Les concentrations horaires glissantes ont donc été calculées pour chaque station de métro afin de comparer le maximum modélisé avec la valeur limite recommandée par le CSHPF. Nous indiquons également, entre crochets, l'intervalle de prédiction obtenu.

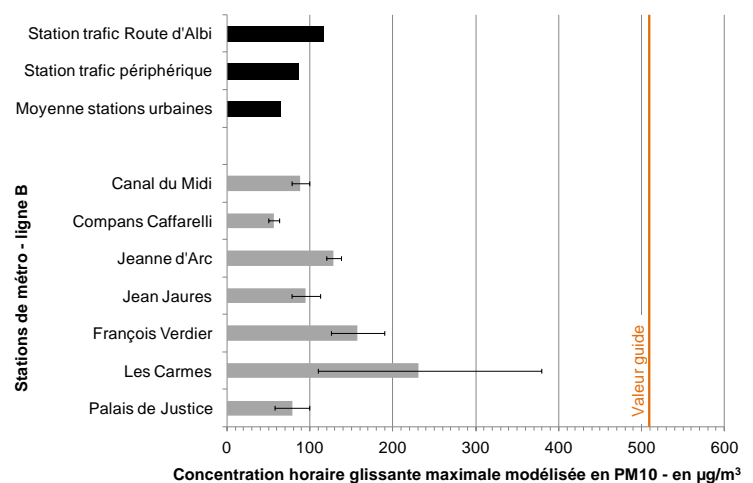
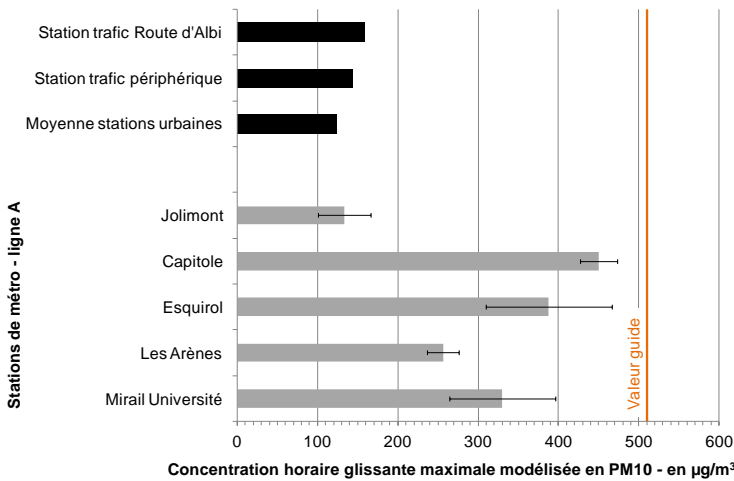
Lors de l'étude statistique des concentrations, nous avons mis en évidence que **certaines concentrations particulièrement fortes devaient être considérées comme atypiques** (Cf. annexes V et VI) **c'est-à-dire que ces concentrations sont mal reconstituées par la régression. Elles n'obéissent pas à la relation qui a été établie par la régression.**

Ces plus fortes concentrations mesurées dans les stations de métro semblent donc liées à des variables qui n'ont pas été prises en compte dans cette étude car ne pouvant être quantifiées ou qualifiées (ventilation, freinage...).

Les concentrations horaires maximales indiquées ci-dessous sont donc les concentrations maximales susceptibles d'être mesurées avec les variables explicatives prises en compte (détaillées dans les annexes V et VI). Les graphes comparatifs mesure horaire glissante et modèle sont fournis en annexe VII.

Concentration horaire glissante en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance					
Stations de métro - LIGNE A	Mirail Université	Les Arènes	Esquirol	Capitole	Jolimont
Concentration horaire glissante maximale (µg/m ³)	325 [257 - 391]	256 [236 - 276]	388 [309 - 466]	450 [427 - 474]	133 [101 - 166]

Concentration horaire glissante en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance							
Stations de métro - Ligne B	Palais de Justice	Les Carmes	François Verdier	Jean Jaurès	Jeanne d'Arc	Compans Caffarelli	Canal du Midi
Concentration horaire glissante maximale (µg/m ³)	78 [57 - 99]	231 [103 - 378]	157 [125 - 190]	95 [77 - 113]	128 [119 - 138]	56 [50 - 63]	88 [78 - 99]



Graph 9 : Concentration maximale horaire glissante en PM10 sur la période - Intervalle de confiance [C_{min} - C_{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance

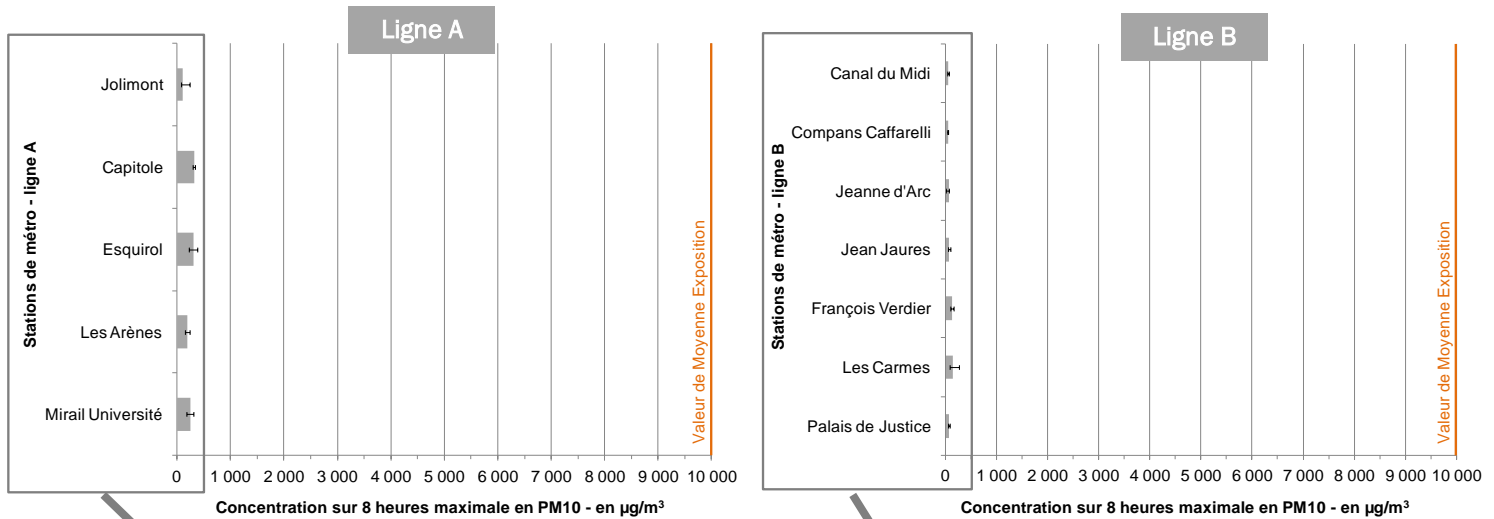
Respect de la réglementation applicable aux ambiances de travail

Dans toutes les stations de métro étudiées, la concentration maximale sur 8 heures respectivement de 335 µg/m³ et de 271 µg/m³ est nettement

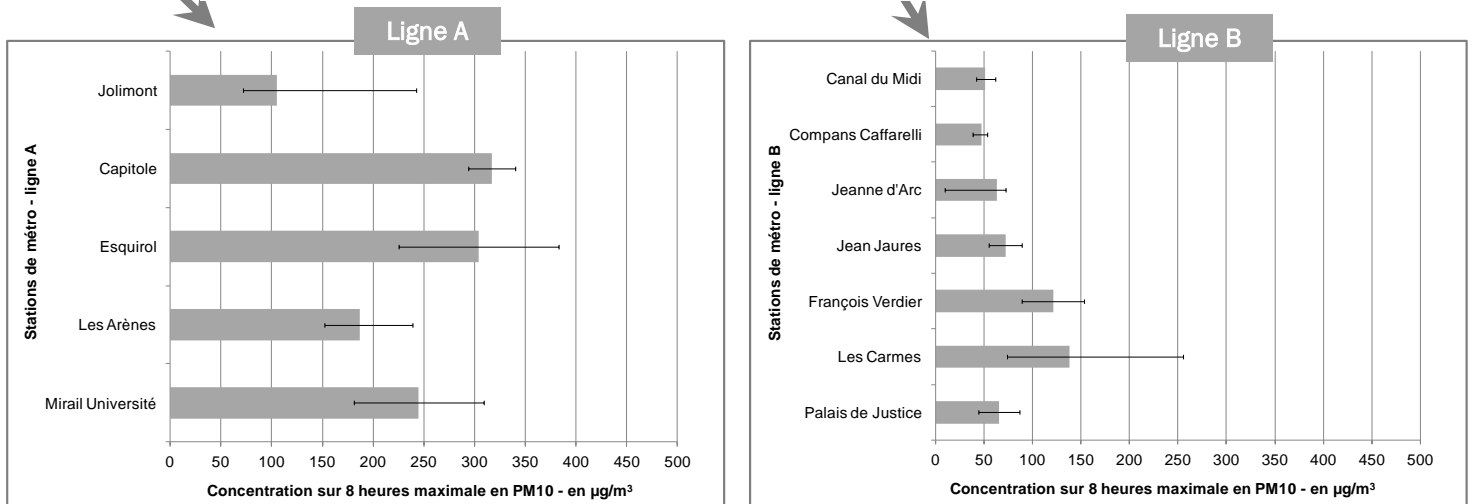
inférieure à la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) fixée à 10 000 µg/m³.

Concentration sur 8 heures glissante en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance					
Stations de métro - LIGNE A	Mirail Université	Les Arènes	Esquirol	Capitole	Jolimont
Concentration sur 8 heures maximale modélisée (µg/m³)	245 [181 - 309]	187 [152 - 239]	304 [225 - 383]	317 [294 - 340]	105 [72 - 138]

Concentration sur 8 heures glissante en PM10 sur la période Intervalle de confiance [C _{min} - C _{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance							
Stations de métro - Ligne B	Palais de Justice	Les Carmes	François Verdier	Jean Jaurès	Jeanne d'Arc	Compans Caffarelli	Canal du Midi
Concentration sur 8 heures maximale (µg/m³)	65 [44 - 86]	138 [74 - 255]	121 [89 - 153]	72 [55 - 89]	63 [54 - 72]	47 [41 - 53]	51 [40 - 62]



Graphe 10 : Situation vis-à-vis de la Valeur de Moyenne Exposition applicable dans les ambiances de travail



Graphe 11 : Concentration maximale sur 8 heures glissante en PM10 sur la période - Intervalle de confiance [C_{min} - C_{max}] = 95% de chance que la concentration moyenne en PM10 soit comprise dans cet intervalle de confiance

ANNEXE II : PRÉSENTATION DE LA CAMPAGNE D'ETUDE

Objectif de l'étude

Chaque année, depuis 2004, ce sont les mêmes stations de métro qui font l'objet d'une évaluation des niveaux de PM10 (Esquirol et Jean Jaurès pour la ligne A et Compans Caffarelli et Jean Jaurès pour la ligne B. Les niveaux de particules PM10 rencontrés sur les autres quais des autres stations de métro ne sont donc pas connus.

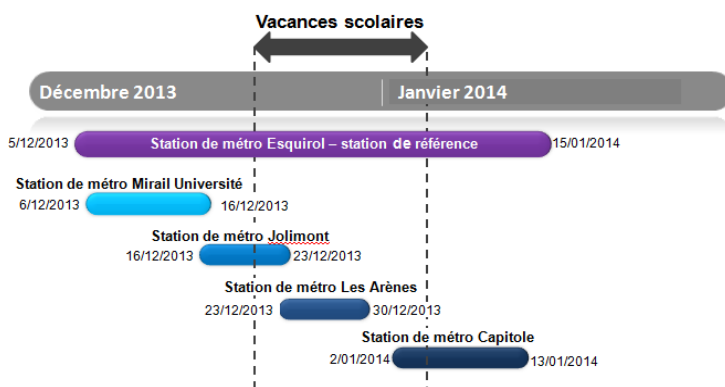
Afin de pallier ce manque d'information, une campagne de mesures de particules PM10 a été réalisée dans le courant de l'hiver 2013 - 2014, période pendant laquelle les concentrations en particules sont les plus élevées, dans les stations de métro les plus fréquentées des deux lignes du métro toulousain.

Les stations de métro situées entre Arènes et Jolimont (auxquelles a été ajoutée la station Mirail Université) pour la ligne A et entre Canal du Midi et Palais de Justice pour la ligne B ont été visitées afin d'étudier la faisabilité d'y installer un appareil de mesures des particules PM10 au regard des différentes contraintes techniques (proximité d'un clapet électrique, gêne des usagers...). Le dossier d'étude de la faisabilité technique d'installation d'un appareil de mesures des particules PM10 dans chaque station de métro est fourni en annexe IX.

Présentation des stations de métro instrumentées

Ligne A

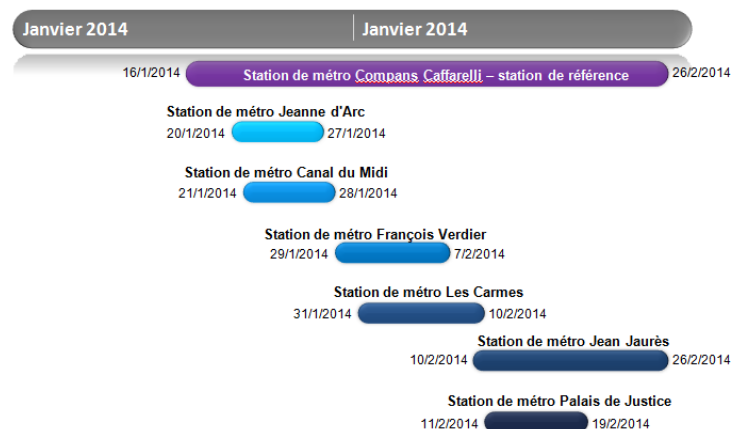
La campagne de mesures dans la ligne A du métro a démarré le 06 décembre 2013 et s'est achevée le 16 janvier 2014.



Graphie 12 : Dates d'implantation des analyseurs de particules PM10 dans les différentes stations de métro étudiées - Ligne A

Ligne B

La campagne de mesures dans la ligne B du métro a démarré le 16 janvier et s'est achevée le 26 février 2014.



Graphie 13 : Dates d'implantation des analyseurs de particules PM10 dans les différentes stations de métro étudiées - Ligne B

Présentation de l'activité métro pendant les campagnes de mesures

Des variables issues de l'activité métro telles que le nombre de rames en circulation et la fréquentation des stations, fournies par l'exploitant, ont été prises en compte dans les régressions linéaires multiples afin

d'étudier leur influence sur les concentrations en particules mesurées.

Ligne A

Pour certaines stations de métro, les mesures ont été en partie ou intégralement réalisées pendant les vacances scolaires.

Le nombre de rames en circulation est quasi stable d'une semaine sur l'autre hors période de vacances scolaires :

- pendant les jours ouvrés 1144 \pm 28 rames circulent en moyenne sur la ligne A dans les deux sens de circulation;
- le samedi, on note 18% de rames en moins en circulation soit 940 \pm 9 rames
- le dimanche, le trafic est réduit de 30% par rapport à un jour ouvré soit 723 \pm 128 rames.

Pendant les vacances scolaires (hors 25 décembre et 1^{er} janvier), le trafic des jours ouvrés est proche de celui d'un samedi avec 911 \pm 30 rames.

La fréquentation dans les stations de métro varie en fonction des jours mais également des stations de métro. On note une augmentation de la fréquentation entre le lundi et le vendredi hors période de vacances scolaires. Pour la station de métro Mirail Université, la fréquentation diminue de 73% entre un jour ouvré et un samedi tandis que pour la station de métro Capitole, elle augmente de 22%.

Nous indiquons ci-dessous la fréquentation moyenne des stations de métro étudiées pendant la période de mesures.

Stations de métro - Ligne A	Nombre de validations journalières
Mirail Université	6082
Les Arènes	15015
Esquirol	12408
Capitole	15767
Jolimont	6732

Ligne B

Il n'y a pas eu de vacances scolaires pendant la période de mesures.

Le nombre de rames en circulation est quasi stable d'une semaine sur l'autre

- pendant les jours ouvrés, 978 \pm 30 rames circulent en moyenne sur la ligne B dans les deux sens de circulation;
- le samedi, on note une baisse de 22% des rames en circulation soit 764 \pm 49 rames
- le dimanche, le trafic est réduit de 50% par rapport à un jour ouvré soit 482 \pm 85 rames.

La fréquentation dans les stations de métro présente un profil similaire pour toutes les stations de métro étudiées avec :

- un nombre de validations relativement stable pendant les jours ouvrés,
- une chute plus ou moins forte du nombre de validations le samedi selon la station de métro (de 50% de baisse pour les stations de métro Compans Caffarelli et François Verdier) à 23% pour la station de métro des Carmes.
- une chute plus ou moins forte du nombre de validations le dimanche selon la station de métro (de 70% de baisse pour les stations de métro Canal du Midi) à 55% pour la station de métro Jeanne d'Arc.

Nous indiquons ci-dessous la fréquentation moyenne des stations de métro étudiées pendant la période de mesures.

Stations de métro - ligne B	Nombre de validations journalières
Canal du Midi	5617
Compans Caffarelli	14233
Jeanne d'Arc	12005
Jean Jaurès	35278
François Verdier	9938
Les Carmes	8082
Palais de Justice	8379

ANNEXE III : COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS QUART-HORAIRES MESURÉES SUR LES QAIS DES STATIONS DE MÉTRO

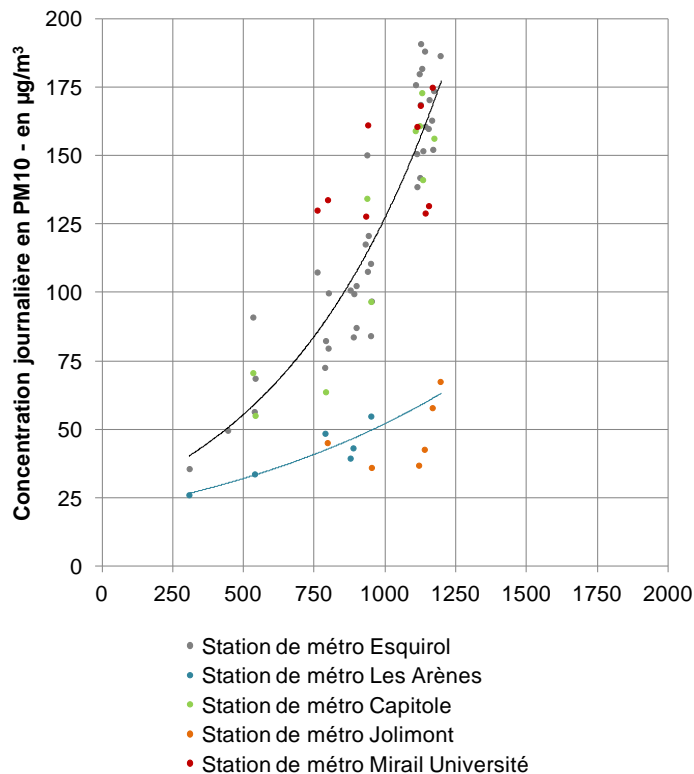
Ligne A

Pour toutes les stations de métro de la ligne A, les concentrations journalières en particules augmentent avec le nombre de rames de métro.

Pour les stations de métro Esquirol, Capitole et Mirail Université, la relation liant les concentrations en particules mesurées et le nombre de rames en circulation (trait gris sur le graphe) semble similaire avec une forte hausse des niveaux de concentration des particules au-delà de 1000 rames (dans les deux sens de circulation).

Pour la station de métro Les Arènes, la relation liant les concentrations en particules mesurées et le nombre de rames en circulation apparait différente (trait bleu sur le graphe). Les niveaux de particules sont plus faibles pour un même nombre de rames. Les mesures dans cette station de métro ayant été faites pendant les vacances scolaires, nous ne disposons pas de résultats de concentration pour des nombres de rames journaliers élevés. Il nous est donc difficile d'émettre des hypothèses de compréhension de cette différence.

Enfin pour la station de métro Jolimont, ouverte sur l'extérieur, le graphe ne met pas en évidence de relation forte entre le nombre de rames et la concentration relevée.

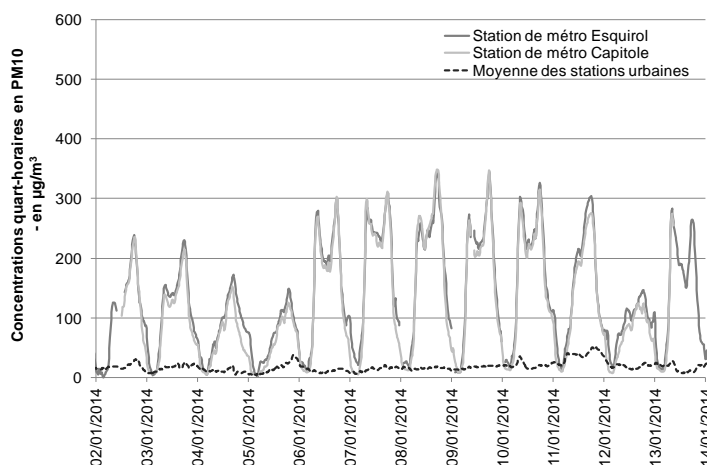


Graphe 14 : Evolution des concentrations journalières en PM10 en fonction du nombre de rames de métro pour les différentes stations de métro étudiées - Ligne A

L'étude de l'évolution des concentrations quart-horaires apporte des éléments complémentaires. Ainsi, il apparait que le profil des concentrations obtenu pour la station de métro Capitole est très similaire à celui rencontré sur Esquirol pendant les jours ouvrés et le week-end. Cette relation forte existant entre les niveaux de particules mesurés pour ces deux stations se traduit par un coefficient de détermination de 0,99.

Les niveaux de particules PM10 relevés la nuit sont similaires ou inférieurs à ceux rencontrés dans l'air ambiant extérieur.

Au passage de la 1ère rame de métro, les niveaux de particules augmentent sur les quais des stations de métro jusqu'à atteindre le pic du matin (jours ouvrés) vers 9h00 heure locale. Les niveaux de particules diminuent ensuite jusqu'à un pallier qui va durer quelques heures. Les niveaux de particules augmentent à nouveau et atteignent le pic du soir autour de 19h00 heure locale. Le pic du soir apparait plus élevé que le pic du matin. Les niveaux de particules diminuent ensuite progressivement jusqu'à l'arrêt de l'activité du métro.



Graphe 15 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Esquirol et Capitole - Ligne A

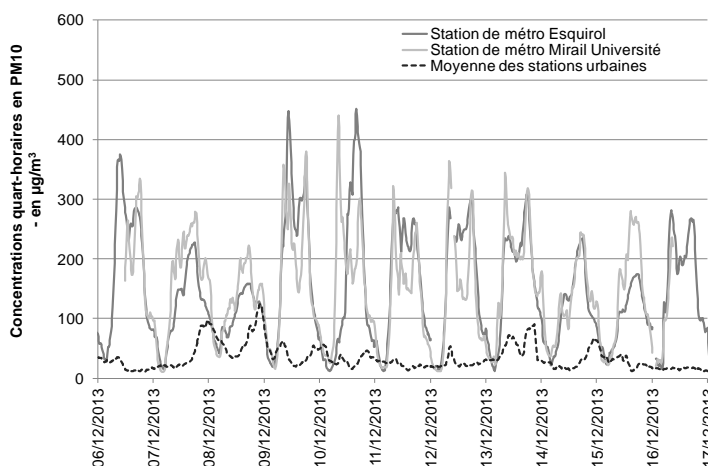
Le profil des concentrations obtenu pour la station de métro Mirail Université suit la même tendance (décrite ci-dessus) que celui obtenu pour la station de métro Esquirol. Cependant, des variations sont observées. Ces variations induisent un coefficient de détermination de 0,87.

Ainsi, le pic du matin est plus important que le pic du soir pour la station de métro Mirail Université pendant la campagne de mesures. En outre, le niveau du "plateau" de concentrations rencontrés entre les deux pics apparaît plus faible sur cette station de métro.

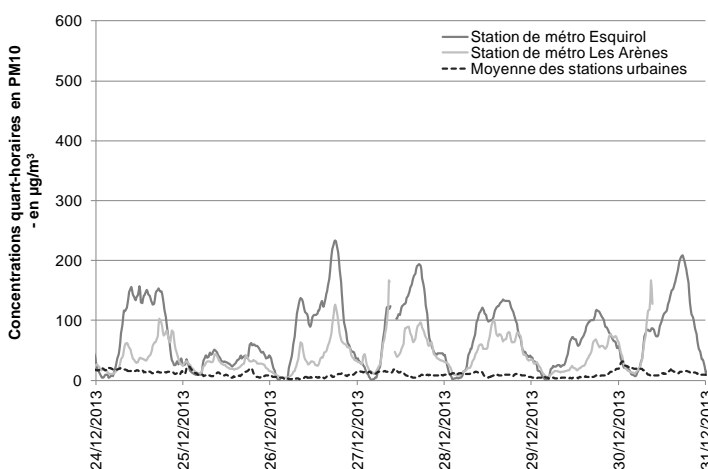
Les concentrations relevées pendant les vacances scolaires sont plus faibles du fait de la réduction du nombre de rames en circulation. Les pics de particules aux heures de pointe sont moins présents pendant cette période. Les niveaux relevés dans la station de métro Les Arènes apparaissent plus faibles que ceux obtenus dans la station de métro Esquirol. Le coefficient de détermination entre ces deux sites est de 0,81.

Les niveaux en particules PM10 relevées dans la station de métro Jolimont apparaissent nettement plus faibles que ceux rencontrés dans la station de métro Esquirol. Avec un coefficient de détermination de 0.74, la relation existant entre les niveaux de concentration de ces 2 stations est la plus faible rencontrée pour la ligne A.

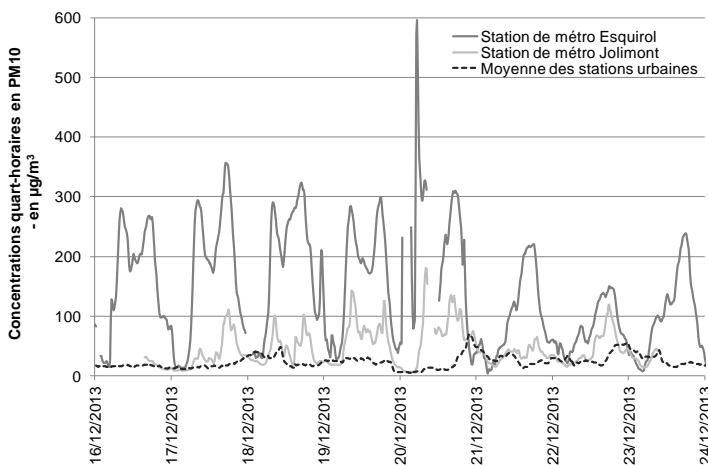
Le "confinement" de la ligne A du fait d'une ventilation moins puissante que pour la ligne B, se traduit par une relation forte entre les niveaux de concentrations et le nombre de rames de circulation. Les concentrations relevées dans les différentes stations de métro



Graphe 16 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Esquirol et Mirail Université - Ligne A



Graphe 17 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Esquirol et Les Arènes - Ligne A



Graphe 18 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Esquirol et Jolimont - Ligne A

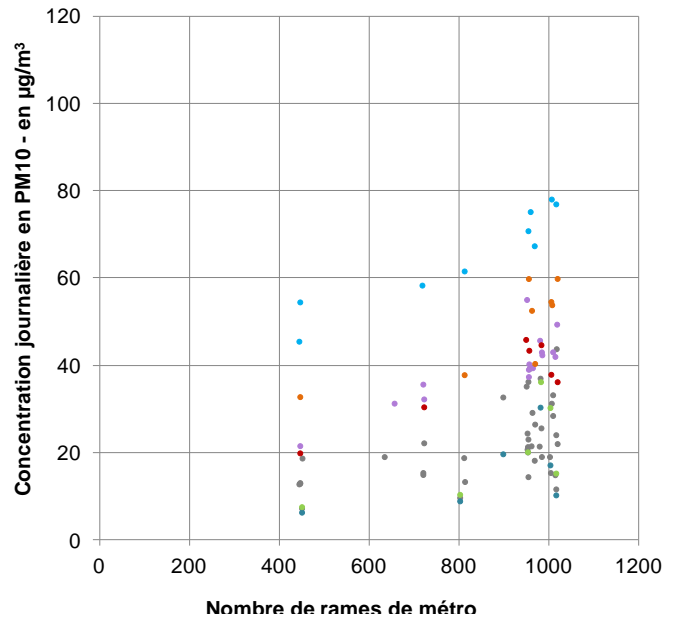
apparaissent bien corrélées entre elles. Cependant, d'autres paramètres semblent intervenir car nous avons constaté des différences entre les profils. La connaissance des volumes des stations de métro pourrait améliorer la compréhension de ces différences

Ligne B

Pour toutes les stations de métro de la ligne B, les concentrations journalières en particules tendent à augmenter avec le nombre de rames de métro.

Cependant, les concentrations en particules PM10 pour un nombre de rames en circulation donné varient fortement selon les stations de métro. Les stations de métro Jeanne d'Arc et Canal du Midi sont celles qui enregistrent les concentrations les plus faibles. Sur la station de métro Les Carmes, les niveaux de particules sont 7 fois supérieurs quelque soit le nombre de rames en circulation.

Pour la station de métro Compans Caffarelli, on a une dispersion forte des concentrations au-delà de 800 rames de métro / jour. Ainsi, pour cette station de métro, la concentration journalière mesurée peut être multipliée par deux d'un jour à l'autre pour un même nombre de rames de métro en circulation. **D'autres paramètres non identifiés apparaissent donc avoir un impact important sur les niveaux de particules.**



- Station de métro Compans Caffarelli
- Station de métro Canal du Midi
- Station de métro Jeanne d'Arc
- Station de métro Jean Jaurès
- Station de métro Les Carmes
- Station de métro François Verdier
- Station de métro Palais de Justice

Graph 19 : Evolution des concentrations journalières en PM10 en fonction du nombre de rames de métro pour les différentes stations de métro étudiées - Ligne B

Pour cette ligne de métro, l'étude de l'évolution des concentrations quart-heures apporte également des éléments complémentaires.

Les niveaux de particules relevés dans la station de métro Compans Caffarelli sont, selon les jours, du même ordre de grandeur ou supérieurs à ceux relevés dans l'air extérieur.

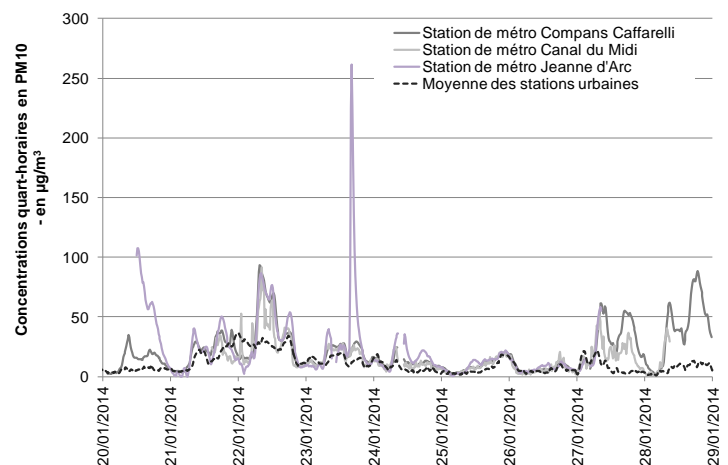
En outre, les niveaux de particules similaires à ceux relevés dans l'air ambiant extérieur sont mesurés les week end ou le nombre de rames de métro est limité comme les jours ouvrés.

Les pics rencontrés aux heures de pointe apparaissent peu prononcés.

L'impact de l'activité du métro sur les niveaux de particules apparaît donc faible à nulle selon les jours.

Le profil de la station de métro Compans Caffarelli apparaît très proche de celui obtenu pour la station voisine Canal du midi. Le coefficient de détermination de 0.89 confirme la relation forte existant entre les concentrations en particules relevées dans ces deux stations de métro.

Les concentrations en particules PM10 sur la station de métro Jeanne d'Arc suivent la même tendance que celles relevées dans la station de métro Compans Caffarelli mais on note la présence de pics ponctuels plus intenses dans cette station de métro.

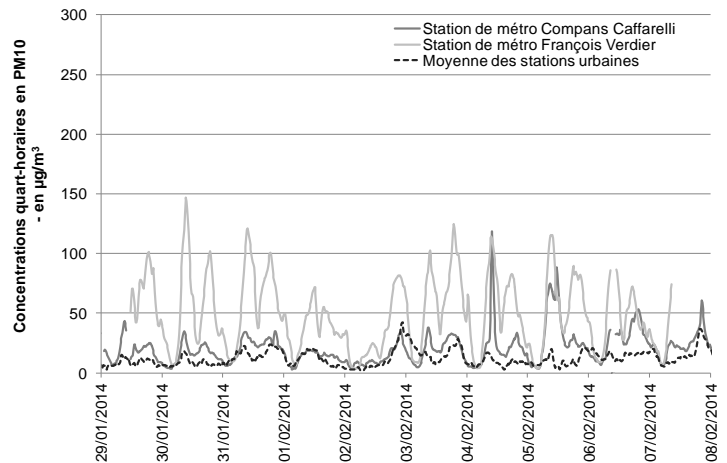


Graph 20 : Evolution des concentrations quart-heures en PM10 stations de métro Compans Caffarelli, Canal du Midi et Jeanne d'Arc- Ligne B

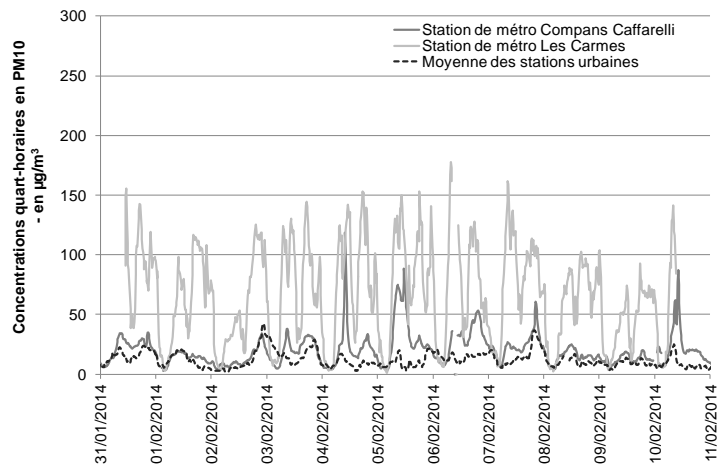
Les stations de métro Jean Jaurès, Palais de justice et les Carmes présentent, quant à elles, des niveaux de particules plus élevés que ceux mesurés pour la station de métro Compans Caffarelli.

La nuit les niveaux de concentration relevés dans toutes les stations de métro sont du même ordre de grandeur que dans l'air ambiant extérieur.

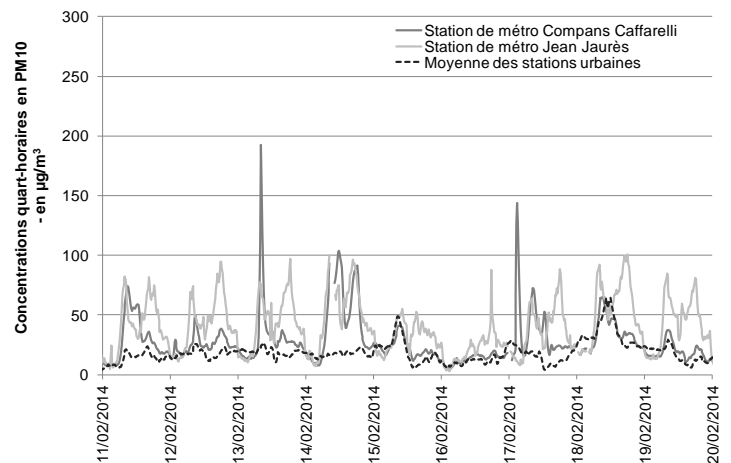
Les profils journaliers sont proches de ceux rencontrés sur la ligne A. Ainsi; au démarrage de l'activité du métro, les niveaux de particules augmentent. Ils atteignent un premier pic de concentration le matin puis diminuent jusqu'à un pallier avant d'augmenter à nouveau pour le pic du soir. Les concentrations maximales rencontrées sur les quais de la station de métro Les Carmes sont les plus élevées mesurées sur la ligne B. Elles restent néanmoins plus faibles que celles relevées sur la ligne A. La relation existant entre les niveaux de particules mesurés par ces stations et la station de métro Compans Caffarelli apparaît plus faible et se traduit par des coefficients de détermination inférieurs à 0.8.



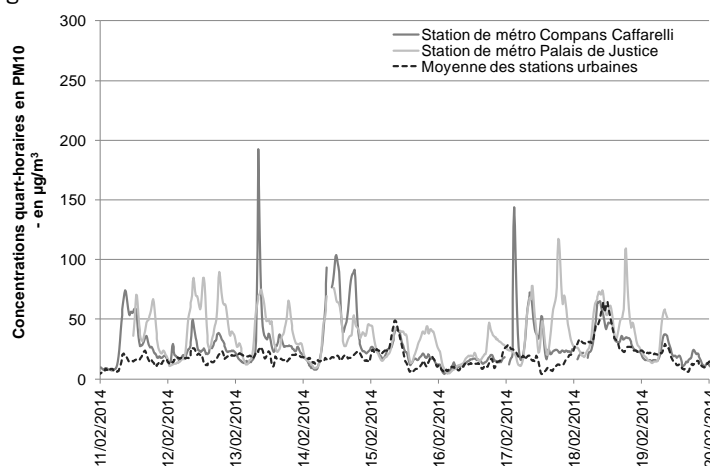
Graphe 21 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Compans Caffarelli et François Verdier - Ligne B



Graphe 22 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Compans Caffarelli et Les Carmes - Ligne B



Graphe 23 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Compans Caffarelli et Jean Jaurès - Ligne B



Graphe 24 : Evolution des concentrations quart-horaires en PM10 stations de métro Compans Caffarelli et Palais de justice - Ligne B

Lors des précédentes campagnes de mesures, nous avons considéré que la ventilation plus puissante permettait une réduction importante des niveaux de particules sur l'ensemble de la ligne de métro. Il

apparaît, avec cette étude, que cette réduction est variable selon les stations de métro notamment au regard des mesures pour la station des Carmes

ANNEXE IV : MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION

Depuis 2004, début des campagnes de mesures de la qualité de l'air dans le métro, nous avons observé que les concentrations en PM10 relevées sur les quais de deux stations de métro étudiées des lignes A et B sont plus élevées que celles rencontrées dans l'air l'extérieur, l'activité du métro générant des particules. Afin de connaître les niveaux de particules PM10 rencontrés sur les autres quais des autres stations de métro, une campagne de mesures de particules PM10 a été réalisée dans le courant de l'hiver 2013 - 2014, période pendant laquelle les concentrations en particules sont les plus élevées, dans les stations de métro les plus fréquentées des deux lignes du métro toulousain.

Afin de pouvoir comparer les niveaux de concentration en particules PM10 entre les différentes stations de métro d'une même ligne sur l'ensemble de la période de mesures, les niveaux de particules PM10 de chaque station de métro ont été modélisés grâce à l'étude de la relation existant entre les concentrations mesurées et certaines variables.

Il existe deux grandes méthodes de prévision :

- La méthode exogène : on utilise une ou plusieurs variables x autre que y pour faire les prévisions,
- La méthode endogène : on utilise uniquement les observations de y dans le temps pour faire des prévisions.

Dans le cadre de cette étude, nous avons réalisé la prévision de l'évolution des concentrations en PM10 dans les différentes stations de métro grâce à la méthode exogène.

Hypothèses

Nous avons cherché à mettre en avant une relation de dépendance entre les variables Y et X_1 , X_2 , X_3 . Y appelée variable endogène, est la variable que l'on cherche à expliquer (à prédire). Ainsi, dans le cadre de cette étude Y est la concentration quart-horaire de particules PM10 mesurée dans les stations de métro ; X_i sont les variables explicatives (prédictives).

Le modèle de régression linéaire simple s'écrit :

$$y_i = a \times x_i + b + \varepsilon_i$$

a et b sont les paramètres (les coefficients) du modèle. Dans le cas spécifique de la régression simple, a est la pente, b est la constante.

Avec le modèle de régression, on cherche à déterminer une droite qui représenterait au mieux la relation existant entre X et Y . La droite retenue est celle pour laquelle la somme des carrés des distances verticales de chaque point à la droite est minimale.

La régression linéaire simple permet de résumer la relation entre deux variables, et donc de prédire une variable Y en fonction d'une variable X . Mais la

prédiction d'une variable donnée peut être plus fine si l'on prend en compte plus de variables prédictives X_j , ($j = 1, \dots, p$). La régression multiple permet de calculer une équation additive de forme:

L'équation de régression s'écrit :

$$y_i = a_0 + a_1x_{i,1} + \dots + a_px_{i,p} + \varepsilon_i$$

Nous devons estimer les valeurs des $(p + 1)$ paramètres (a_0, a_1, \dots, a_p) à partir d'un échantillon de n observations. Nous remarquons dans le modèle :

- $i = 1, \dots, n$ correspond au numéro des observations ;
- y_i est la i -ème observation de la variable Y ;
- $x_{i,j}$ est la i -ème observation de la j -ème variable ;
- ε_i est l'erreur du modèle, il résume les informations manquantes qui permettrait d'expliquer linéairement les valeurs de Y à l'aide des p variables X_j (ex. valeurs prédictives manquantes, etc.).

Variables explicatives

Afin d'obtenir les modèles les plus pertinents, nous avons pris en compte un maximum de variables pouvant jouer un rôle explicatif :

- Les niveaux de particules mesurés dans les stations de référence (Esquirol pour la ligne A et Compans Caffarelli pour la ligne B),
- la température mesurée dans la station de métro Esquirol,
- la pression atmosphérique mesurée dans la station de métro Esquirol,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro étudiée,
- la fréquentation de la station de métro étudiée,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations de surveillance de la qualité de l'air urbaines toulousaines,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations de surveillance de la qualité de l'air trafic toulousaines,
- les conditions météorologiques relevées dans l'air ambiant toulousain (direction du vent, vitesse du vent, température, pression).

En outre, les mesures sur la ligne A ayant été en partie réalisées pendant les vacances scolaires, nous avons créé deux variables qualitatives :

- sur le jour de la semaine,
- sur le fonctionnement du métro.

Une attention particulière a été portée au risque de colinéarité entre les variables explicatives. On parle de colinéarité entre deux ou plusieurs variables lorsqu'il existe une liaison linéaire entre elles. La colinéarité peut entraîner une instabilité dans l'estimation des coefficients et des variances, et par conséquent peut fausser complètement les résultats des tests. Il faut donc éviter d'introduire simultanément dans le modèle

initial des variables explicatives qui sont liées ou susceptibles d'être liées linéairement entre elles.

Un programme a été créé grâce au logiciel R, afin de tester les différentes combinaisons de variables explicatives et de déterminer le modèle de régression le plus pertinent.

Détection des points aberrants et des points influents

La recherche de la meilleure régression nécessite dans un premier temps d'étudier la distribution des concentrations quart-horaires mesurées afin de repérer les observations qui jouent un rôle anormal dans la modélisation.

Par définition, un point atypique, on parle aussi de point aberrant, est une observation qui s'écarte résolument des autres. Cela peut être dû à une erreur de recueil des données, cela peut aussi correspondre à un individu qui n'appartient pas à la population étudié.

Les points influents sont des observations qui pèsent exagérément sur les résultats de la régression.

On peut les distinguer de plusieurs manières : ils sont "isolés" des autres points, on constate alors que la distribution des résidus est asymétrique; ils correspondent à des valeurs extrêmes des variables, en cela ils se rapprochent des points atypiques.

Bien souvent la distinction entre les points atypiques et les points influents est difficile. Un point peut être influent sans être atypique, il peut être atypique sans être influent.

La meilleure manière de le circonscrire est de recalculer les coefficients de la régression en écartant le point : si les résultats diffèrent significativement, en termes de prédiction ou terme de différence entre les coefficients estimés, le point est influent.

Les points atypiques peuvent être détectés par la construction d'une boîte à moustaches.

Tests de significativité

La pertinence du modèle a été analysée à l'aide de plusieurs tests de significativité :

Le coefficient de détermination :

La part de la variance expliquée par le modèle est traduite par le coefficient de détermination R^2 .

Le coefficient de détermination R^2 est compris entre 0 et 1. Lorsqu'il est proche de 0, cela signifie que les variables explicatives choisies n'expliquent en rien les valeurs prises par Y tandis que plus il tend vers 1, meilleur est le modèle. Il permet ainsi de tester la significativité globale du modèle. Le R^2 est donc un indicateur de qualité mais il présente un défaut : plus le nombre de variables explicatives augmentent (même non pertinentes) plus grande sera la valeur du R^2 , mécaniquement. Le R^2 n'est donc pas un bon outil pour évaluer le rôle de variables supplémentaires lors de la comparaison de modèles imbriqués. En augmentant le nombre de variables explicatives, la valeur du R^2 augmente de manière mécanique tandis que dans le même temps, le degré de liberté diminue. L'intégration du nombre de degrés de liberté permet de contrecarrer l'évolution du R^2 donne le R^2 ajusté. Le R^2 ajusté permet de comparer les modèles imbriqués.

Le test de significativité globale de la régression

Le test de significativité globale consiste à vérifier si le modèle, pris dans sa globalité, est pertinent.

L'hypothèse nulle correspond à la situation où aucune des variables explicatives n'emmène de l'information utile dans l'explication de Y c'est-à-dire que le modèle ne sert à rien. Sous l'hypothèse nulle, F suit une loi de Fisher. On considère que le modèle est globalement significatif lorsque F est supérieur au quantile d'ordre 1-risque choisi.

Le test de significativité d'un coefficient

Après avoir établi la significativité globale de la régression, nous devons évaluer la pertinence des variables prises individuellement. Si l'hypothèse nulle est avérée, Le retrait de la variable X_j de la régression est possible. Par rapport aux autres variables, la contribution de X_j dans l'explication de Y n'est pas significative.

ANNEXE V : APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE SUR LES STATIONS DE MÉTRO PRISES COMME RÉFÉRENCE

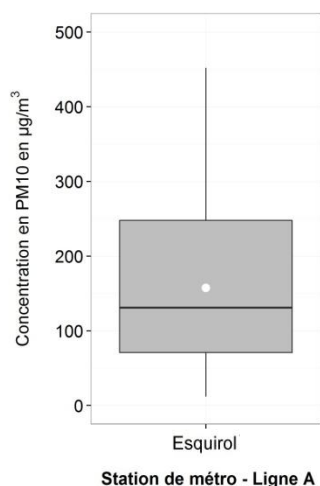
Afin de déterminer si le modèle de régression linéaire multiple peut permettre une modélisation correcte des concentrations quart-horaires en particules PM10 dans les stations de métro, la méthodologie a été appliquée sur les deux stations de métro prises comme référence : Esquirol pour la ligne A et Compans Caffarelli pour la ligne B.

Les concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans ces deux stations de métro, lors de la première semaine de mesure ont été utilisées pour déterminer un modèle de régression linéaire multiple. Le modèle a ensuite permis de prédire les niveaux de concentrations en particules PM10 dans les stations de métro pour les semaines suivantes et de les comparer avec les mesures faites.

Les performances du modèle choisi ont ensuite été étudiées.

La station de métro Esquirol : référence de la ligne A

La distribution des concentrations quart-horaires en PM10 mesurées sur le quai de la station de métro Esquirol entre le 05 et le 13 décembre a été étudiée.



Graphique 25 : Représentation schématique par "boîte à moustaches" de la distribution des concentrations quart-horaires en PM10 mesurées sur la station de métro Esquirol entre le 05 et le 13 décembre 2013

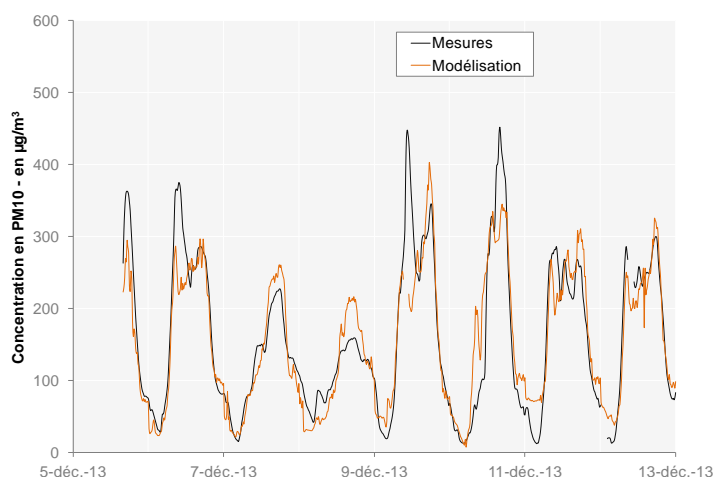
La boîte à moustaches n'a pas mis en évidence de concentrations aberrantes ou atypiques. Toutes les données ont donc été utilisées pour la recherche d'un modèle de régression.

Pour la station Esquirol, le modèle de régression obtenu prend en compte les variables suivantes :

- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations de surveillance de la qualité de l'air urbaines toulousaines,

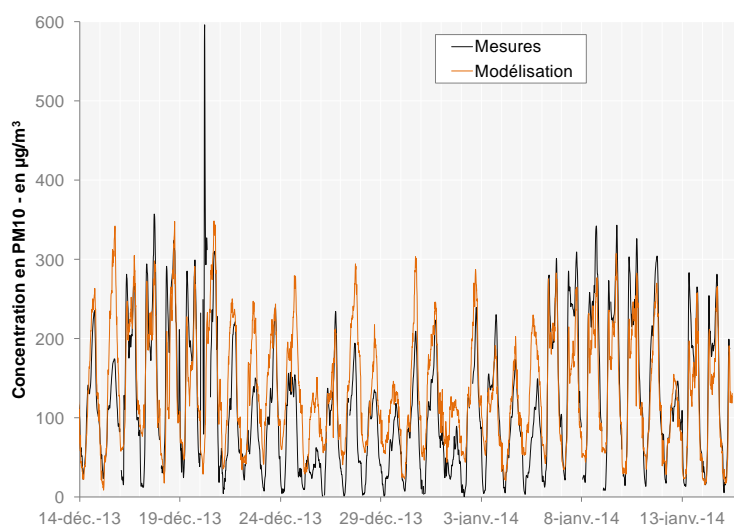
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Esquirol,
- la fréquentation de la station de métro étudiée,
- l'humidité relative relevée dans l'air ambiant extérieur.

Le coefficient R^2 obtenu pour ce modèle est de 0.85.



Graphique 26 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Esquirol entre le 05 et le 13 décembre 2013

Ce modèle de régression a été utilisé pour calculer les concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Esquirol entre le 13 décembre 2013 et le 15 janvier 2014. Cette période n'a pas été utilisée pour la création du modèle.



Graphique 27 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Esquirol du 13 décembre 2013 au 14 janvier 2014.

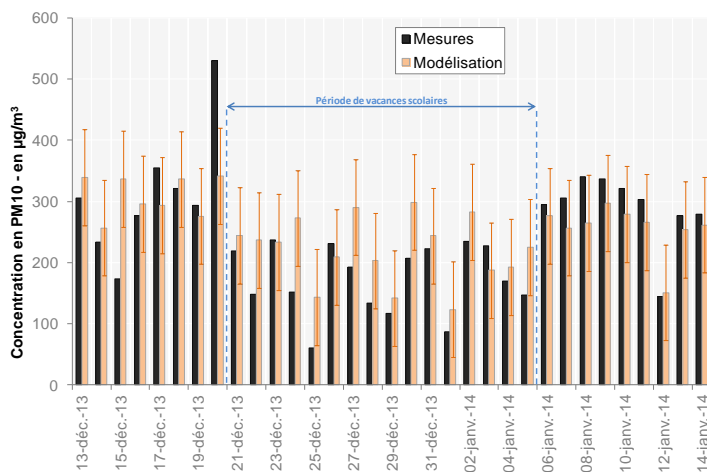
Les résultats du modèle sont globalement satisfaisants.

Nous obtenons une prédiction des concentrations quart-horaires en PM10. Cependant, nous ne savons pas quel degré de confiance nous pouvons lui accorder. Nous avons donc déterminé les intervalles de prédiction en leur associant une probabilité de recouvrir la vraie valeur. Nous avons choisi un intervalle de confiance de 95%.

Ci-dessous sont calculées les concentrations horaires glissantes maximales journalières mesurées et modélisées sur le quai de la station de métro Esquirol.

Les concentrations horaires glissantes maximales journalières modélisées sont du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées exceptées pendant les vacances scolaires où elles sont surestimées.

On note, en revanche, que la concentration la plus élevée mesurée est largement sous-estimée lors de la modélisation. Cette concentration a été mesurée entre 06h15 et 7h15, à une période où le nombre de rames en circulation et la fréquentation dans la station était faible. Cette concentration élevée est sans doute lié à d'autres paramètres qui ne sont pas pris en compte par la modélisation.



Graphe 28 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Esquirol du 13 décembre 2013 au 14 janvier 2014.

Nous indiquons ci-après les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations quart-horaires en PM10 modélisées et observées sur le quai de la station de métro Esquirol.

Indicateurs statistiques	Modèle 3109 obs.	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0.13	$-0.3 < FB < 0.3$
MG	0.72	$-0.7 < MG < 1.3$
NMSE	0.18	$NMSE < 4$
VG	1.77	$VG < 1.6$
FAC2	0.79	$FAC2 > 0.5$
r	0.80	Le plus proche de 1
MFE	0.44	$MFE \leq 0.5$
MFB	-0.28	$MFB \leq \pm 0.3$

Les valeurs légèrement négatives du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle a une légère tendance à sous estimer les valeurs observées. Toutefois ponctuellement le modèle peut donner une valeur supérieure.

NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Le NMSE obtenu pour le modèle est correct.

Plus VG est grand, plus l'écart entre mesure et observation est grand. Cet indicateur est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles. La VG ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de VG peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs forts, soit aux deux à la fois. Dans le cas de notre modèle, la VG est légèrement supérieure au seuil fourni pour un modèle performant.

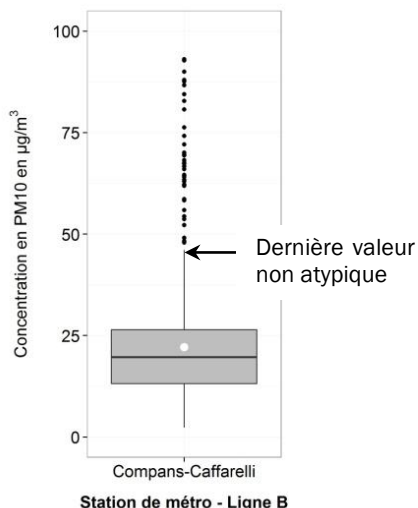
FAC2 renseigne sur la proportion des valeurs simulées à moins d'un facteur 2 des observations. 79% des valeurs simulées sont ainsi à moins d'un facteur 2 des observations.

La corrélation mesure la capacité du modèle à reproduire les variations temporelles des observations. Dans le cas du modèle calculé pour les concentrations quart-horaires, 80% des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.

Les critères de performance trouvés dans la littérature sont atteints pour le modèle utilisé. Seule la variance moyenne géométrique VG est légèrement supérieure au seuil fixé pour un modèle performant. Les concentrations fortes, que nous souhaitons comparées aux seuils recommandés sont correctement modélisées. La modélisation obtenue répond donc à nos besoins.

La station Compans Caffarelli: référence pour la ligne B

L'étude de la distribution des concentrations quart-horaires des particules PM10 mesurées sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli les 10 premiers jours de mesures a mis en évidence la présence de nombreuses concentrations atypiques. Ces valeurs correspondent aux concentrations les plus élevées relevées sur le quai de la station de métro.



Graphie 29 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli du 16 au 24 janvier 2014.

Les concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans la station de métro Compans Caffarelli la première semaine de mesures ont été modélisées à l'aide d'un modèle de régression linéaire multiple.

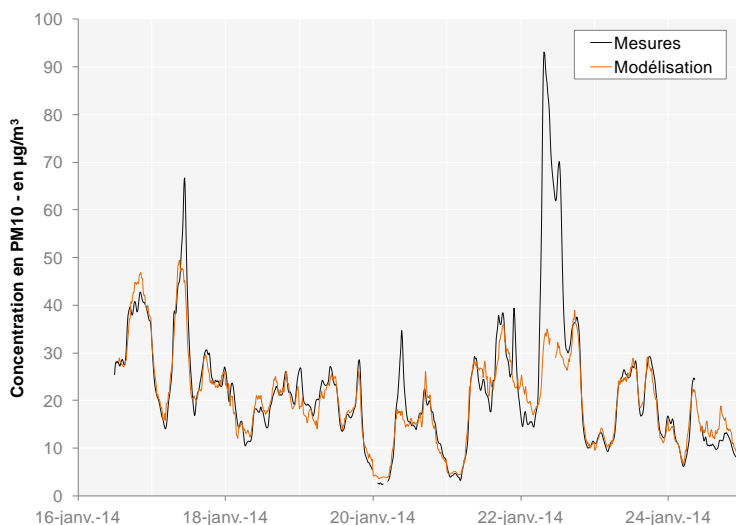
Les valeurs atypiques observées sont des valeurs influentes. Elles pèsent fortement dans la régression c'est à dire que les résultats sont très différents selon que ces valeurs sont prises en compte ou pas dans la régression.

Sans ces concentrations, le modèle de régression obtenu prend en compte les variables suivantes :

- les niveaux de particules PM10 mesurés par les stations de surveillance de la qualité de l'air urbaines toulousaines,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Compans Caffarelli,
- la fréquentation de la station de métro étudiée,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant.

Le R^2 obtenu pour ce modèle est de 0.88.

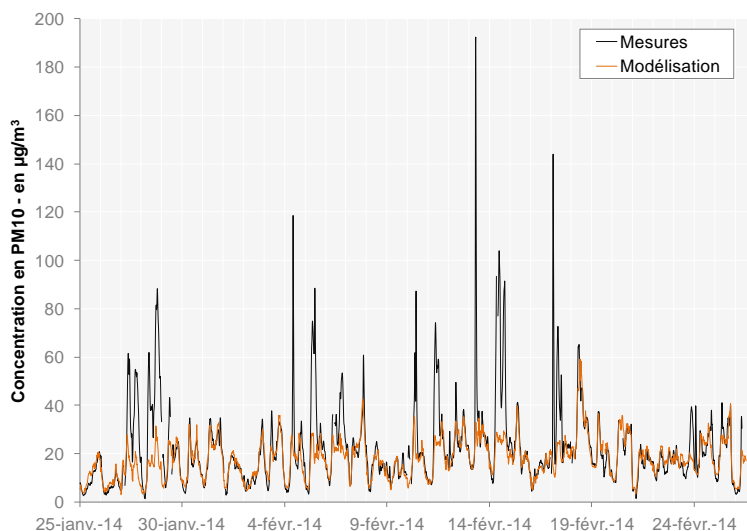
Cependant, la comparaison mesures/modèle montre que les concentrations les plus fortes sont très mal reconstituées, ces concentrations n'obéissent pas à la relation qui a été établie par la régression.



Graphie 30 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli pendant la première semaine

Les variables choisies ne permettent pas d'expliquer les pics de concentration enregistrés sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli.

Ce modèle de régression a été utilisé pour calculer les concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli entre le 25 janvier 2014 et le 26 février 2014. Cette période n'a pas été utilisée pour la création du modèle.

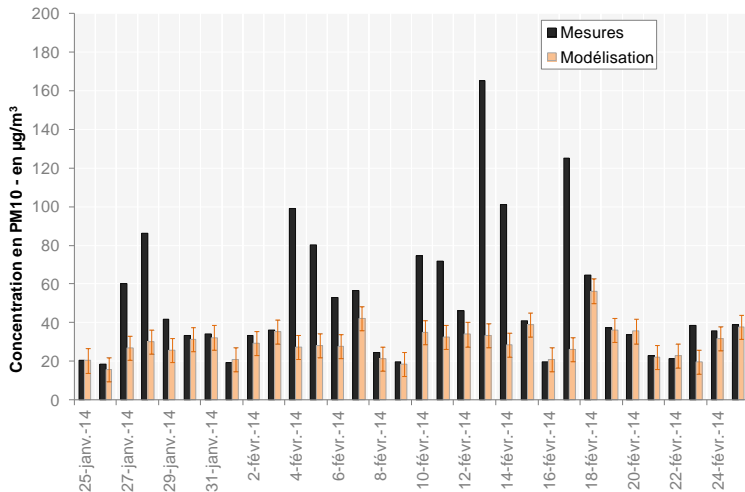


Graphie 31 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais de la station de métro Compans Caffarelli du 25 janvier au 24 février 2014.

L'évolution des concentrations quart-horaires en particules PM10 sur le quai de la station Compans Caffarelli est bien modélisée. En revanche, les pics de pollution ne sont pas reconstitués. Les paramètres nombre de rames en circulation et fréquentation de la station ne permettent pas d'expliquer ces pics de

pollution. D'autres paramètres, non utilisés dans la modélisation, ont une forte influence sur les pics de particules (réenvol?, freinage des rames? accumulation des particules du fait du passage plus fréquent des rames aux heures de pointe...)

Du fait de la mauvaise reconstitution des pics de concentrations, certaines concentrations horaires glissantes maximales journalières modélisées sont sous estimées.



Grphe 32 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur le quai de la station de métro Compans Caffarelli du 25 janvier au 24 février 2014.

Nous indiquons ci-après les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations quart-horaires en PM10 modélisées et observées sur le quai de la station de métro Esquirol.

Indicateurs statistiques	Modèle 3796 obs.	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	0.18	-0.3 < FB < 0.3
MG	1.08	-0.7 < MG < 1.3
NMSE	0.42	NMSE < 4
VG	1.15	VG < 1.6
FAC2	0.91	FAC2 > 0.5
r	0.63	Le plus proche de 1
MFE	0.23	MFE ≤ 0.5
MFB	-0.07	MFB ≤ ±0.3

Les valeurs légèrement positive du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle a une légère tendance à sur estimer les valeurs observées.

NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Les NMSE obtenus pour le modèle sont correct.

L'indicateur logarithmique VG est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles.

FAC2 renseigne sur la proportion des valeurs simulées à moins d'un facteur 2 des observations. 91% des valeurs simulées sont ainsi à moins d'un facteur 2 des observations.

La corrélation mesure la capacité du modèle à reproduire les variations temporelles des observations. Dans le cas du modèle calculé pour les concentrations quart-horaires, 63% des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures. Cette corrélation est tirée vers le bas par les concentrations élevées mesurées dans la station de métro mal modélisées.

Les critères de performance trouvés dans la littérature sont atteints pour le modèle utilisé. Le modèle permet d'avoir des concentrations modélisées proches des concentrations mesurées exceptées pour les concentrations les plus fortes. Or, ce sont ces concentrations les plus fortes que nous souhaitons en priorité modélisées afin de pouvoir les comparer avec les seuils recommandés. Dans ce cadre, la modélisation obtenue ne répond pas à nos besoins.

Les mesures faites dans les stations de métro Esquirol et Compans Caffarelli comme variable explicative pour la modélisation des concentrations quart-horaires en particules PM10 dans les autres stations de métro de la ligne B ont donc été utilisées pour améliorer l'évaluation des niveaux les plus forts.

ANNEXE VI : PRÉSENTATION DES MODÈLES OBTENUS POUR CHAQUE STATION DE MÉTRO

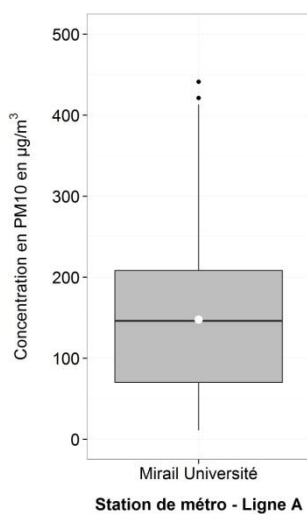
Ayant montré dans l'annexe V que le modèle de régression linéaire multiple permet une modélisation correcte des concentrations quart-horaires en particules PM10 dans les stations de métro, la méthodologie

décrite en annexe IV a été appliquée à l'ensemble des stations de métro instrumentées.

Pour les stations de métro de la ligne A

Station de métro Mirail-Université

La distribution des concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans la station Mirail Université est présentée ci-dessous :



Graphe 33 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Mirail Université.

Les deux concentrations situées au-delà de 416 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont considérées comme atypiques.

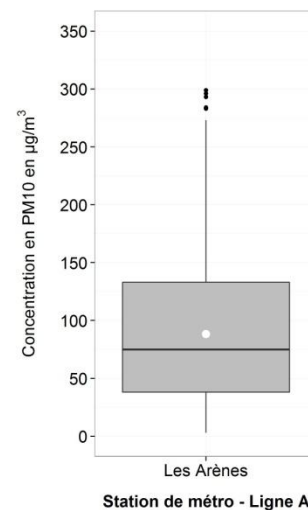
Les modèles de régression ont été testés avec et sans ces points atypiques afin de déterminer si ces concentrations pèsent de manière exagérée dans la régression. Il est apparu que ces deux concentrations ne sont pas influentes, c'est-à-dire que les concentrations modélisées varient peu selon que ces concentrations sont prises en compte ou pas dans la régression. Nous les avons donc conservées.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise six variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station de métro Esquirol,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Mirail Université,
- la fréquentation dans la station de métro Mirail Université
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur.

Station de métro Les Arènes

Plusieurs concentrations quart-horaires mesurées dans la station de métro Les Arènes situées au-delà de 276 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont considérées comme atypiques.



Graphe 34 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Les Arènes.

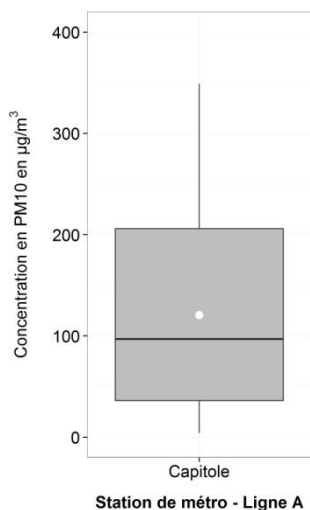
Le test des modèles de régression avec et sans points atypiques a montré que ces concentrations ne pèsent pas dans la régression. Nous les avons donc conservées.

Pour cette station de métro, le meilleur modèle de régression obtenu utilise huit variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Esquirol,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Les Arènes,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,
- une variable qualitative sur le jour de la semaine.

Station de métro Capitole

Pour la station de métro Capitole, aucune concentration n'est atypique.



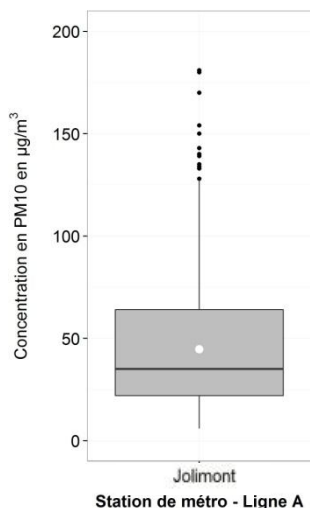
Graph 35 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Capitole.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise sept variables explicatives

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Esquirol,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Capitole,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,
- une variable qualitative sur le jour de la semaine,
- une variable qualitative sur le fonctionnement du métro.

Station de métro Jolimont

Douze concentrations quart-horaires mesurées dans la station de métro Jolimont situées au-delà de 127 µg/m³ sont considérées comme atypiques.



Graph 36 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Jolimont.

Le test des modèles de régression avec et sans points atypiques a montré que ces concentrations pèsent peu dans la régression. Nous les avons donc conservées.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise ainsi six variables explicatives

- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Jolimont,
- la fréquentation dans la station de métro Jolimont,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,
- une variable qualitative sur le jour de la semaine.

Coefficients de détermination obtenus pour chaque modèle

Dans le tableau ci-dessous, nous indiquons le coefficient de détermination linéaire multiple R^2 qui indique la part de variance expliquée par le modèle.

Stations de métro LIGNE A	Mirail Université	Les Arènes	Capitole	Jolimont
R^2	0.85	0.81	0.98	0.71

Les variances expliquées par les modèles sont élevées, proches à très proches de 1. Les concentrations en PM10 des stations de métro de la ligne A sont correctement modélisées avec les variables explicatives choisies.

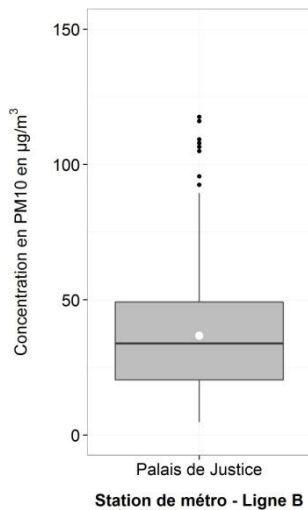
La variance expliquée par le modèle obtenu pour la station de métro Capitole est de 98%. Ce résultat est sans doute en partie dû à la proximité de la station de métro Esquirol et Capitole.

Pour les stations plus éloignées Les Arènes et Mirail Université, le coefficient de détermination est plus faible. Il reste néanmoins largement significatif. Pour la station de Jolimont, les variables explicatives choisies permettent d'expliquer 71% de la dispersion. La station de Jolimont n'est pas, comme les autres stations, confinée. Elle est ouverte sur l'extérieur. Cela explique le R^2 plus faible. Il reste toutefois acceptable pour notre étude.

Pour les stations de métro de la ligne B

Station de métro Palais de Justice

La distribution des concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans la station Palais de Justice est présentée ci-dessous :



Graphe 37 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Palais de Justice.

Huit concentrations situées au-delà de 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont considérées comme atypiques.

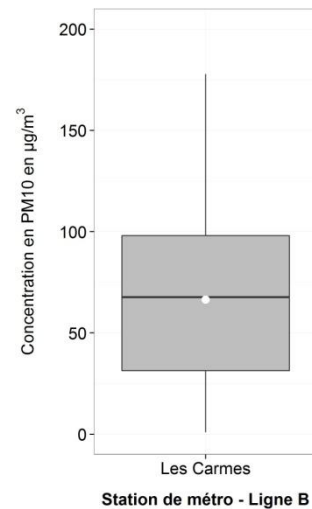
Le test des modèles de régression avec et sans points atypiques a montré que ces concentrations jouent un rôle dans la régression et la perturbent. Ces concentrations n'ont donc pas été prises en compte pour la recherche du meilleur modèle de régression.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 6 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Compans Caffarelli,
- les niveaux de particules PM10 mesurés en moyenne par les stations urbaines toulousaines,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Palais de Justice,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur

Station de métro Les Carmes

Pour la station de métro Les Carmes, aucune concentration n'est atypique.



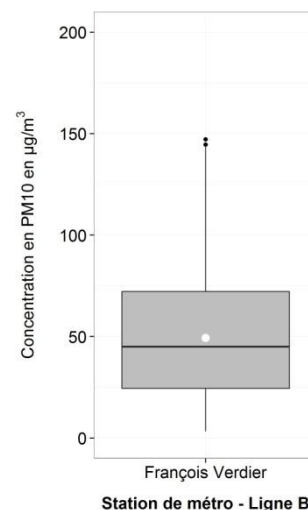
Graphe 38 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Les Carmes.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 6 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Compans Caffarelli,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Route d'Albi,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro,
- une variable qualitative sur le jour de la semaine.
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur

Station de métro François Verdier

Deux concentrations, légèrement supérieures au seuil de 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont considérées comme atypiques.



Graphe 39 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro François Verdier

Le test des modèles de régression avec et sans points atypiques ont montré que ces concentrations pèsent

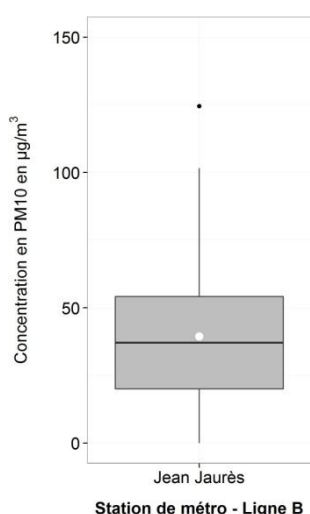
peu dans la régression. Nous les avons donc conservées.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 4 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés en moyenne par les stations urbaines toulousaines,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- la fréquentation dans la station de métro François Verdier,
- un paramètre météorologique relevé dans l'air ambiant extérieur,

Station de métro Jean Jaurès

Pour la station de métro Jean Jaurès, une seule concentration quart-horaire est considérée atypique.



Graphe 40 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Jean Jaurès

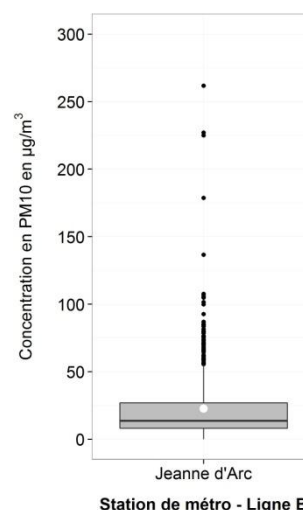
Le test des modèles de régression avec et sans point atypique a montré que ces concentrations pèsent peu dans la régression. Nous l'avons donc conservé.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 6 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Compans Caffarelli,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Périphérique,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro Jean Jaurès,
- la fréquentation dans la station de métro Jean Jaurès,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,

Station de métro Jeanne D'Arc

La distribution des concentrations quart-horaires mesurées dans la station de métro Jeanne d'Arc est marquée par la présence de 62 valeurs atypiques.



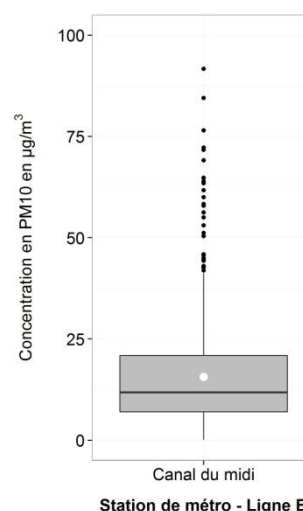
Le test des modèles de régression avec et sans points atypiques a montré que ces concentrations modifient fortement les résultats de la régression. Nous les avons donc enlevés.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 6 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Compans Caffarelli,
- les niveaux de particules PM10 mesurés par la station trafic toulousaine Route d'Albi,
- le nombre de rames en circulation dans la station de métro,
- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,
- une variable qualitative sur le jour de la semaine.

Station de métro Canal du Midi

La distribution des concentrations quart-horaires mesurées dans la station de métro Jeanne d'Arc met en évidence la présence de 27 valeurs atypiques.



Graphe 41 : Distribution des concentrations en PM10 mesurées sur les quais de la station de métro Canal du Midi

La conservation de ces valeurs atypiques a permis d'obtenir une meilleure régression.

Le meilleur modèle de régression obtenu utilise 6 variables explicatives :

- les niveaux de particules PM10 mesurés dans la station de métro Compans Caffarelli,
- les niveaux de particules PM10 mesurés en moyenne par les stations urbaines toulousaines,
- le nombre de validations dans la station de métro Canal du Midi,

- des paramètres météorologiques relevés dans l'air ambiant extérieur,
- deux variables qualitatives sur le jour de la semaine et le fonctionnement du métro.

Dans le tableau ci-dessous, nous indiquons le coefficient de détermination linéaire multiple R^2 qui indique la part de variance expliquée par le modèle.

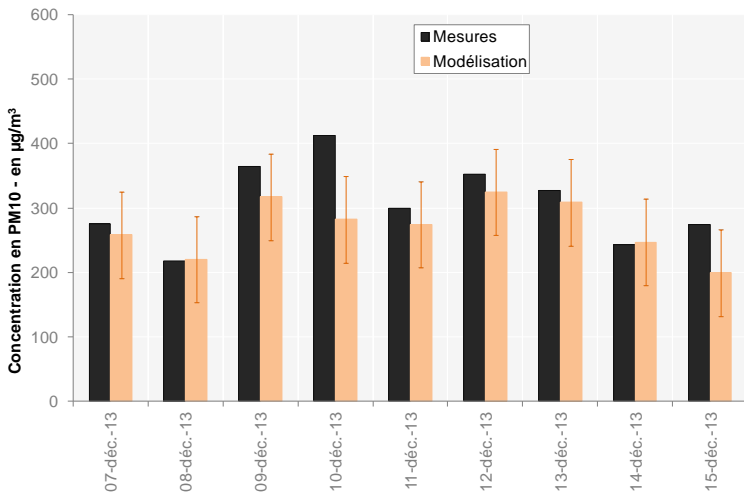
Stations de métro LIGNE B	Palais de Justice	Les Carmes	François Verdier	Jean Jaurès	Jeanne d'Arc	Canal du Midi
R^2	0.69	0.65	0.71	0.85	0.85	0.82

Les variances expliquées par les modèles sont, pour la station de métro Jeanne d'Arc, Jean Jaurès et Canal du Midi, du même ordre de grandeur que celles calculées pour les stations de la ligne A. En revanche, celles obtenues pour Palais de Justice, les Carmes et François Verdier sont plus faibles, inférieures à celles obtenues par la station Jolimont qui est une station ouverte sur l'extérieur. Les variables choisies expliquent une part de la variance plus faible.

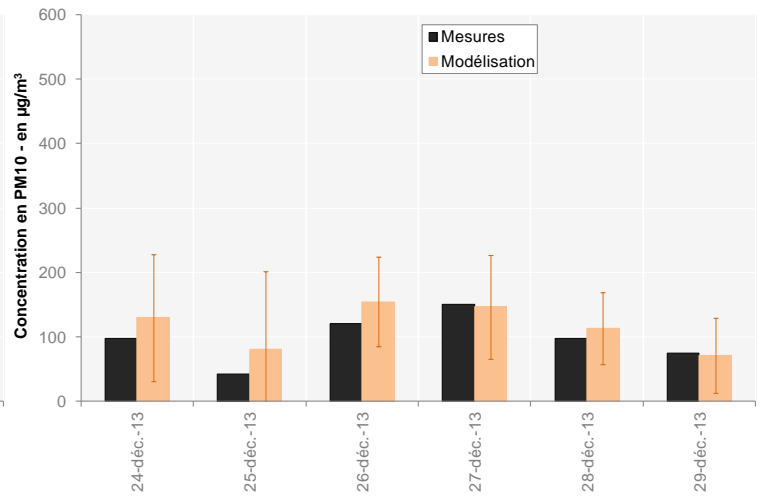
D'autres variables, non prises en compte car non quantifiables ou qualifiables dans le cadre de cette étude doivent avoir une incidence non négligeable sur l'évolution des niveaux de particules mesurés sur les quais des stations de métro Ligne B.

ANNEXE VII : COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES HORAIRES GLISSANTES MESURÉES ET MODÉLISÉES

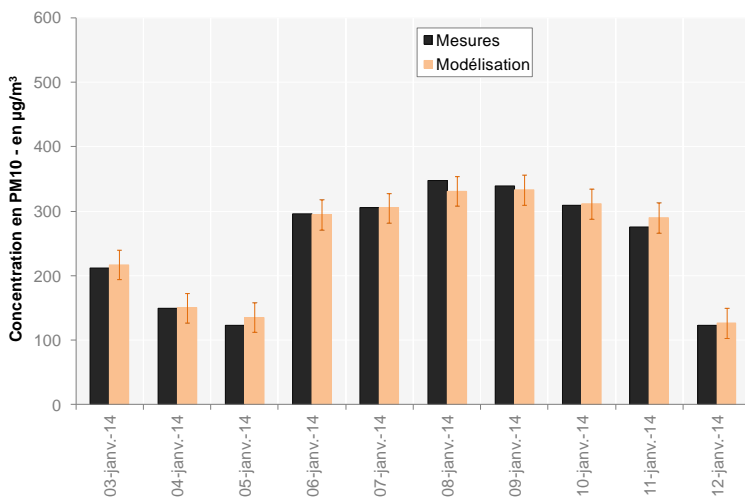
Stations de métro Ligne A



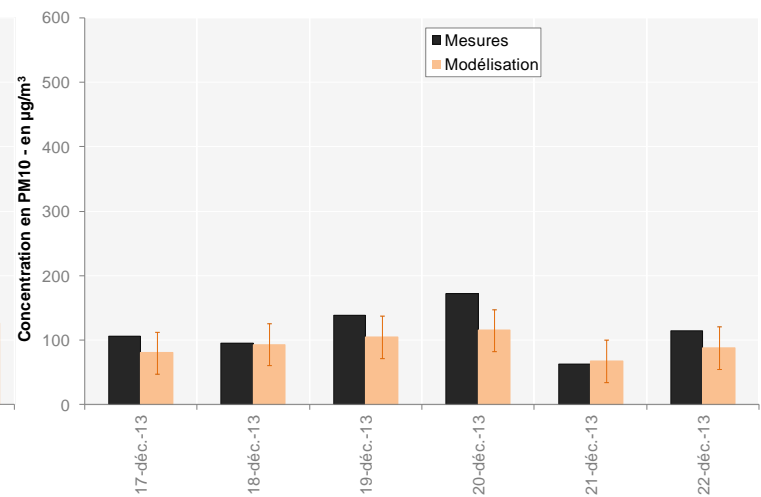
Station de métro Mirail Université



Station de métro Les Arènes



Station de métro Capitole



Station de métro Jolimont

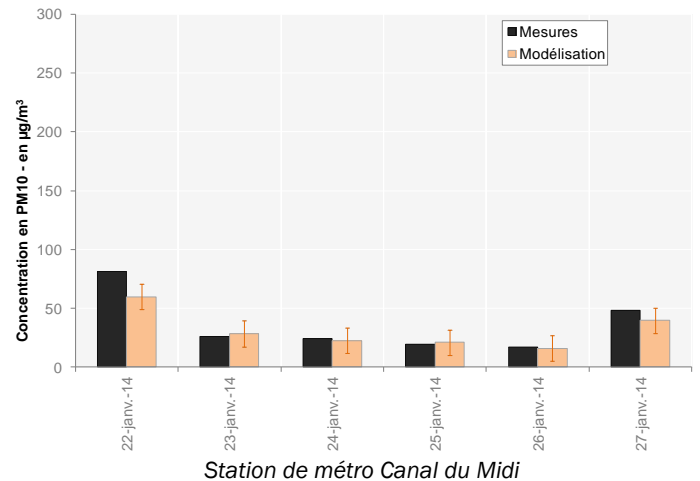
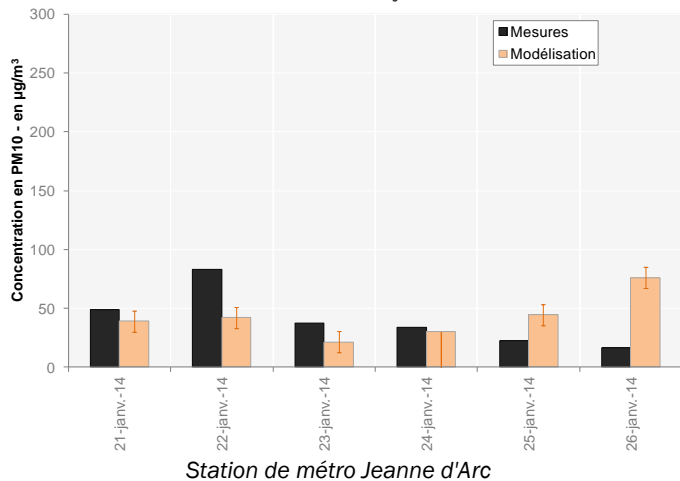
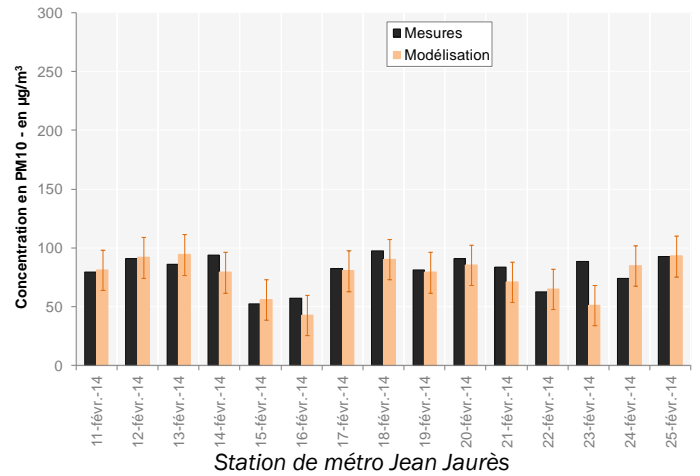
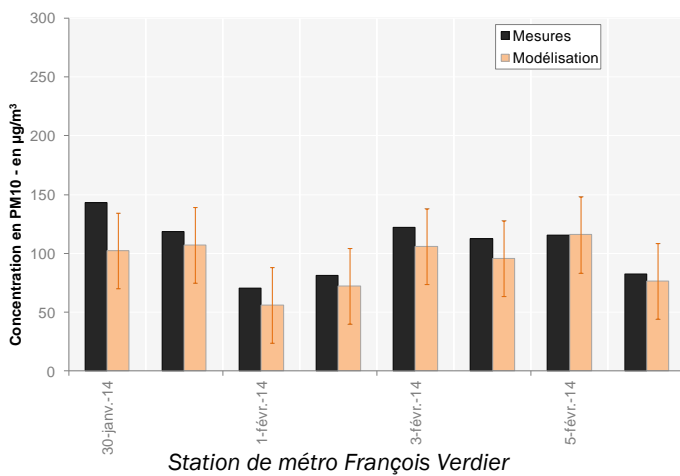
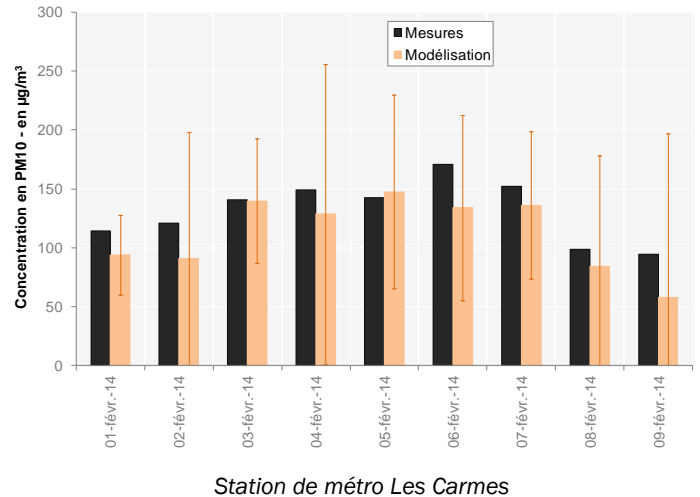
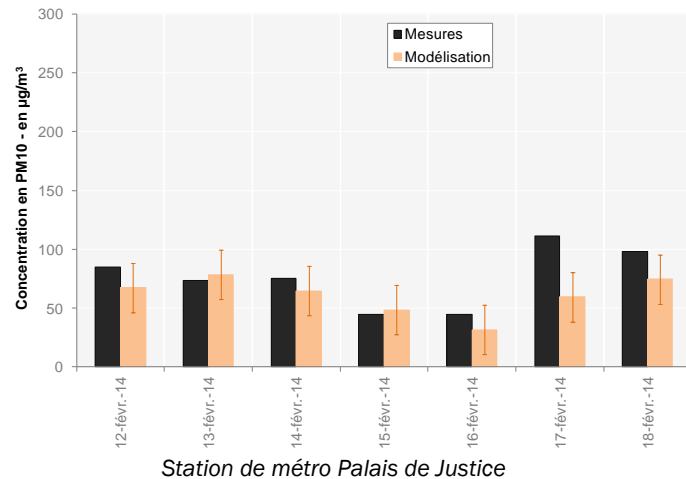
Graph 42 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais des stations de métro de la ligne A

Les concentrations atypiques mises en évidence lors de l'étude de la distribution des concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans plusieurs stations de métro de la ligne A sont mal reconstituées par la régression. Ces concentrations n'obéissent pas à la relation qui a été établie par la régression. Les plus fortes concentrations mesurées dans les stations de métro semblent donc liées à des variables

qui n'ont pas été prises en compte dans cette étude car ne pouvant être quantifiées ou qualifiées (ventilation, freinage...).

En moyenne glissante, les concentrations en particules PM10 apparaissent correctement modélisées dans la grande majorité des cas.

Stations de métro ligne B



Graph 43 : Comparaison mesures / modèle des concentrations en PM10 sur les quais des stations de métro de la ligne A

Les concentrations atypiques mises en évidence lors de l'étude de la distribution des concentrations quart-horaires en particules PM10 mesurées dans plusieurs stations de métro de la ligne B sont mal reconstituées par la régression. Ces concentrations n'obéissent pas à la relation qui a été établie par la régression.

Les plus fortes concentrations mesurées dans les stations de métro semblent donc liées à des variables

qui n'ont pas été prises en compte dans cette étude car ne pouvant être quantifiées ou qualifiées (ventilation, freinage...).

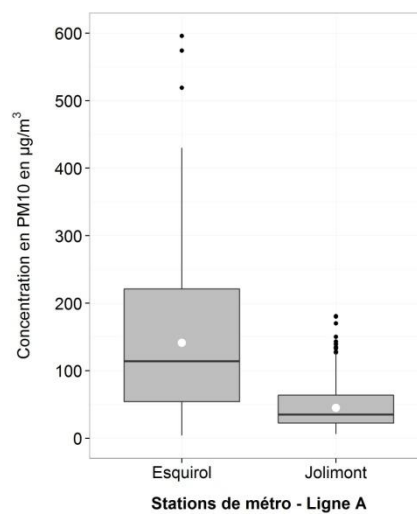
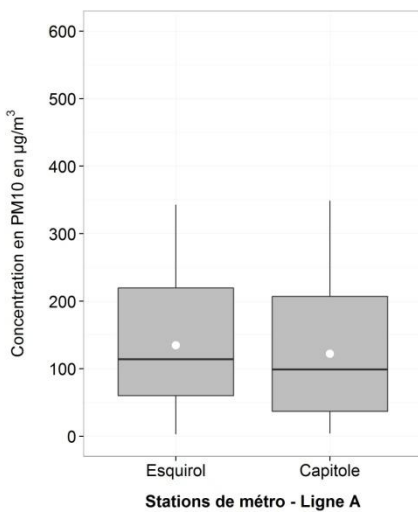
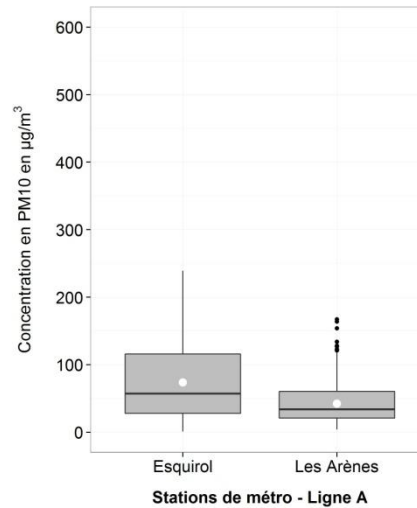
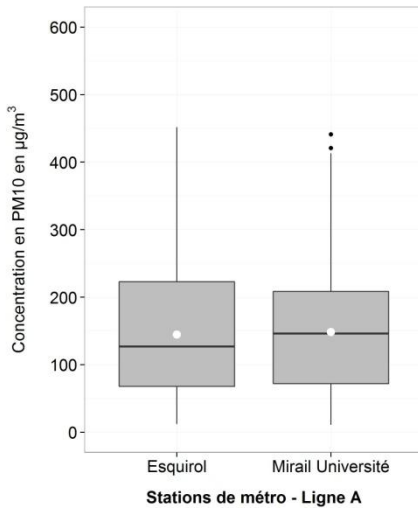
Cependant, en moyenne glissante, les concentrations en particules PM10 apparaissent correctement modélisées dans la grande majorité des cas.

ANNEXE VIII : COMPARAISON DE LA DISPERSION DES CONCENTRATIONS MESURÉES ENTRE LA STATION DE MÉTRO DE RÉFÉRENCE ET LES AUTRES STATIONS DE MÉTRO

La comparaison de la distribution des concentrations quart-horaires mesurées sur les quais de la station de métro de référence avec celles mesurées sur les quais

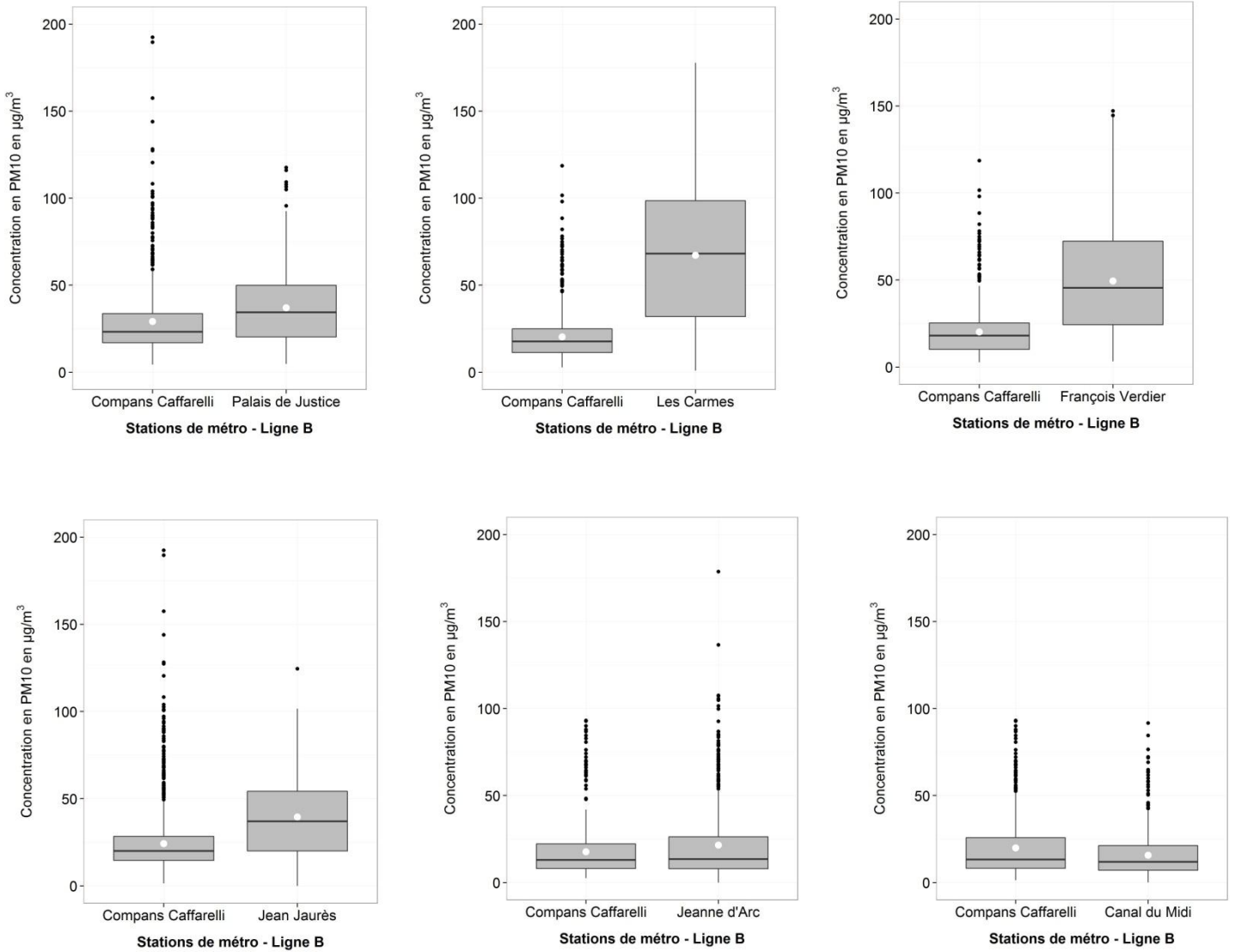
des autres stations de métro a permis de valider les dispersions obtenues pour les modélisations.

Ligne A



Graphe 44 : Comparaison de la dispersion des concentrations mesurées entre la station de métro de référence et les autres stations de métro - Ligne A

Ligne B

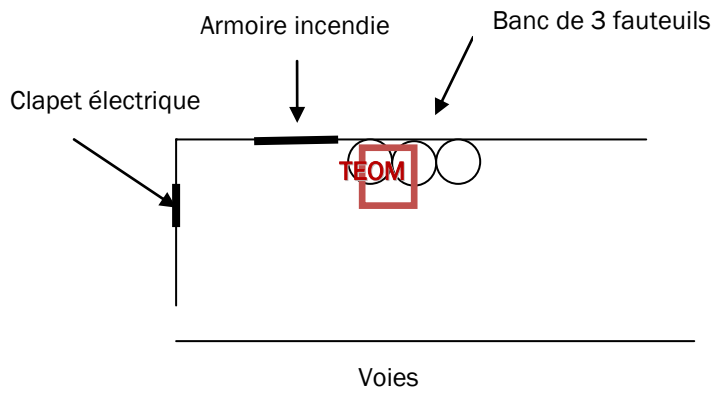


Graph 45 : Comparaison de la dispersion des concentrations mesurées entre la station de métro de référence et les autres stations de métro - Ligne B

ANNEXE IX : SITE ÉTUDIÉS POUR LA MESURE DES PARTICULES PM10 DANS CHAQUE STATION DE MÉTRO

LIGNE A : Station Capitole

Le clapet électrique se situe dans le fond de la station. Le TEOM ne peut être installé à côté car il gênerait l'accès à l'armoire incendie. La solution serait donc d'installer le TEOM après l'armoire incendie à la place du banc de 3 fauteuils qui serait démonté pour l'occasion par les services de TISSEO.

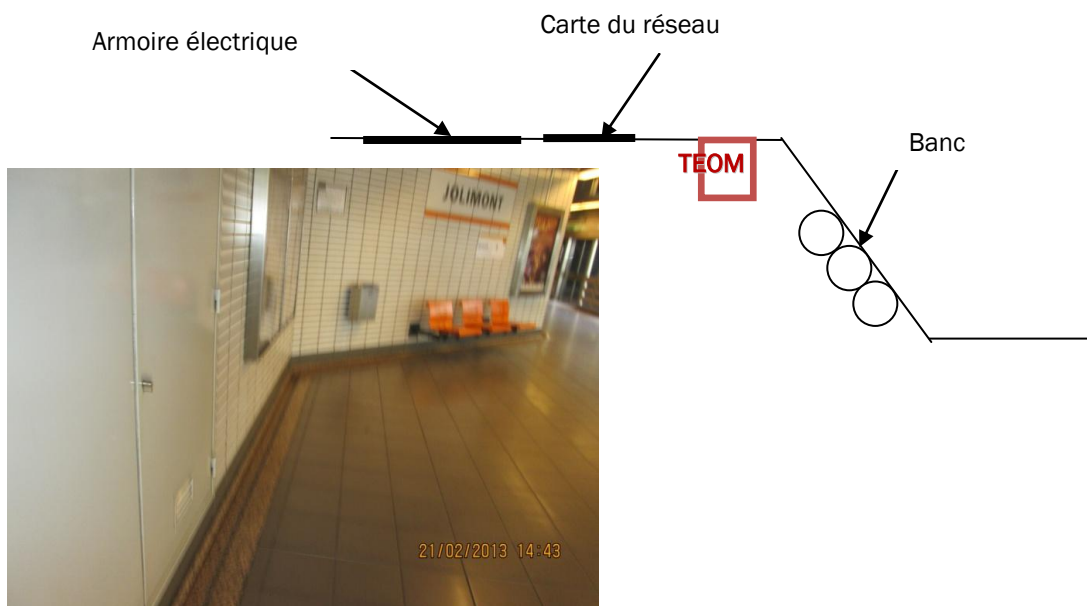


Action TISSEO : Démontage de la rangée de 3 sièges pour installation de l'appareil

LIGNE A : Station Jolimont

Pas de clapet électrique dans la station. Une prise disponible dans une armoire. Le câble électrique peut être sorti par une trappe de ventilation. Le TEOM serait alors installé entre la carte du réseau et une poubelle.

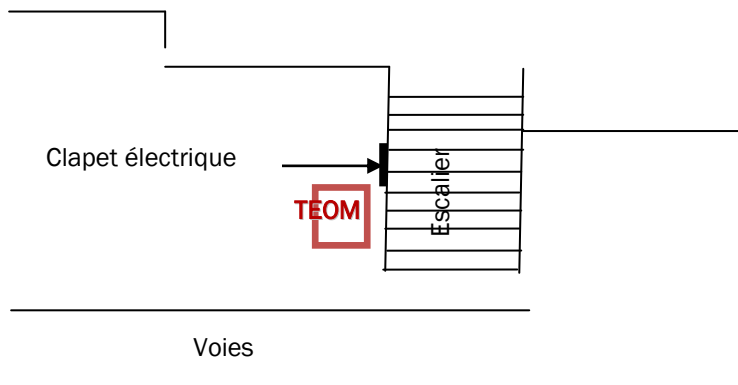
Distance entre prise et TEOM : environ 4 mètres auxquels il faut rajouter une cale dans l'armoire en cas d'ouverture de la porte.



Actions TISSEO : Accès à la prise disponible dans l'armoire et autorisation du stationnement du véhicule ORAMIP sur le parking bus

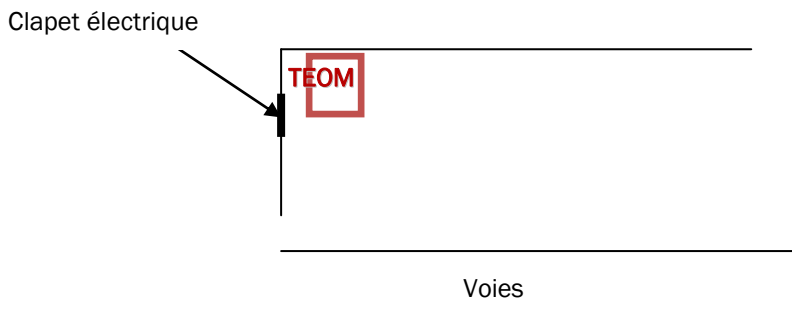
LIGNE A : Station Mirail Université

Le clapet électrique se situe sur le côté de l'escalier d'accès la station. L'emplacement est en retrait de la zone d'attente des usagers. Le TEOM peut être installé à côté.



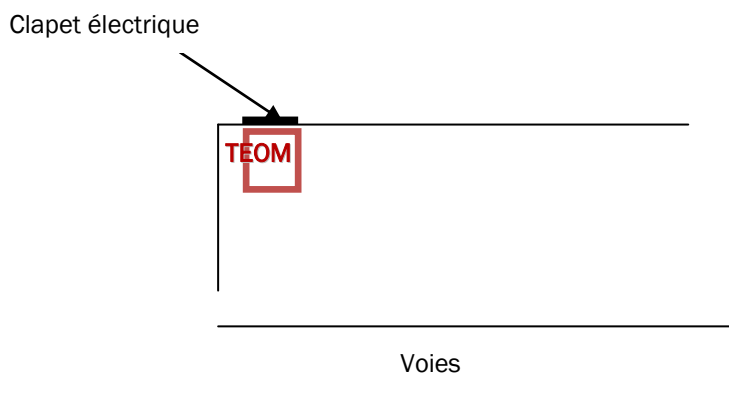
LIGNE B : Canal du Midi

Le clapet électrique se situe en bout de quai. Le TEOM peut être installé à côté.



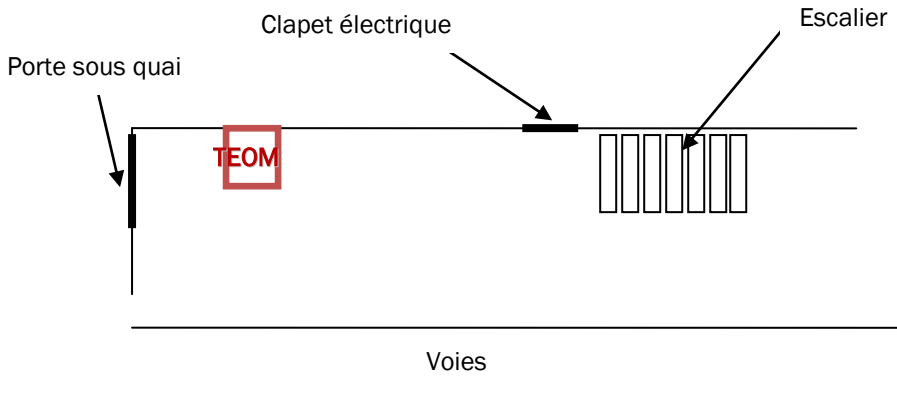
LIGNE B : Jeanne d'Arc

Le clapet électrique se situe en bout de quai. Le TEOM peut être installé à côté.



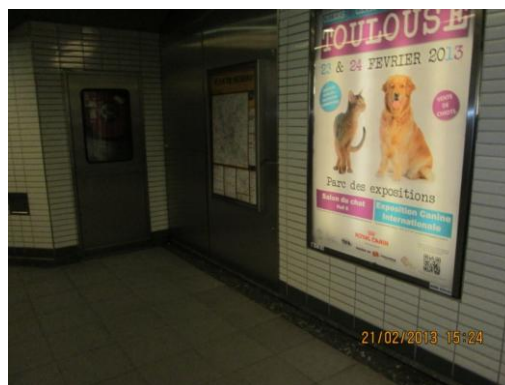
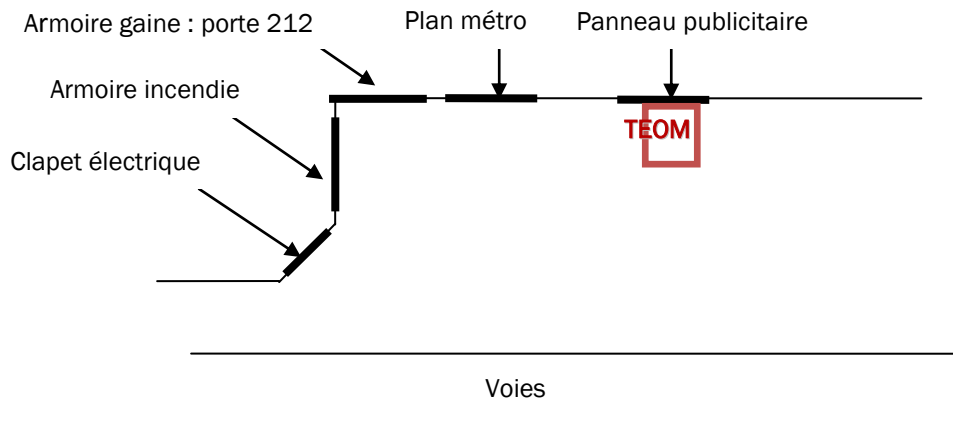
LIGNE B : François Verdier : installation possible

Le clapet électrique se situe en bas des escaliers. Le TEOM peut être installé à quelques mètres à une distance suffisante pour permettre la libre ouverture de la porte sous quai



LIGNE B : Les Carmes : installation possible sous conditions

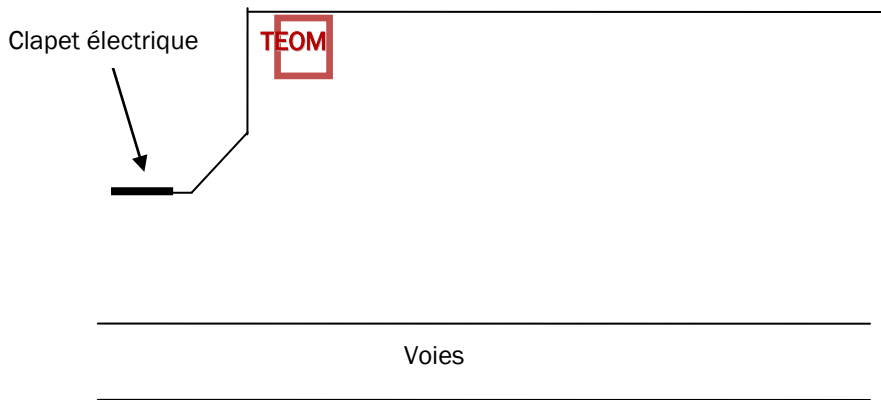
Le clapet électrique se situe dans un angle. Le TEOM peut être installé devant le panneau publicitaire sous réserve de l'autorisation de H. MONTALVA. Le câble électrique court sur une distance de 5 à 6 mètres et passe le long d'une armoire gaine.



Action TISSEO : Autorisation de principe pour bloquer l'armoire gaine le temps de l'étude

LIGNE B : Palais de Justice

Le clapet électrique se situe sur une partie étroite du quai. Le TEOM peut être installé à proximité dans l'angle.





ORAMIP
OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES
Atmo 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