

Campagne de mesures de la qualité de l'air



**Etude réalisée à l'intérieur et aux abords des stations
du métro de Lille du 18/06/2007 au 16/07/2007 et
du 14/01/2008 au 11/02/2008**



Transpole



Campagne d'évaluation de la qualité de l'air à l'intérieur et aux abords des stations du métro de Lille

du 18/06/2007 au 16/07/2007 et du 14/01/2008 au 11/02/2008

Rapport d'étude N° 01/2008/MD

102 pages (hors couvertures)

Parution : Juin 2008

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom	Isabelle COQUELLE Mélanie DELEFORTRIE	Isabelle COQUELLE	Caroline DOUGET
Fonction	Ingénieur d'Etudes Stagiaire	Ingénieur d'Etudes	Directrice du Service Etudes

Conditions de diffusion

Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit être signalée par « source d'information Atmo Nord - Pas de Calais, rapport N° 01/2008/MD ».

Les données contenues dans ce document restant la propriété d'Atmo Nord - Pas de Calais peuvent être diffusées à d'autres destinataires.

Atmo Nord - Pas de Calais ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.

Sommaire

Sommaire	3
Programme d'Atmo Nord - Pas de Calais en air intérieur	4
Contexte et objectifs de l'étude	6
Organisation stratégique de l'étude.....	7
Description du métro de Lille	7
Emissions connues.....	8
Polluants surveillés.....	10
Techniques utilisées	13
Localisation des points de mesure	14
Repères réglementaires	16
Recommandations de l'OMS	16
Valeurs réglementaires en air ambiant	17
Valeurs réglementaires en atmosphère de travail	19
Valeurs guides en air intérieur	20
Valeurs recueillies dans des études antérieures similaires	21
Résultats des mesures.....	24
Contexte météorologique et qualité de l'air ambiant.....	24
Les paramètres de confort	27
Exploitation des résultats.....	29
Conclusion.....	64
Annexes	66

Programme d'Atmo Nord - Pas de Calais en air intérieur

Nous passons plus de 80 % de notre temps dans des milieux clos (domiciles, locaux professionnels, établissements scolaires, véhicules de transport...).

L'air intérieur peut être pollué par différentes sources, comme par exemple un transfert de polluants de l'extérieur vers l'intérieur (CO, NOx, COV, Particules, SO₂, O₃, Radon...), des émissions provenant des matériaux de construction (fibres minérales artificielles), du chauffage et de la production d'eau chaude et cuisson (CO et NOx), des meubles et des objets de décoration (formaldéhyde), fumée de tabac (4 000 composés chimiques dont CO, NOx, goudrons...), produits d'entretien (solvants)...

Les effets sur la santé de ces différents polluants ne sont pas encore totalement identifiés. Ils peuvent toutefois générer des irritations des voies respiratoires, des yeux et de la peau, créer des troubles neuropsychiques et digestifs, et certains d'entre eux sont initiateurs de cancers, notamment le benzène.

L'émergence de la prise de conscience de la problématique air intérieur a eu lieu en 2000, avec la création de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. Lancé le 10 juillet 2001, l'observatoire a pour enjeu de mieux connaître la pollution intérieure, ses origines et ses dangers dans l'objectif de mettre au point des recommandations dans le domaine du bâtiment pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

En 2002, dans une lettre de cadrage, le Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durable a recommandé de mettre l'accent sur les actions de surveillance de la qualité de l'air dans les espaces clos ouverts au public (gares, stations de métro, galeries commerciales, parcs de stationnement couverts, tunnels, salles de spectacle).

C'est dans cette optique qu'Atmo Nord-Pas de Calais développe depuis 2002 un programme d'études en air intérieur et s'intéresse aux lieux publics très fréquentés, notamment les gares, en partenariat avec la SNCF. Ces études ont été réalisées à Béthune et Arras (respectivement en 2002 et 2003), puis en gare Lille Europe et Lille Flandres (en 2005 et 2006).

Depuis 2006, Atmo Nord-Pas de Calais s'est vu confier la surveillance de la qualité de l'air vers les espaces clos dans le cadre d'un partenariat régional, permettant à Atmo Nord-Pas de Calais d'élargir cette surveillance aux espaces clos privés et notamment les lieux de vie fréquentés par les personnes sensibles (écoles, lieux d'accueil de la petite enfance, maison d'accueil pour personnes âgées...)

La surveillance de l'air intérieur s'est vue renforcée, en 2007, par les décisions du Grenelle de l'environnement qui consacre un volet « air » afin de s'assurer du respect des objectifs cités ci-dessous et de prendre en compte les polluants visés par l'OMS :

- **L'étiquetage obligatoire des matériaux de construction et de décoration** notamment sur leur contenu en polluants volatils. L'interdiction dès 2008 des substances Cancérogènes, Mutagènes et Reprotoxiques 1 (CMR1) et CMR2 dans ces produits. Le cas des substances CMR3 sera traité dans le cadre de l'élaboration du Plan National Santé Environnement II.

- **Un processus de réception des bâtiments adapté** aux réglementations en matière d'aération, de ventilation et d'acoustique ; étiquetage simplifié du bruit pour l'électro-ménager.

- La mise en place de **systèmes de mesure et d'information sur la qualité de l'air intérieur** dans les établissements recevant un public nombreux ou vulnérable (enfants, personnes âgées, etc.), et dans tous les établissements publics recevant du public (gares, aéroports, métro, etc.....).

En 2008 et dans la continuité de 2007, Atmo Nord-Pas de Calais va renforcer les mesures de la qualité de l'air intérieur par le développement d'un programme d'actions qui s'inscrit dans les suites du Grenelle de l'environnement et dans les actions menées par les pouvoirs publics. Ces actions concernent l'élaboration des valeurs guides et de gestion et la poursuite des travaux relatifs à l'identification des sources de polluants de l'air intérieur et des mesures de gestion adéquates pour diminuer le cas échéant la pollution de l'air intérieur.

Ce programme s'articule autour de trois thématiques : les transports, les personnes sensibles, les logements :

- Réalisation des mesures dans les espaces clos recevant du public : mesures dans le métro Lillois, en partenariat avec Transpole,
- Campagne dans les lieux d'accueil des enfants : mesures dans des écoles et lieux d'accueil de la petite enfance du Nord-Pas de Calais,
- Campagne d'évaluation de l'exposition aux pesticides des familles d'agriculteurs : étude de faisabilité technique et métrologique,
- Mise en place des audits environnementaux à l'intérieur des logements et développement de partenariats (création d'un réseau « habitat, environnement et santé »),
- Mission de conseil auprès de la DDASS.

Ce programme s'attache également à mettre à disposition l'expertise acquise depuis 2002 par la réalisation de mesures de la qualité de l'air intérieur à la demande des collectivités ou des gestionnaires de bâtiments, dans des situations de crise ou selon une approche de prévention.

Contexte et objectifs de l'étude

Les mesures réalisées à l'intérieur des enceintes souterraines ferroviaires françaises font suite à la circulaire DGS/SD 7B n°2003-314 du 30 Juin 2003, dans laquelle le Ministère chargé de la santé a demandé aux exploitants de transports collectifs ferroviaires souterrains de réaliser une surveillance de la qualité de l'air et de définir une stratégie de réduction des émissions.

Ainsi, **Lille Métropole Communauté Urbaine**, ainsi que l'exploitant du métro **Transpole**, ont pour obligation de :

- définir un plan de surveillance de la qualité de l'air visant à connaître l'exposition aux polluants atmosphériques des usagers,
- d'identifier les sources de polluants et de définir une stratégie de réductions des émissions.

A la demande de Transpole, Atmo Nord – Pas de Calais a eu pour mission de réaliser une étude de surveillance pertinente afin de caractériser la qualité de l'air au sein du métro lillois. Cette étude est préalable à la définition de la stratégie de surveillance.

Les objectifs de cette campagne ont concerné :

- la mise en exergue d'une typologie de ligne et de stations en fonction des sources potentielles de particules et des facteurs susceptibles d'influencer les concentrations particulières,
- l'étude et la comparaison des résultats des différents sites de mesure (hall, quai, tunnel),
- la vérification du respect de la réglementation, lorsqu'elle existe,
- l'identification des sources de polluants.

Deux phases de mesures ont été réalisées : l'une en période estivale, du 18 Juin au 16 Juillet 2007, puis l'autre en période hivernale, du 14 Janvier au 11 Février 2008.

Ce rapport présente la synthèse des résultats des mesures réalisées lors des deux phases, à l'intérieur et aux abords du métro de Lille, notamment dans les tunnels, les halls, sur les quais et à l'extérieur des stations de Lille République et de Roubaix Eurotéléport. L'interprétation des résultats a été complétée par une comparaison des concentrations en polluants recherchés avec les valeurs relevées dans les stations fixes à proximité de Lille Fives, Lille Faidherbe, Lille Pasteur, Roubaix Serres, Roubaix Square Catteau et Marcq-en-Baroeul.

Organisation stratégique de l'étude

Description du métro de Lille

Située à moins de 350 kilomètres de six capitales européennes, la métropole lilloise constitue le cœur d'un important réseau de transports. Parmi les liaisons de transports, peuvent être cités l'aéroport de Lille Lesquin, les gares de Lille Flandres et Lille Europe, l'intersection de cinq autoroutes à Lille, un réseau d'autobus, le tramway reliant Lille à Roubaix et à Tourcoing et le métro lillois.



Le métro de Lille constitue le premier métro au monde dans lequel fut conçu et expérimenté le VAL (véhicule automatique léger). En d'autres termes, il fut le premier à utiliser des rames sans conducteur. D'une longueur d'environ 45 kilomètres, le métro lillois est le plus long métro automatique du monde et se compose de deux lignes de métro :

- Ligne 1 : Villeneuve d'Ascq 4 cantons – CHR B Calmette,
- Ligne 2 : Lomme Saint Philibert – Tourcoing CH Dron.

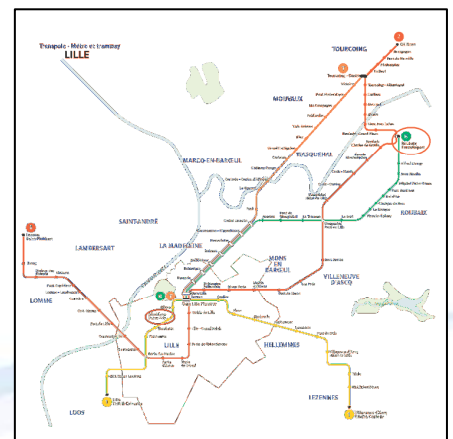
Ces lignes desservent 60 stations dont celles de Lille République et de Roubaix Eurotéléport. Au total, 143 rames circulent à l'électricité sur le réseau du métro de 5 heures du matin à 1 heure du matin, 7/7j excepté le 1^{er} Mai, et chacune s'arrête à toute station rencontrée. Pour certains événements tels le Nouvel An, la fête de la musique ou encore la braderie de Lille, un service de nuit est mis en place. La distance moyenne entre deux stations est de 700 mètres. A titre de comparaison, le métro de Lille, à l'inverse du métro de Paris, est un métro fermé. En effet, des portes séparent le quai des rails. De plus, on compte 2 voitures par rame de métro.

Située dans le quartier de Lille-Centre, la station de **Lille République** est une station de la ligne 1 située entre les stations Rihour et Gambetta. Elle fut inaugurée en 1983. Son nom exact, « République Beaux-Arts », vient du musée des Beaux-Arts et de la Place de la République situés à proximité de la station. De type souterraine, elle présente trois niveaux :

- Niveau -1 : salle des billets (-6 m),
- Niveau -2 : niveau intermédiaire,
- Niveau -3 : quais (-14 m).

Inaugurée en 1999 dans la ville de Roubaix, la station de **Roubaix Eurotéléport** est également de type souterraine et se situe sur la ligne 2, entre les stations de Roubaix Charles de Gaulle et Roubaix Grand Place. Ses niveaux souterrains sont les suivants :

- Niveau -1 : salle des billets (-8 m),
- Niveau -3 : quais ligne 2 (-16 m),
- Niveau tunnel : voies ligne 2 (-17 m).



Tracé des lignes du réseau (source : www.plan-metro.fr (modifiée)) :

Emissions connues

Pour choisir le dispositif de mesure ainsi que les polluants à mesurer, il est important de connaître les émissions potentielles à l'intérieur et aux abords du métro lillois.

En air intérieur



Emissions liées à l'exploitation du métro

Trois sources de pollution sont identifiées au sein du métro : les usagers, les travailleurs ainsi que l'exploitation du métro.

L'**exploitation du métro** est une source de pollution particulière. Les principaux éléments associés aux teneurs potentielles de particules sont le matériel roulant tels que le système de freinage et l'usure des roues, l'usure du béton, la ventilation, les caractéristiques des métros (nombre de quais, nombre de stations, profondeur, infrastructures béton...) et l'entretien du réseau.

Le métal lourd retrouvé de façon prépondérante dans les métros est le fer. Ce dernier accompagné du nickel, du chrome et du manganèse représentent les principaux composants des aciers constituant les rails et les roues. De plus, le système de freinage et les roues constituent une source importante de carbone organique et de soufre.

Les rames fonctionnent à l'électricité. Ainsi, elles ne rejettent pas de polluants provenant de la combustion du Diesel ou de l'essence. Cependant, une motrice fonctionnant au Diesel est utilisée lors des travaux de nuit. Elle représente une source intérieure de pollution potentielle des composés chimiques issus du Diesel.

Les études réalisées à l'intérieur des enceintes ferroviaires ou des métros tels que ceux de Lyon en 2002 et de Rouen en 2005, ont montré que les concentrations des poussières en suspension étaient plus élevées à l'intérieur des stations qu'à l'extérieur. La remise en suspension des particules par les **voyageurs** provoquerait ce phénomène. D'autant que chaque année, près de 85 millions de voyageurs fréquentent le métro.

De plus, la fumée de tabac représente encore une source de pollution intérieure même si fumer est interdit dans les espaces clos ouverts au public.

Afin d'entretenir les locaux, les agents d'entretien utilisent des **produits nettoyants** à raison d'une fois par nuit. Ces produits contiennent des solvants, et en fonction de leur utilisation, ils peuvent émettre de nombreuses espèces chimiques, principalement des composés organiques volatils (COV). Ces composés sont des irritants. Certains ont même été reconnus comme cancérigènes.

En air extérieur

La répartition géographique et par type d'activité des émissions peut être estimée au niveau de la commune étudiée grâce à l'inventaire régional des émissions de polluants. Dans les tableaux suivants, la répartition des rejets par type d'activité est basée sur les catégories SECTEN¹.

On prendra ainsi en compte les émissions selon trois origines différentes :

Emissions du trafic routier

Ce secteur comprend les rejets des transports routiers terrestres, tous véhicules confondus. Une part importante des rejets de NO_x (oxydes d'azote) provient de ce secteur.

Emissions du secteur des transports routiers en kg par an

COMMUNE	CO	SO ₂	NOx	COV	PS	Pb	Zn	Cd
Lille	1 298 284	20 793	709 492	397 662	51 268	31	0.0	0.4

Emissions industrielles

Le tableau ci-dessous reprend les émissions des deux catégories SECTEN de l'industrie manufacturière et de la transformation d'énergie. Cette estimation dépend directement de la présence d'établissements industriels.

Les activités industrielles sont le principal secteur dans l'estimation des rejets de SO₂, NO_x, COV et métaux lourds sur la commune de Lille.

Emissions du secteur industriel en kg par an

COMMUNE	CO	SO ₂	NOx	COV	PS	Pb	Zn	Cd
Lille	2 654 645	1 070 104	783 510	1 519 025	173 894	684	7 792	134

Emissions domestiques

Les émissions domestiques sont incluses dans la catégorie SECTEN résidentiel et tertiaire. Elle comprend les rejets des chauffages domestiques, mais aussi des établissements de commerce et de services. Ces rejets sont, en général, proportionnels à la population de la commune, mais ils dépendent également de l'énergie majoritairement utilisée pour le chauffage.

Les émissions domestiques sont le premier secteur pour les rejets de CO et particules en suspension.

Emissions du secteur résidentiel et tertiaire en kg par an

COMMUNE	CO	SO ₂	NOx	COV	PS	Pb	Zn	Cd
Lille	10 185 630	276 285	312 038	1 308 911	575 261	139	560	15

En annexe sont rassemblées les industries présentes dans Lille Métropole Communauté Urbaine, susceptibles de rejeter des polluants mesurés à proximité et à l'intérieur des stations du métro de Lille.

¹ Secteurs Economiques et Energie, format de restitution des inventaires d'émissions utilisé notamment par le CITEPA, comprenant 7 catégories.

Polluants surveillés

Les indicateurs choisis pour cette étude ont pris en considération les émissions connues à l'intérieur et aux alentours du métro de Lille, notamment pour les stations Lille République et de Roubaix Eurotéléport. Au vu de ces émissions, nous avons sélectionné les polluants et les familles de polluants à rechercher. Le tableau ci-dessous regroupe les polluants atmosphériques recherchés ainsi que leur source d'émission respective :

Polluant	Sources extérieures (MEEDDAT - fédération ATMO - AIRPARIF)	Sources à l'intérieur du métro
Oxydes d'azote (NOx)	Combustions (engins à moteur et industries)	Motrice de travaux de nuit Diesel
Poussières en suspension (PM10 et PM2,5)	Combustions de matières fossiles, transport automobile (gaz d'échappement, usure, frottements)	Circulation, freinage, usure des rames et des rails, et déplacement des voyageurs
Monoxyde de carbone (CO)	Combustions incomplètes de matières organiques - trafic automobile	Motrice de travaux de nuit Diesel
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Combustions de matières fossiles (charbon, fiouls et gazole)	Motrice de travaux de nuit Diesel
Métaux lourds	Combustions, procédés industriels	Circulation, freinage, usure des rames et des rails
Silice cristalline	Coupe de béton et de brique (particules émises lors des frottements), travaux de chantiers	Passage et freinage des rames sur la ligne 1 (voie en béton)
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Sources fixes (combustion du fuel, du charbon, du bois), échappement des véhicules, diesel notamment	Motrice de travaux de nuit Diesel
BTEX	Combustions de carburants (essence) ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation	Fumée de tabac, matériaux de construction, peintures, vernis, produits de travaux.

Les oxydes d'azote (NOx)

Les oxydes d'azote rassemblent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils se forment à haute température. C'est une combustion entre l'oxygène et l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles. Les foyers de combustion, les procédés industriels et notamment la circulation automobile constituent les principales sources d'émission. L'installation de pots catalytiques réduit les émissions des véhicules mais l'augmentation du trafic et du nombre de voitures rend cette diminution insuffisante.

Le dioxyde d'azote est un gaz agressif pulmonaire pouvant altérer la fonction respiratoire, voire augmenter chez les enfants, la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.

Les oxydes d'azote sont analysés dans l'air ambiant par chimiluminescence.

Les poussières en suspension (Ps)

Une partie des poussières qui se trouvent dans l'air est d'origine naturelle, mais s'y ajoutent des particules de compositions chimiques diverses émises notamment par les installations de combustion, les transports et les moteurs diesels. Elles peuvent provoquer des difficultés respiratoires chez les personnes fragiles, notamment chez l'enfant. Certaines d'entre elles ont des propriétés mutagènes ou cancérogènes.

La technique utilisée, le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) est basée sur le principe de la microbalance à quartz. Elle mesure l'accumulation, en masse, des particules sur un filtre fixé sur quartz oscillant.

La variation de fréquence du quartz est utilisée pour mesurer en continu et en direct la masse des particules accumulées. Afin de correspondre à la méthode de référence préconisée par l'Union Européenne, la fraction volatile des poussières en suspension est désormais prise en compte (correction instrumentale choisie par la France via l'ajout d'un module, appelé FDMS, sur l'appareil TEOM).

Le monoxyde de carbone (CO)

Formé lors de combustions incomplètes, il est essentiellement émis par les véhicules automobiles ou les installations de combustion mal réglées. Sa concentration naturelle dans l'air se situe entre 0,01 et 0,23 mg/m³ (= 0,01 – 0,20 ppm).

Particulièrement assimilable dans le sang, il asphyxie nos globules rouges en empêchant l'assimilation de l'oxygène. A très forte dose, il est mortel. A concentration plus faible et répétée, il peut entraîner des maladies cardio-vasculaires ou relatives au système nerveux.

La mesure du monoxyde de carbone se fait par absorption IR (infrarouge).

Le dioxyde de soufre (SO₂)

La combustion du charbon ou des dérivés du pétrole dégage du gaz carbonique mais aussi du dioxyde de soufre. Ce gaz irritant provient des installations de chauffage, de certains procédés de fabrication industrielle et des gaz d'échappement des véhicules.

En association avec les particules en suspension (Ps), et selon les concentrations, le dioxyde de soufre peut déclencher des effets bronchospastiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires chez l'adulte et altérer la fonction respiratoire chez l'enfant.

L'analyse du dioxyde de soufre s'effectue par fluorescence du rayonnement UV (ultraviolet).

Les métaux lourds

Le chrome (Cr), le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le nickel (Ni) sont des métaux lourds toxiques.

Ils proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères... et de certains procédés industriels particuliers. Ils se trouvent généralement sous forme particulaire.

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

Il n'existe pas, pour le moment, de mesures en continu et automatique des métaux dans les particules.

La mesure globale de l'élément est donc effectuée en 2 étapes :

- le prélèvement sur le terrain de poussières de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) sur un filtre en fibre de quartz,
- suivi de l'analyse en laboratoire, par spectrométrie d'absorption four.

La silice cristalline

La silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes. La silice cristalline est composée de trois variétés principales : le quartz, la tridymite et la cristobalite. Le quartz est le composant majeur de très nombreuses roches, qu'elles soient ignées (par exemple granite pegmatites), métamorphiques (par exemple quartzite) ou sédimentaires (par exemple sable). A l'état naturel, la tridymite et la cristobalite ne se rencontrent que rarement, par exemple dans les roches volcaniques.

La production française est essentiellement liée au chauffage de galets de mer. La silice est chimiquement stable et n'est guère attaquée que par l'acide fluorhydrique avec lequel elle forme l'acide fluo-silicique. Au sein du métro, la voie 1 étant en béton, le frottement sur ces voies lors du passage et le freinage peuvent émettre de la silice. Outre l'apparition de signes aigus d'irritation des yeux et des voies respiratoires, consécutifs à des expositions massives, l'exposition à des poussières de silice cristalline est susceptible d'induire différents types d'affections par inhalation comme la fibrose pulmonaire ou silicose. Par ailleurs, en 1997, la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite de source professionnelle a été classée comme cancérigène pour l'homme (groupe 1) par le CIRC.

L'analyse de la silice se fait par diffraction des rayons X.

Les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

Les HAP recherchés sont au nombre de 13 : Fluoranthène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(a)anthracène, Benzo(ah)anthracène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Benzo(ghi)pérylène, Indeno(1,2,3-cd)pyrène, Anthracène, Chrysène, Phénanthrène, Pyrène et Naphtalène. Les HAP sont des composés issus de la combustion de matière organique. Composés de carbone et d'hydrogène, ils comprennent au moins deux noyaux benzéniques fusionnés. La toxicité varie selon le HAP considéré : certains sont faiblement toxiques, tandis que d'autres, tel que le benzo(a)pyrène, sont des cancérigènes reconnus depuis plusieurs années. Le benzo(a)pyrène est d'ailleurs choisi comme traceur du risque cancérigène des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les feux de forêt, les éruptions volcaniques et la matière organique en décomposition sont des sources naturelles de HAP. Les procédés tels que la production d'aluminium au moyen de vieilles technologies, la fusion du fer, le raffinage du pétrole, la cokéfaction du charbon, la production d'électricité par les centrales thermiques et la fabrication de papier goudronné sont de bons exemples de sources anthropiques industrielles de HAP. L'incinération des déchets agricoles et d'ordures ménagères, le fonctionnement des moteurs à essence et des moteurs diesel, ou encore la combustion de cigarettes viennent compléter la liste non exhaustive d'émissions d'origine anthropique. Après prélèvement particulière et gazeux sur le terrain, l'analyse est réalisée par extraction des composés à l'aide du cyclohexane et quantification par chromatographie en phase liquide haute performance (HPLC) avec détection fluorimétrique.

Les BTEX

Les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes) font partie de la famille des Composés Organiques Volatils (COV). La plupart des COV sont des hydrocarbures, qui proviennent du trafic routier (gaz d'échappement imbrûlés), de l'utilisation industrielle, professionnelle et domestique des solvants (peintures, vernis, colles, résines), et de l'évaporation à partir du stockage des hydrocarbures (stations services et centre de stockage). Le benzène, le toluène et les xylènes sont qualifiés de sous-famille des COV car ils sont particulièrement suivis, notamment le benzène. Ce dernier est introduit dans l'essence depuis quelques années en remplacement du plomb afin d'augmenter le pouvoir antidétonant de l'essence. L'impact du benzène sur l'homme dans l'air ambiant est un sujet complexe et encore très mal connu. Néanmoins, an atmosphère de travail, le benzène est reconnu comme substance « toxique ». Selon la durée d'exposition et la sensibilité de la personne, l'inhalation de benzène peut provoquer des troubles neuropsychiques : irritabilité, diminution des capacités d'attention et de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil. Des troubles digestifs, tels que nausées, vomissements, peuvent être observés. De plus, le benzène est également connu pour avoir des propriétés cancérigènes (leucémie). Tout comme le benzène, les effets du toluène sur l'homme sont difficiles à mettre en évidence et varient selon la sensibilité de l'individu, la concentration dans l'air et la durée d'exposition. Le toluène pourrait provoquer des troubles neuropsychiques (fatigue, confusion, manque de coordination des gestes, irritabilité...), des troubles digestifs (nausées...), des irritations oculaires, des altérations du système hormonal féminin et des cancers (leucémie).

Techniques utilisées

Pour cette campagne, quatre types de techniques d'échantillonnages ont été réalisées :

Les mesures automatiques



Ces mesures sont effectuées par des appareils électroniques qui fournissent les concentrations des polluants 24h/24h, quart d'heure par quart d'heure. Ces mesures ont permis de suivre en temps réel les concentrations en polluants Ps, CO, NO_x et SO₂, et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Cela nécessite l'installation de matériels assez encombrants et d'une alimentation électrique.

Les mesures des paramètres de confort ont été effectuées de manière automatique par l'appareil Q-Trak. Il permet de mesurer de manière simultanée la température, la teneur en CO₂, l'humidité relative et le débit de l'air et n'utilise qu'une seule sonde. Cet instrument fournit des mesures en temps réel sur un pas de temps de 10 minutes.



Les mesures par prélèvements actifs



Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement sur filtre par des appareils électroniques (aspiration d'un volume d'air), puis une analyse différée en laboratoire. Une alimentation électrique est nécessaire 24h/24h au bon fonctionnement de l'appareil de mesure. Par cette méthode, les polluants HAP, les métaux lourds et la silice, ont été recueillis, et une valeur moyenne a été calculée pour la période de mesure (en général, les prélèvements sont effectués sur des périodes de 7 jours). Les fluctuations des concentrations, par ce biais, ne sont donc pas mises en évidence.

Les mesures par prélèvements passifs (communément appelées « tubes passifs »)

Le principe général de cette méthode est basé sur la diffusion naturelle de l'air à travers une membrane. Le polluant est piégé par adsorption sur une cartouche ou par absorption sur des grilles imprégnées de solution. Cette méthode est plus simple à mettre en œuvre puisqu'elle ne nécessite ni emplacement important, ni alimentation électrique. Ainsi, les tubes passifs peuvent être installés en grand nombre et quadriller la zone d'étude. Une fois exposées, les cartouches sont envoyées au laboratoire qui fournit une valeur moyenne intégrée sur le nombre de jours d'exposition. Ce moyen de prélèvement ne permet pas de mettre en évidence les pointes de pollution. Les BTEX et le NO₂ ont été mesurés par cette méthode.



NO₂



BTEX

Les mesures spécifiques

Les contrôles d'atmosphère de la silice cristalline se déroulent en deux étapes :

- prélèvement dans la zone respiratoire de l'air ambiant à l'aide d'un appareil fixe selon la norme NF X 43-259,
- pesée et analyse de la fraction collectée par spectrométrie infrarouge selon la norme XP X 43-243 sur les poussières alvéolaires, pour déterminer la teneur en poussières alvéolaires et la concentration de silice cristalline.

L'échantillon mesuré doit refléter aussi fidèlement que possible l'exposition des opérateurs. Le prélèvement couvre la durée du poste de travail. Le décret du 10 Avril 1997 fixe une valeur limite de concentration moyenne en silice cristalline sur 8 heures, temps de travail journalier de référence.

Localisation des points de mesure

L'évaluation de l'exposition des voyageurs à la pollution atmosphérique constitue l'un des principaux objectifs de cette étude, et a orienté le choix des emplacements de mesure.

Afin de choisir les sites de mesure, plusieurs facteurs ont été préalablement analysés :

- Les lieux de passage les plus fréquentés,
- Les concentrations maximales pressenties au vu des sources identifiées dans des études similaires déjà réalisées en France.

Afin de pouvoir disposer des mêmes données entre les stations de Roubaix Eurotéléport et de République, les mesures réalisées à la station de Roubaix Eurotéléport ont été systématiquement reproduites à la station de République (types de lieux identiques).

De plus, des tubes passifs positionnés dans l'environnement extérieur proche des stations de métro ont complété le dispositif de mesure.

En parallèle, les données des stations fixes de Lille Fives, de Lille Faidherbe, de Lille Pasteur, de Roubaix Square Catteau, de Roubaix Serres et de Marcq-en-Baroeul ont été également utilisées pour l'interprétation des résultats et la comparaison des résultats air intérieur/air extérieur.

Des analyseurs de différents polluants ont été placés dans les différents sites des stations de métro :

- des analyseurs TEOM dans les halls, tunnels et sur les quais de chaque station afin de mesurer en continu les poussières en suspension,
- l'analyseur Airpointer sur le quai de la station Lille République pour mesurer en continu les polluants SO_2 , NO_x et CO ,
- des appareils Mini-Partisol sur les quais des deux stations de République et de Roubaix pour prélever les métaux lourds,
- l'analyseur Partisol Plus sur le quai de la station République afin de détecter la présence des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP),
- et une pompe portative et un cyclone sur le quai de la station République afin de détecter de la poussière de silice.

A l'aide des tubes passifs ont été mesurées les concentrations moyennes de BTEX sur une semaine de prélèvement et la concentration moyenne de dioxyde d'azote sur 15 jours de prélèvement.

Les plans annexés présentent la localisation des points de mesure à l'intérieur des stations de métro, Lille République et Roubaix Eurotéléport.



Synthèse des mesures déployées

Site	Polluant mesuré	Matériel	Nombre	Durée des mesures
Hall République	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
Quai République	SO ₂ , NO _x , CO	Airpointer	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	Métaux lourds	Mini-Partisol	1	8 prélèvements d'une semaine sur filtres en fibre de quartz
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
	HAP	Analyseur Partisol 2000	1	4 prélèvements d'une semaine
Tunnel République	Silice cristalline	Pompe portative + cyclone	1	2 prélèvements 8h/semaine pendant 2 mois
	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
	PM2,5	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
Extérieur République	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
Hall Roubaix	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
Quai Roubaix	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	Métaux lourds	Mini-Partisol	1	8 prélèvements d'une semaine sur filtres en fibre de quartz
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
Tunnel Roubaix	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine
	PM10	Analyseur TEOM	1	2 mois (2 x 1 mois en continu)
Extérieur Roubaix	NO ₂	Tubes passifs	1	4 prélèvements de 15 jours
	BTEX		1	8 prélèvements d'une semaine

Repères réglementaires

Pour l'interprétation des données en air intérieur, nous disposons de valeurs guides élaborées pour les PM10 par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF), de valeurs en ambiance de travail, de valeurs guides issues du projet IndEx (Indoor Exposure) piloté par le Centre Commun de Recherche de l'ISPRA (JRC, Institute for Health and Consumer Protection, Italie) pour le dioxyde d'azote, et de valeurs guides concernant le monoxyde de carbone établies en 2007 par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET).

Pour l'interprétation des données en air extérieur aux abords des stations de métro, nous disposons de diverses réglementations et recommandations.

Recommandations de l'OMS

Le bureau européen de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré, avec l'aide de spécialistes, des recommandations sur la qualité de l'air.

● Le tableau suivant regroupe les différents seuils recommandés (valeurs à ne pas dépasser) pour les polluants (Données 1999 - Source : Guidelines for Air Quality, WHO, Geneva 2000)

Seuils	Sur 1h	Sur 8h	Sur 24h	Sur la semaine	Sur l'année
Poussières PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	25	-	10
Poussières PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-	-	50	-	20
Dioxyde de soufre SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	500 (pour 10 minutes)	-	20	-	50
Dioxyde d'azote NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	-	-	-	40
Monoxyde de carbone CO (mg/m^3)	30	10	-	-	-
Plomb Pb (ng/m^3)	-	-	-	-	500
Manganèse Mn (ng/m^3)	-	-	-	-	150
Cadmium Cd (ng/m^3)	-	-	-	-	5
Toluène (mg/m^3)	1 (pour 30 minutes)	-	-	0.26	-

Valeurs réglementaires en air ambiant

Les valeurs réglementaires (seuils, objectifs, valeurs limites...) sont définies au niveau européen dans des directives, puis elles sont déclinées en droit français par des décrets ou des arrêtés.

L'**objectif de qualité** est un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement, à atteindre dans une période donnée.

La **valeur limite** est un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement.

(Source : Article L. 221-1 du Code de l'Environnement)

● Le tableau suivant regroupe les valeurs pour chaque polluant réglementé :

Polluant	Normes Valeurs limites et objectifs de qualité			
	Moyenne annuelle	Moyenne journalière	Moyenne horaire	
Dioxyde de soufre (SO₂)	50 µg/m ³ (objectif de qualité)	125 µg/m ³ (- de 3 jours/an ou Percentile 99.2)	350 µg/m ³ (- de 24 heures/an ou Percentile 99.7)	-
Dioxyde d'azote (NO₂)	46 µg/m ³ (2007) 44 µg/m ³ (2008) (valeur limite) 40 µg/m ³ (objectif de qualité)	-	200 µg/m ³ (- de 175 heures/an ou Percentile 98) 230 µg/m ³ (- de 18 heures/an ou Percentile 99.8)	-
Poussières (PM10)	40 µg/m ³ (valeur limite) 30 µg/m ³ (objectif de qualité)	50 µg/m ³ (- de 35 jours/an ou Percentile 90.4)	-	-
Monoxyde de carbone (CO)	-	-	-	moyenne glissante sur 8 heures : 10 mg/m³
Composés Organiques Volatils (benzène,...)	pour le benzène : 9 µg/m ³ (2007) 8 µg/m ³ (2008) (valeur limite) 2 µg/m ³ (objectif de qualité)	-	-	-

Polluant	Normes Valeurs limites et objectifs de qualité			
	Moyenne annuelle	Moyenne journalière	Moyenne horaire	
Plomb (Pb)	0.9 µg/m ³ (2007) 0.8 µg/m ³ (2008) (valeur limite) 0.25 µg/m ³ (objectif de qualité)	-	-	-
Cadmium (Cd)	5 ng/m ³	-	-	-
Arsenic (As)	6 ng/m ³	-	-	-
Nickel (Ni)	20 ng/m ³	-	-	-
Benzo(a)pyrène	1 ng/m ³	-	-	-

Valeurs réglementaires en atmosphère de travail

(Sources INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) – ND 2098-174-99, Hygiène et sécurité du travail, 1^{er} trimestre 1999, n°174).

La prévention des maladies d'origine professionnelle demande que l'exposition des personnes aux polluants présents dans l'air des lieux de travail soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possibles. Des valeurs d'exposition professionnelle (VLEP) ont donc été définies par le ministère chargé du travail et par la Caisse Nationale de l'Assurance Maladie.

La VME ou **valeur limite de moyenne exposition** : c'est la valeur destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen terme, mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

La VLE ou **valeur limite d'exposition à court terme** : c'est la valeur dont le respect permet d'éviter le risque d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

● Le tableau ci-après regroupe les valeurs pour chaque polluant réglementé :

Polluant	VME ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VLE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Poussières (PM10)	10 000	-
Dioxyde d'azote (NO ₂)	-	6 000
Monoxyde d'azote (NO)	30 000	-
Dioxyde de soufre (SO ₂)	5 000	10 000
Monoxyde de carbone (CO)	55 000	-
Plomb (Pb)	100	-
Cadmium (Cd)	50	-
Nickel (Ni)	1 000	-
Chrome (Cr)	500	-
Manganèse (Mn)	1 000	-
Cuivre (Cu)	1 000	2 000
Benzène	3 250	-
Xylènes	221 000	442 000
Ethylbenzène	442 000	884 000
Toluène	375 000	550 000

Polluant	VME (mg/m ³) (sur 8h)
Poussières alvéolaires	5
Quartz	0.1
Cristobalite	0.05
Tridymite	0.05
Silice cristalline	1

Valeurs guides en air intérieur

Valeur guide de l'AFSSET :

Polluant	Valeur guide				
	Exposition 8h	Exposition 2h	Exposition 1h	Exposition court terme	Exposition long terme
Monoxyde de carbone (CO)	10 mg/m ³	-	30 mg/m ³	60 mg/m ³ sur 30 min 100 mg/m ³ sur 15 min	-

Valeurs guides issues du CSHPF pour les poussières en suspension dans les enceintes ferroviaires souterraines :

Durée d'exposition	Valeurs guides des PM10 en µg/m ³	
	en 2001	en 2005
01h30	625	455
01h45	540	393
02h00	477	347
02h15	428	311

Valeurs guides de l'IndEx pour le dioxyde d'azote dans les espaces clos (données de 2004) :

Polluant	Valeur guide en µg/m ³	
	Sur 1 heure	Sur 1 semaine
Dioxyde d'azote (NO ₂)	200	40

Le projet IndEx a élaboré des recommandations concernant le polluant benzène dans les environnements clos : « le benzène étant cancérigène pour l'homme, sa concentration dans l'air devrait être la plus faible possible. Les concentrations de benzène dans l'air intérieur ne devront pas être supérieures à celles rencontrées dans l'air ambiant ».

La réglementation en air ambiant s'applique donc dans ce cas.

Valeurs recueillies dans des études antérieures similaires

Le dioxyde d'azote (NO₂) :

Ville	Année	Valeur moyenne (µg/m ³)	Valeur horaire maximale (µg/m ³)
Métro de Toulouse	2004	11.9	42.5
Métro de Rennes	2004 - 2005	11.3	128
Métro de Lyon	2002	39	82
Métro de Lille	2005	45	80
Métro de Toulouse (analyseur automatique sur le quai Esquirol)	Été 2006	35	104
	Hiver 2006 - 2007	26	55
Métro de Toulouse (tubes passifs)	Été 2006	15 - 67	-
	Hiver 2006 - 2007	21 - 46	-

Le monoxyde de carbone (CO) :

Ville	Année	Valeur moyenne (mg/m ³)	Valeur horaire maximale (mg/m ³)
Métro de Lyon	2002	0.88	2.93
Métro de Rennes	2004 - 2005	0.24 (été)	0.84 (été)
		0.39 (hiver)	2.24 (hiver)

Les métaux lourds :

Moyenne campagne en ng/m ³	Plomb (Pb)	Cadmium (Cd)	Nickel (Ni)	Arsenic (As)	Manganèse (Mn)	Chrome (Cr)	Fer (Fe)
Rouen (2005)	29.5	0.4	24.6	2.6	198.9	44.4	25 960.0
Rennes¹							
(Été 2004)	4.8	< LD ²	8.2	Non mesuré	105.5	61.8	11 350.3
(Hiver 2005)	11.6		5.4	Non mesuré	55.8	28.4	5 878.2

Les poussières en suspension (PM_{2,5}) :

L'étude réalisée en 2002 dans le métro de Lyon a révélé une concentration moyenne de **80 µg/m³** de PM_{2,5} et une concentration horaire maximale de **252 µg/m³** sur la ligne D.

¹ Moyennes journalières

² Limite de détection

Les poussières en suspension (PM10) :

Ville	Année	Valeur moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Métro de Londres	1998	245 - 565	-
Métro de Berlin	1995 - 1996	141 - 153	-
		139 (hiver)	-
	1998	151 (été)	
Métro de Séoul	1999	109 - 138 (halls)	-
		147 - 189 (quais)	
Métro de Paris	1995 - 1997	500 (ligne 5)	1200 (ligne 5)
		85 (ligne 4)	499 (ligne 4)
	1999	134 (ligne 1)	403 (ligne 1)
		350 (ligne 7)	-
	2000	102 (ligne 4)	500 (ligne 4)
		139 (ligne 1)	396 (ligne 1)
		70 (ligne 9)	-
Métro de Lyon	1998	110 - 136 (ligne D)	482 (ligne D)
	2002	123 - 171 (ligne D)	469 (ligne D)
		58 - 67 (ligne A)	192 (ligne A)
Tramway de Rouen	2005	94	246
Métro de Toulouse	2004	91 (ligne A)	301 (ligne A)
	2005	147 (ligne A)	493 (ligne A)
Métro de Lille	2005	139	-
Métro de Rennes	2004	56 - 82	153 - 239
	2005	35 - 47	181 - 188
Métro de Toulouse	Été 2006	127 (quai Jean Jaurès)	1094 (quai Jean Jaurès)
		125 (quai Esquirol)	537 (quai Esquirol)
	Hiver 2006 - 2007	165 (quai Jean Jaurès)	501 (quai Jean Jaurès)
		102 (quai Esquirol)	469 (quai Esquirol)

Les BTEX :

Résultats de l'étude réalisée à l'intérieur du métro de Toulouse en été 2006 et hiver 2006 – 2007 :

- Issus des mesures par tubes passifs :

	Moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Benzène	Toluène	Xylènes
Été 2006	0.4 - 1.7	2.1 - 8.9	2.5 - 22.8
Hiver 2006 - 2007	0.9 - 3.7	1.6 - 9.0	2.3 - 11.4

- Issus de l'analyseur automatique :

		Moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Benzène	Toluène
Eté 2006	Moyenne	2.3	12.2
	Maxima horaire	4.0	36.0
Hiver 2006 - 2007	Moyenne	2.3	4.3
	Maxima horaire	5.0	19.0

Résultats de l'étude réalisée à l'intérieur du métro de Rennes en 2004 (campagne été) et 2005 (campagne hiver) :

			Benzène	Toluène	Ethylbenzène	Xylènes
Eté 2004	Moyenne (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Station	0.6	4.4	0.9	3.2
		Tunnel	0.9	6.8	1.4	3.4
	Valeur horaire maximale (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Station	1.0	5.5	1.5	4.8
		Tunnel	1.1	8.3	2.7	6.7
Hiver 2005	Moyenne (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Station	1.7	5.6	1.1	4.9
		Tunnel	1.5	4.7	0.8	3.7
	Valeur horaire maximale (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Station	2.6	9.2	1.9	8.7
		Tunnel	2.3	7.1	1.4	6.4

Résultats des mesures

La campagne de mesures s'est déroulée sur 2 phases :

- La phase I correspond à la période estivale, du 18 Juin au 16 Juillet 2007,
- La phase II correspond à la période hivernale, du 14 Janvier au 11 Février 2008.

Contexte météorologique et qualité de l'air ambiant

La qualité de l'air ambiant a un impact sur la qualité de l'air intérieur en raison de transferts possibles entre les deux atmosphères. Un air ambiant pollué aura donc des répercussions sur la qualité de l'air à l'intérieur des stations du métro lillois. Afin d'identifier les périodes plus ou moins favorables à la dispersion de la pollution extérieure, il est important d'étudier les données météorologiques et de les mettre en parallèle avec les mesures effectuées sur les polluants.

Les tableaux ci-après présentent les paramètres météorologiques rencontrés lors des deux phases de mesures. Les données sont issues des **stations de Tourcoing et de Béthune**.

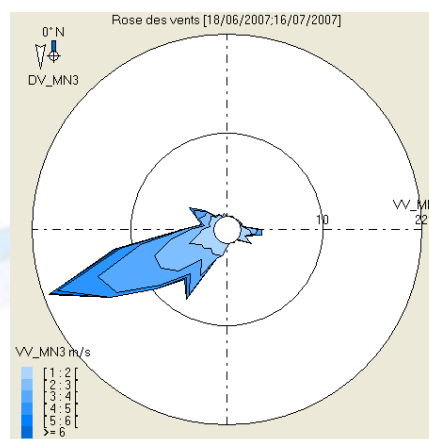
Les représentations graphiques des données météorologiques sont déclinées en annexes.

Phase I :

Température (°C)	Moyenne :	17.8
	Minimum :	10.6
	Maximum :	32.1
Pression atmosphérique (hPa)	Moyenne :	1008
Vent (m/s)	Vitesse moyenne :	2.5
	Minimum :	0.1
	Maximum :	6.2
Humidité relative (%)	Moyenne :	78

Le vent est un élément essentiel de la dispersion des polluants atmosphériques, plus ou moins importante selon sa vitesse. D'après la rose des vents de la phase I, la plupart du temps, la direction du vent était d'Ouest – Sud-Ouest et sa vitesse était variable.

Les conditions météorologiques observées durant la phase estivale, ont été très variables, alternant pluies, passages nuageux et orageux et périodes ensoleillées. Ce constat entraîne des variations dans la stagnation des masses d'air ou leur dispersion.



Les 2 premières semaines ont révélé des conditions climatiques similaires, à savoir une forte humidité relative (79%), une pression atmosphérique de l'ordre de 1007 hPa, une température moyenne de 17.8°C et un vent faible de 2.5 m/s. Ces paramètres combinés au temps variable (couvert, passages pluvieux et quelques journées ensoleillées) ont permis la retombée des polluants et une bonne dispersion.

Cependant, en raison de périodes ensoleillées, des températures importantes et un vent faible, les 19, 20, 21 Juin et le 1^{er} Juillet 2008, des épisodes de pollution ont pu se produire.

Les 2 dernières semaines ont connu plus de périodes ensoleillées que d'averses. La température maximale (32.1°C) a d'ailleurs été mesurée le 15 Juillet 2007 en fin d'après-midi. La pression atmosphérique de 1010 hPa durant ces 2 dernières semaines traduit des conditions dépressionnaires, associées en 3^{ème} semaine, à une vitesse de vent plus forte, de l'ordre de 3.2 m/s. Ces conditions ont ainsi été assez favorables à la dispersion des polluants à l'exception de la journée du 15 Juillet.

Phase II :

Température (°C)	Moyenne :	8.0
	Minimum :	1.1
	Maximum :	14.0
Pression atmosphérique (hPa)	Moyenne :	1019
Vent (m/s)	Vitesse moyenne :	3.2
	Minimum :	0.1
	Maximum :	9.6
Humidité relative (%)	Moyenne :	78

La rose des vents de la phase hivernale nous montre que le vent était en majorité orienté au Sud. Il a également été de Sud – Ouest. La vitesse du vent a été variable allant de 0.1 jusqu'à 9.6 m/s.

Les conditions climatiques de la phase II ont été également variables avec une alternance de journées pluvieuses au vent relativement fort et de périodes ensoleillées.

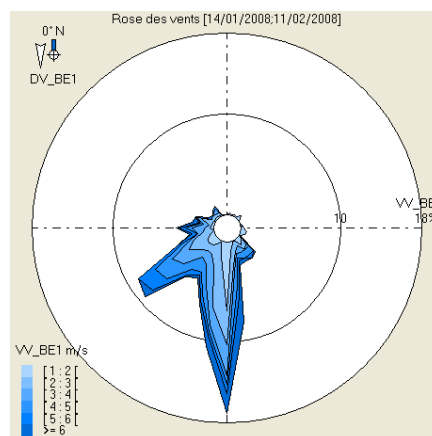
La 1^{ère} semaine a connu des vents faibles puisque sa vitesse moyenne a été de 4.5 m/s. Bien qu'il n'y ait pas eu de périodes ensoleillées (hormis dans l'après-midi du 14 Janvier 2008), la température hebdomadaire a été la plus élevée des 4 semaines (9.7°C). Durant cette semaine, les conditions météo rologiques ont été favorables à la dispersion de la pollution.

La 2^{ème} semaine a été un peu plus ensoleillée. La pression de 1028 hPa a été la plus forte parmi les 4 semaines, traduisant ainsi des conditions anticycloniques. Associées au temps sec et à un vent faible de 3 m/s, ces conditions ont pu empêcher une bonne dispersion des polluants et notamment le 28 Janvier où le vent était calme (sa vitesse était inférieure à 0.1 m/s).

Les 2 dernières semaines ont connu quelques jours à temps couvert et quelques journées ensoleillées. La température hebdomadaire de la 3^{ème} semaine a été la plus faible (5.5°C). La pression et l'humidité relative étaient importantes et le vent faible (2.9 m/s). De ce fait, la dispersion des polluants n'a pas toujours été favorisée pendant ces 2 dernières semaines.

L'étude de la météorologie pendant la campagne de mesure a permis de mettre en évidence des périodes où les conditions climatiques étaient défavorables à la dispersion des polluants : les 19, 20 et 21 Juin 2007, les 1^{er} et 15 Juillet 2007, les 24 et 28 Janvier 2008, et les 7, 9, 10 et 11 Février 2008.

Les variations du climat pendant les 2 phases de mesures ont pu engendrer des pics de pollution. L'analyse de l'indice ATMO permet de corroborer ces affirmations.



L'indice ATMO est un indicateur journalier de la qualité de l'air extérieur qui permet de traduire, sur une échelle de 1 (très bon) à 10 (très mauvais), la qualité de l'air d'une agglomération urbaine de plus de 100 000 habitants (plus l'indice est élevé, plus la qualité de l'air est mauvaise).

L'indice ATMO est élaboré à partir des concentrations journalières de 4 polluants indicateurs de la pollution atmosphérique :

- le dioxyde de soufre (SO₂) ;
- le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- l'ozone (O₃) ;
- et les poussières en suspension (Ps).

Un sous-indice, pour chacun des 4 polluants, permet de caractériser le niveau moyen de pollution auquel est exposée la population. C'est le maximum de ces 4 sous-indices qui détermine l'indice ATMO.

Liste des journées ayant enregistré un indice supérieur ou égal à 5 :

Phase I	Ss Indice SO₂	Ss Indice NO₂	Ss Indice O₃	Ss Indice PM10	Indice ATMO Global
19/06/2007	1	3	5	4	5
15/07/2007	1	2	5	4	5

Phase II	Ss Indice SO₂	Ss Indice NO₂	Ss Indice O₃	Ss Indice PM10	Indice ATMO Global
24/01/2008	1	3	2	5	5
28/01/2008	1	3	2	5	5
29/01/2008	1	3	2	6	6
07/02/2008	1	3	2	5	5
09/02/2008	1	5	2	4	5
10/02/2008	1	4	2	6	6
11/02/2008	1	4	2	6	6

Durant la période estivale de mesures, la qualité de l'air extérieur était globalement bonne excepté le 19 Juin et le 15 Juillet 2007 où les conditions climatiques étaient réunies pour une dispersion moyenne des polluants (températures élevées, air sec et vitesse du vent faible). Ainsi, l'air était pendant ces jours, de qualité moyenne.

La qualité de l'air extérieur durant la période hivernale 2008 a été, pendant quelques jours, moyenne voire médiocre (indice ATMO égal à 6), notamment à la fin du mois de Janvier et à la fin de la campagne de mesures. L'air extérieur de qualité médiocre a pu influencer l'air intérieur du métro de Lille le 29 Janvier, le 10 et le 11 Février.

Les paramètres de confort

Les paramètres de température et d'humidité sont des facteurs importants d'influence dans les émissions des composés organiques volatils, mais également pour le confort des voyageurs et des travailleurs dans les stations du métro. La mesure des paramètres de confort durant les 2 phases d'études a été réalisée à l'aide de l'appareil Q-Trak placé sur le quai République. Les données ont été recueillies en continu selon un pas de temps de dix minutes pendant toute la durée de chaque phase d'étude.

Les valeurs moyennes relevées pour chaque phase de mesures sont présentées dans les tableaux suivants :

Phase I	Température (°C)	Humidité relative (%)	Dioxyde de carbone (ppm)
Du 19 au 25/06/07	24.6	57.3	523
Du 25/06 au 02/07/07	23.8	56.3	502
Du 02 au 09/07/07	23.8	55.3	463
Du 09 au 16/07/07	24.5	57.4	488
Minimum	21.5 le 26/06/2007 à 02h52	42 le 27/06/2007 à 03h42	361 le 13/07/2007 à 02h08
Moyenne	24.2	53.6	494
Maximum	26.6 le 19/06/2007 à 18h13	64.5 le 19/06/2007 à 23h53	810 le 22/06/2007 à 00h13

Phase II	Température (°C)	Humidité relative (%)	Dioxyde de carbone (ppm)
Du 09 au 14/01/08	16.1	54.4	517
Le 15/01/08	16.9	53.5	510
Du 22 au 28/01/08	18.5	54.4	590
Du 29/01 au 04/02/08	16.9	49.3	562
Du 04 au 06/02/08	16.9	57.1	533
Minimum	12 le 03/02/2008 à 06h53	33 le 03/02/2008 à 17h23	412 le 10/01/2008 à 04h36
Moyenne	17.1	53.7	542
Maximum	19.9 le 22/01/2008 à 12h49	65.7 le 24/01/2008 à 17h09	971 le 24/01/2008 à 16h50

Selon la norme AFNOR XP X 43-401 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels-1998), il est conseillé de maintenir une humidité relative entre 40 et 60% et d'avoir une température de l'ordre de 22°C.

Dans les locaux à pollution non spécifique, la teneur ambiante en CO₂ ne doit pas dépasser le seuil de 1 000 ppm, et au-delà de 2 000 ppm, il y a un risque de somnolence.

Au regard des valeurs moyennes des paramètres de confort mesurés en périodes estivale et hivernale, nous pouvons considérer que le renouvellement de l'air a été correct dans la station de Lille République, les concentrations moyennes de dioxyde de carbone ne dépassant pas les 1000 ppm.

Certaines périodes ont toutefois observé ponctuellement des valeurs proches des 1000 ppm traduisant un renouvellement d'air moyen. En période estivale, la concentration maximale égale à 810 ppm a été atteinte le 22 Juin 2007 à 00h13. Or, à cet instant, le vent était calme (vitesse inférieure à 0.5 m/s). En période hivernale, la valeur maximale, proche de la valeur seuil à ne pas dépasser a été mesurée le 24 Janvier 2008 à 16h50, période pendant laquelle le vent était également calme (vitesse environ égale à 1 m/s).

Le taux d'humidité relative est resté en moyenne autour de 50% pour les deux périodes d'étude. Cette valeur est correcte puisque d'après la norme AFNOR XP X 43-401 (audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels – 1998), il est conseillé de maintenir une humidité relative entre 40 et 60% et d'avoir une température de l'ordre de 22°C.

La période estivale présente une température moyenne de 24.2°C tandis que la période hivernale, une température moyenne de 17.1°C. Ces valeurs sont en concordance avec les saisons puisqu'elles évoluent avec la température extérieure. Il existe un échange entre les masses d'air extérieur et celles de l'air à l'intérieur du métro : l'air extérieur, plus froid en hiver (et plus chaud en été) influe sur la température à l'intérieur du métro lillois.

Durant la période estivale, la température relevée le 19 Juin sur le quai de Lille République était un peu trop élevée (26.6°C) pour les voyageurs et les employés. Ce même jour, l'humidité relative de 64.5% a rendu l'air intérieur du métro chaud et humide, pouvant favoriser la prolifération de microorganismes.

Par opposition, la température mesurée pendant la période hivernale décrit un minimum de 12°C le 3 Février 2008 à 06h52 sur le quai République, jour pendant lequel a été relevé le minima horaire de température extérieure à 08h00 (1.1°C). Cette valeur trop faible ne convient pas à des conditions optimales de confort.

Durant les 2 phases, des mesures de température à l'intérieur des deux stations de métro ont été réalisées à titre de comparaison. Il a été constaté que les températures intérieures d'Eurotéléport étaient plus faibles que celles de la station République.

Les mesures des paramètres de confort ont donc montré un renouvellement de l'air ponctuellement moyen à la station République causé par deux principaux facteurs :

- La station République est plus confinée que celle d'Eurotéléport (volumes des espaces sur le quai et sur le hall plus faibles à la station République),
- La fréquence et le nombre de voyageurs à la station de Lille sont plus importants qu'à la station de Roubaix (augmentation des taux de CO₂, gaz rejeté par la respiration humaine)

D'autre part, les mauvaises conditions météorologiques (vent faible la plupart de la durée de la campagne de mesures et des périodes de températures élevées en été) ont pu avoir une incidence sur le renouvellement de l'air intérieur.

Exploitation des résultats

Présentation des stations de mesure

Afin d'assurer la surveillance de la qualité de l'air ambiant, Atmo Nord-Pas de Calais dispose d'un dispositif de 66 stations fixes de mesure. Les données mesurées dans l'air intérieur des stations du métro ont été comparées aux données des stations de mesures fixes les plus proches et/ou mesurant les mêmes paramètres, sur des typologies variées.

Dans ce rapport, les stations fixes utilisées sont les suivantes :

pour les polluants classiques : SO₂, NO_x, O₃, PM10, PM2.5 et CO

- les stations de Lille Fives, de Roubaix Château, de Tourcoing, de Marcq-en-Barœul, de Lille Faiderbe (stations urbaines) et de Lille Pasteur, de Roubaix Serres (station trafic)
- la station de Lille Pasteur et de Roubaix Serres (station trafic) pour le CO

pour les métaux lourds : station de Dunkerque (industrielle)

pour les HAP : station de Lille Pasteur (trafic)



Résultats

Les méthodes de traitements des données (qualité des mesures, validation des données...) sont expliquées en annexes. Les courbes des polluants mesurés, présentées ci-après, sont déclinées en annexes en grand format.

Les oxydes d'azote NOx

Mesures par tubes à diffusion passive :

Moyennes durant la campagne de mesures :

Concentration moyenne du NO ₂ en µg/m ³		
Site	Phase I	Phase II
Hall République	24	33
Quai République	13	24
Tunnel République	8	15
Extérieur République	23	43
Hall Eurotéléport	24	42
Quai Eurotéléport		42
Tunnel Eurotéléport	9	36
Extérieur Eurotéléport	27	43
Lille Faidherbe	19	38
Lille Fives	24	43
Lille Pasteur	36	49
Roubaix Serres	48	85
Roubaix Square Cateau	18	40

Durant la campagne de mesures, le dioxyde d'azote a été le plus concentré dans les halls des deux stations de métro parmi les sites intérieures exploités. Plus on se déplace vers l'intérieur de la station (vers le tunnel), plus la concentration diminue.

D'autre part, les concentrations en dioxyde d'azote relevées à l'extérieur des stations sont globalement supérieures à celles mesurées dans les stations (Hall, Quai, Tunnel). Ces observations laissent à penser que la présence de dioxyde d'azote à l'intérieur des stations est en majeure partie liée à l'air extérieur et provient essentiellement du trafic automobile.

Par comparaison avec les résultats obtenus dans la station République, les sites de Roubaix sont globalement plus exposés au dioxyde d'azote, s'illustrant par les teneurs maximales extérieures, notamment durant la période hivernale. Les axes de circulation automobile très dense à proximité des deux sites Roubaix Eurotéléport et Roubaix Serres, pourraient expliquer ce phénomène.

Mesures à l'aide de l'Airpointer :

Sur le quai République, l'analyseur Airpointer a permis de mesurer en continu l'évolution de la concentration des oxydes d'azote, NO et NO₂ durant chaque phase de mesures.

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

Site	Monoxyde d'azote (NO)		
	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur journalière maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Quai République	22	1688 le 19/06/2007 à 04h00	214 le 19/06/2007
Lille Faidherbe	3	125 le 19/06/2007 à 07h00	32 le 19/06/2007
Lille Fives	3	57 le 27/06/2007 à 09h00	8 le 27/06/2007
Lille Pasteur	12	87 le 27/06/2007 à 09h00	22 le 22/06/2007
Marcq-en-Baroeul	3	66 le 19/06/2007 à 08h00	10 le 19/06/2007
Roubaix Serres	29	144 le 27/06/2007 à 9h00 et le 13/07/2007 à 08h00	46 le 21/06/2007
Roubaix Square Catteau	1	22 le 19/06/2007 à 09h00	3 les 27/06 et 11/07/2007

Site	Dioxyde d'azote (NO ₂)		
	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur journalière maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Quai République	12	576 le 19/06/2007 à 03h00	57 le 19/06/2007
Lille Faidherbe	14	85 le 16/07/2007 à 08h00	51 le 19/06/2007
Lille Fives	20	76 le 21/06/2007 à 09h00	37 le 21/06/2007
Lille Pasteur	28	85 le 19/06/2007 à 08h00	51 le 21/06/2007
Marcq-en-Baroeul	16	71 le 16/07/2007 à 09h00	32 le 16/07/2007
Roubaix Serres	33	94 le 21/06/2007 à 08h00	47 le 21/06/2007
Roubaix Square Catteau	19	70 le 21/06/2007 à 09h00	47 le 21/06/2007

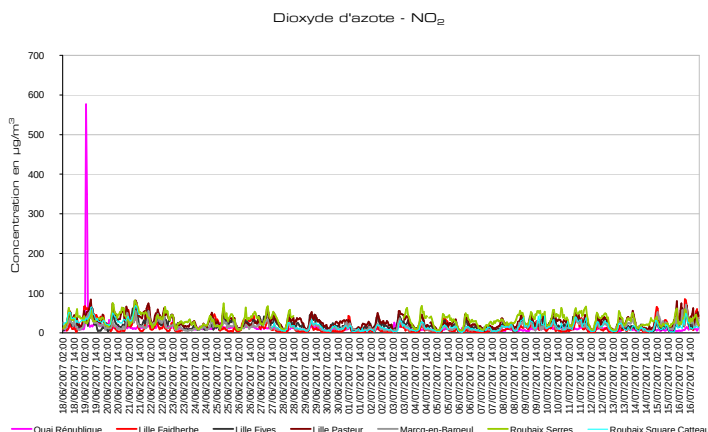
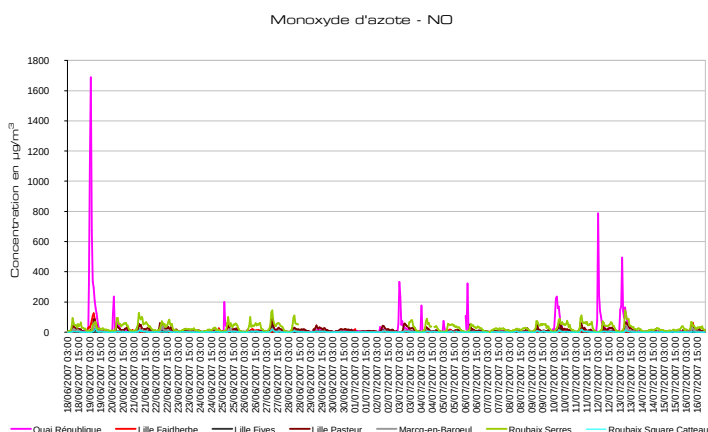
Phase II :

Site	Monoxyde d'azote (NO)		
	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur horaire maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur journalière maximale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Quai République	14	418 le 19/01/2008 à 01h00	63 le 19/01/2008
Lille Faidherbe	16	379 le 11/02/2008 à 08h00	132 le 11/02/2008
Lille Fives	13	270 le 09/02/2008 à 23h00	56 le 10/02/2008
Lille Pasteur	26	524 le 09/02/2008 à 20h00	133 le 09/02/2008
Marcq-en-Baroeul	7	426 le 09/02/2008 à 22h00	116 le 10/02/2008
Roubaix Serres	56	642 le 09/02/2008 à 22h00	158 le 09/02/2008
Roubaix Square Catteau	10	448 le 09/02/2008 à 22h00	87 le 09/02/2008

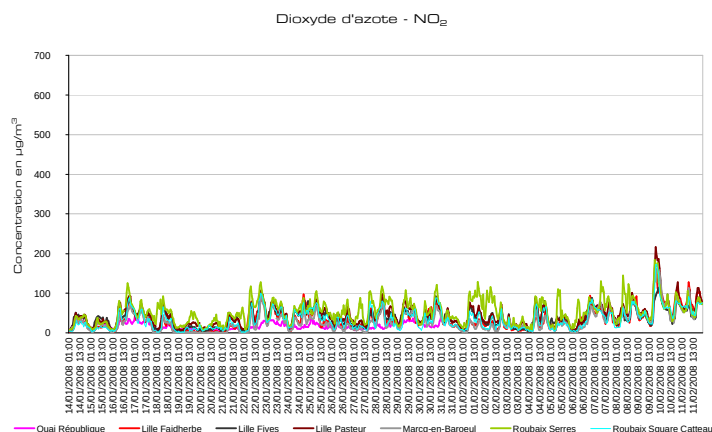
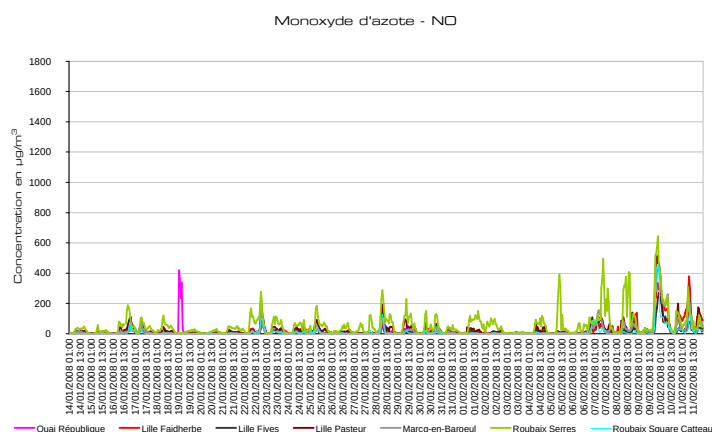
Site	Dioxyde d'azote (NO ₂)		
	Concentration moyenne (µg/m ³)	Valeur horaire maximale (µg/m ³)	Valeur journalière maximale (µg/m ³)
Quai République	18	45 le 31/01/2008 à 01h00	34 le 31/01/2008
Lille Faidherbe	33	148 le 09/02/2008 à 21h00	83 le 11/02/2008
Lille Fives	39	114 le 09/02/2008 à 23h00	60 les 10 et 11/02/2008
Lille Pasteur	44	216 le 09/02/2008 à 20h00	86 le 09/02/2008
Marcq-en-Baroeul	29	166 le 09/02/2008 à 22h00	72 le 09/02/2008
Roubaix Serres	53	184 le 09/02/2008 à 19h00	79 le 09/02/2008
Roubaix Square Catteau	33	173 le 09/02/2008 à 21h00	67 le 11/02/2008

Evolutions des moyennes horaires :

Phase I :



Phase II :



En phase estivale, les concentrations en monoxyde d'azote mesurées sur le quai de la station République n'ont pas toujours évolué de la même manière que celles mesurées à l'extérieur. Inversement, en isolant le pic de 576 µg/m³ obtenu sur le quai le 19 Juin 2007 à 03h00, les concentrations en dioxyde d'azote mesurées à l'intérieur de la station et celles relevées à l'extérieur ont des évolutions similaires.

Les pics de brève intensité de NO observés sur le quai correspondent aux périodes pendant lesquelles la motrice de travaux de nuit est passée dans le tunnel de la station République (Cf jours de passages en annexe). Cette relation est tout à fait plausible puisque la motrice fonctionnant au Diesel, représente une source locale de NO tandis que le NO₂ est un polluant issu de la transformation du NO. De ce fait, il n'est pas fortement détecté localement.

Pendant la phase hivernale, en isolant le pic de monoxyde d'azote de $418 \mu\text{g}/\text{m}^3$ observé le 19 Janvier 2008 à 01h00, les variations des concentrations d'oxydes d'azote mesurées sur le quai République sont semblables à celles des concentrations mesurées à l'extérieur. A noter que les concentrations en NO_2 mesurées sur la totalité des sites ont augmenté à partir du 7 Février, et ce, jusqu'au 11 Février 2008, en lien avec de mauvaises conditions météorologiques. L'air extérieur a donc eu une incidence sur l'air intérieur. Ce constat montre qu'il existe bien un transfert d'oxydes d'azote issus de l'extérieur vers le quai de la station de métro. Ceci laisse à penser que les oxydes d'azote présents dans le métro sont principalement issus du trafic automobile.

Le pic observé en hiver correspond également à la période de fonctionnement de la motrice Diesel dans le tunnel.

Globalement, les concentrations en NO mesurées durant la phase estivale sont plus élevées que celles obtenues en phase hivernale. La motrice de travaux (Diesel) a fonctionné 10 fois sur la ligne 1 en été 2007 tandis qu'en hiver 2008, elle n'a fonctionné que 2 fois. Ce constat affirme que la motrice représente une source intérieure de monoxyde d'azote dans le métro de Lille.

A la faveur des conditions météorologiques dispersives, les concentrations en NO_2 recueillies durant la phase estivale sont plus faibles que celles mesurées pendant la phase hivernale.

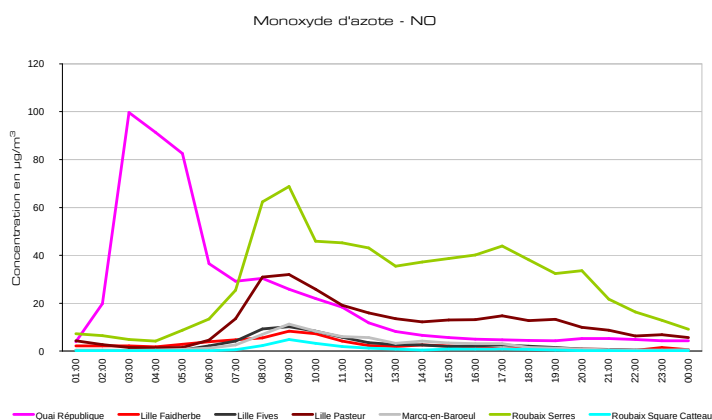
Les concentrations relevées sur la station fixe de Roubaix Serres sont restées supérieures aux concentrations mesurées sur les autres sites. Les concentrations mesurées à la station Lille Pasteur arrivent en seconde position. Ceci est en concordance avec la typologie « trafic » des stations fixes. Enfin, à l'exception des pics, les concentrations en oxydes d'azote mesurées sur le quai étaient faibles par rapport aux valeurs relevées sur les sites extérieurs. Cette observation montre que la source prépondérante de NO_x se trouve à l'extérieur du métro.

La motrice de nuit fonctionnant la nuit (de 01h00 à 04h00), les pics de pollution au monoxyde d'azote ont été observés la nuit. Ainsi, les voyageurs ne sont pas directement exposés au NO issu de la motrice pendant les heures d'ouverture du métro. Au regard des valeurs réglementaires en atmosphère de travail, les concentrations en NO_x mesurées sur le quai République sont inférieures aux valeurs limites et moyennes d'exposition.

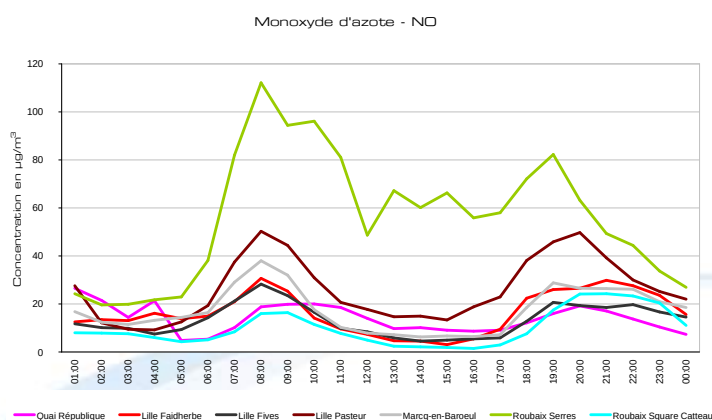
Par comparaison avec les valeurs guides du projet IndEx, des dépassements de la valeur horaire fixée à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été enregistrés pendant la phase estivale sur le quai de République. Aussi, si on compare la valeur guide sur une semaine aux résultats obtenus sur quinze jours, cette valeur serait dépassée dans le hall et sur le quai de Roubaix.

Profils journaliers :

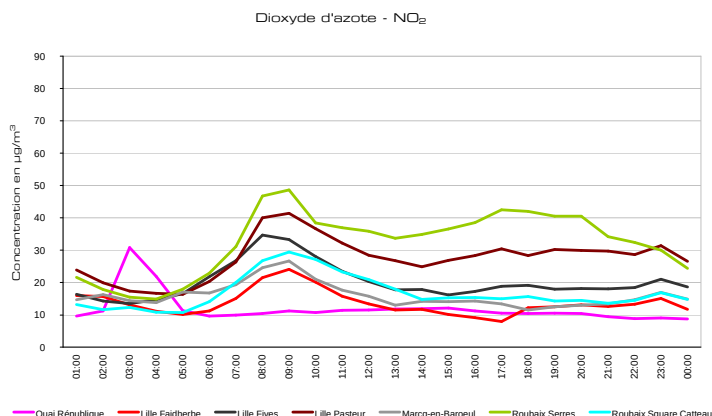
Phase I :



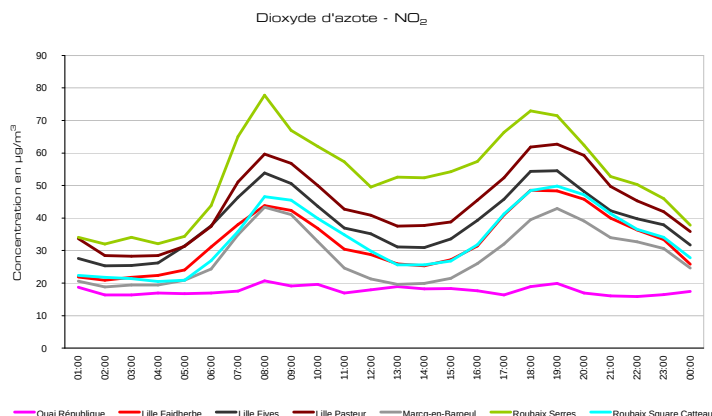
Phase II :



Phase I :



Phase II :



Pendant une journée représentative des phases I et II, les pics de concentrations en oxydes d'azotes observés sur le quai de la station République entre 03h00 et 04h00 confirment que la motrice Diesel fonctionnant entre 01h00 et 04h00, représente une source intérieure de NO_x (notamment de NO).

En journée, les profils journaliers des concentrations en NO_x mesurées sur le quai et aux stations fixes sont par contre semblables. On note 2 pics de concentrations : entre 08h00 et 09h00 et en fin d'après-midi soit aux heures de pointes. Les niveaux en oxydes d'azote dans la station de métro sont en-dessous des niveaux extérieurs. Ainsi, le trafic automobile constitue une source majeure de NO_x présents dans le métro.

Les BTEX

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

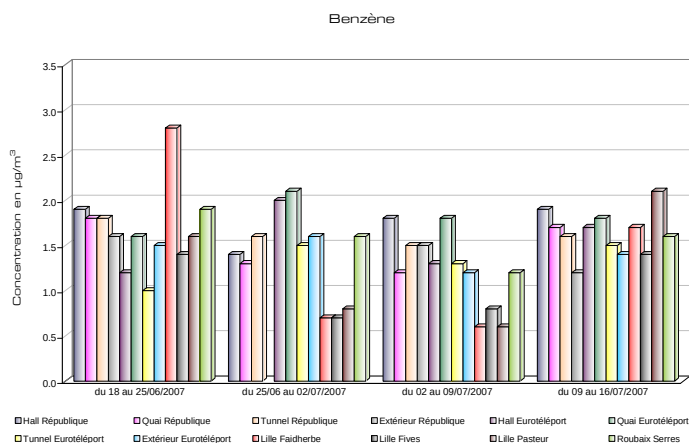
Site	Concentrations en µg/m ³									
	Benzène		Toluène		Ethylbenzène		m+p-Xylènes		o-Xylène	
	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max
Hall République	1.8	1.9	3.8	5.3	0.9	1.2	3.0	5.2	1.4	1.8
Quai République	1.5	1.8	4.2	6.1	1.1	1.8	3.6	6.1	2.0	3.0
Tunnel République	1.6	1.8	3.6	5.9	0.9	1.1	2.6	3.5	1.3	2.1
Extérieur République	1.4	1.6	2.6	3.6	0.6	0.7	1.6	2.0	0.6	0.7
Hall Eurotéléport	1.6	2.0	3.6	5.2	0.9	1.6	2.8	5.4	1.2	1.8
Quai Eurotéléport	1.8	2.1	3.6	5.9	0.9	1.7	2.9	6.2	1.3	2.6
Tunnel Eurotéléport	1.3	1.5	2.8	4.2	0.7	1.3	2.3	4.8	1.0	1.9
Extérieur Eurotéléport	1.4	1.6	3.5	4.8	0.7	0.9	2.8	4.7	1.0	1.4
Lille Faidherbe	1.5	2.8	1.5	2.4	0.5	0.8	1.3	1.8	0.6	0.9
Lille Fives	1.1	1.4	2.4	3.5	0.5	0.7	1.4	1.8	0.6	0.7
Lille Pasteur	1.3	2.1	3.7	5.7	0.7	1.4	2.0	3.5	0.8	1.4
Roubaix Serres	1.6	1.9	4.6	5.5	0.9	1.2	3.0	4.9	1.1	1.4

Phase II :

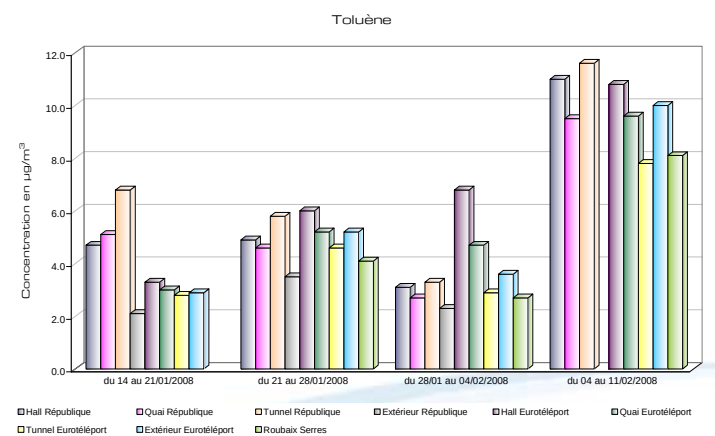
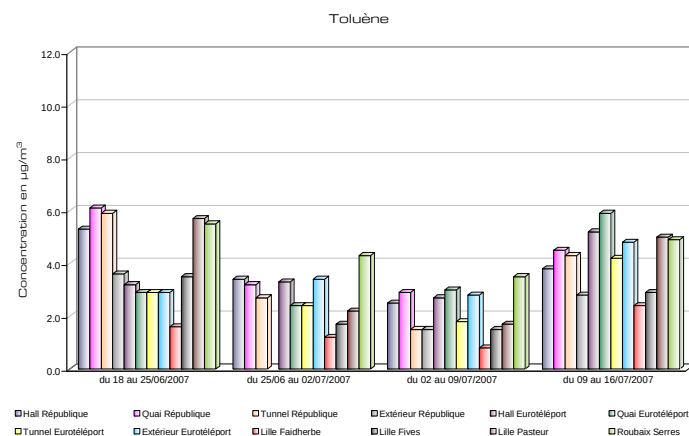
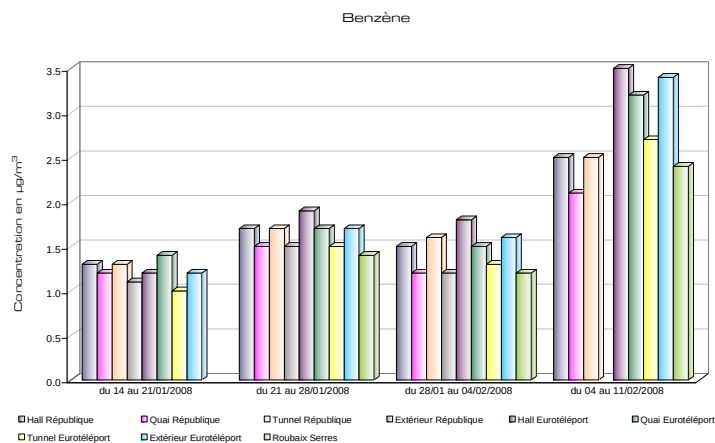
Site	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
	Benzène		Toluène		Ethylbenzène		m+p-Xylènes		o-Xylène	
	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max	Moy	Max
Hall République	1.8	2.5	5.9	11.0	1.1	1.5	3.4	4.6	1.8	2.8
Quai République	1.5	2.1	5.5	9.5	1.1	1.5	3.3	5.0	1.8	2.5
Tunnel République	1.8	2.5	6.9	11.6	1.3	1.9	4.5	7.1	1.8	2.5
Extérieur République	1.3	1.5	2.6	3.5	0.5	0.6	1.6	2.1	0.6	0.7
Hall Eurotéléport	2.1	3.5	6.7	10.8	1.5	2.2	5.3	7.7	1.7	2.6
Quai Eurotéléport	2.0	3.2	5.6	9.6	1.1	1.7	3.8	6.4	1.3	2.1
Tunnel Eurotéléport	1.6	2.7	4.5	7.8	0.8	1.3	2.5	4.5	0.9	1.6
Extérieur Eurotéléport	2.0	3.4	5.4	10.0	0.8	1.6	2.9	5.8	1.0	2.0
Roubaix Square Cateau	1.7	2.4	5.0	8.1	0.7	1.2	2.6	4.2	0.9	1.5

Evolutions des moyennes hebdomadaires :

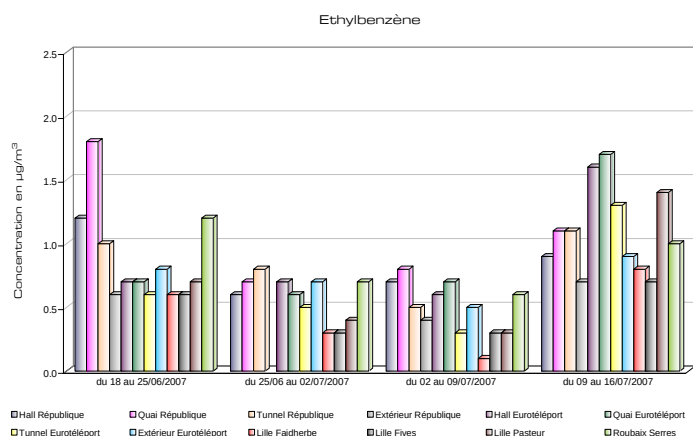
Phase I :



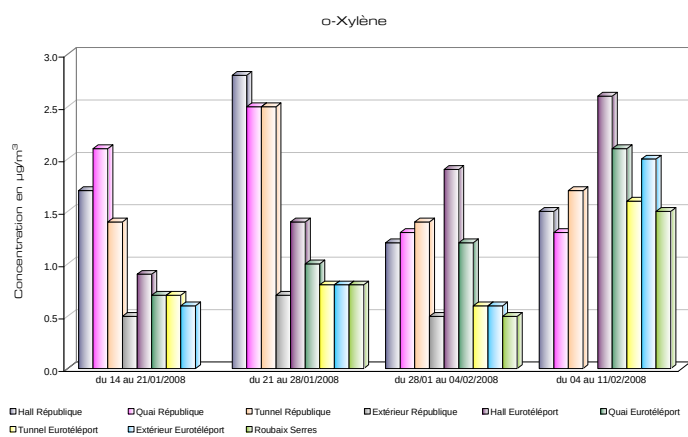
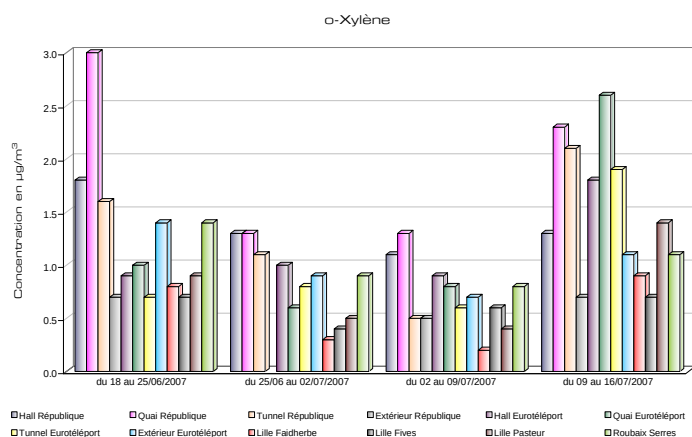
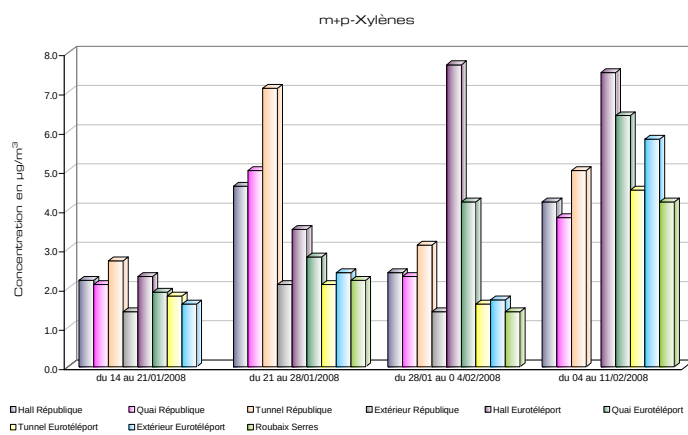
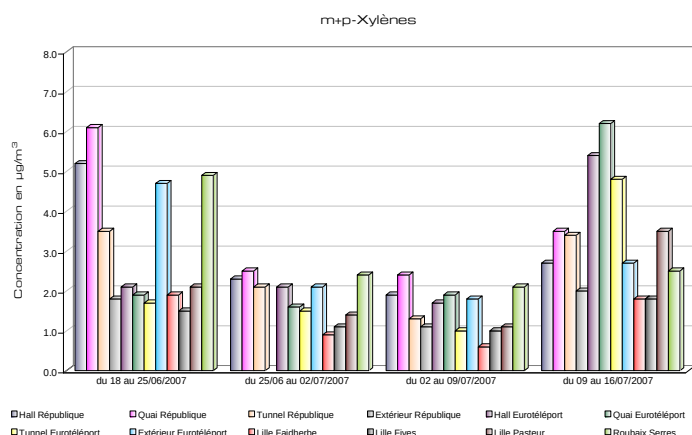
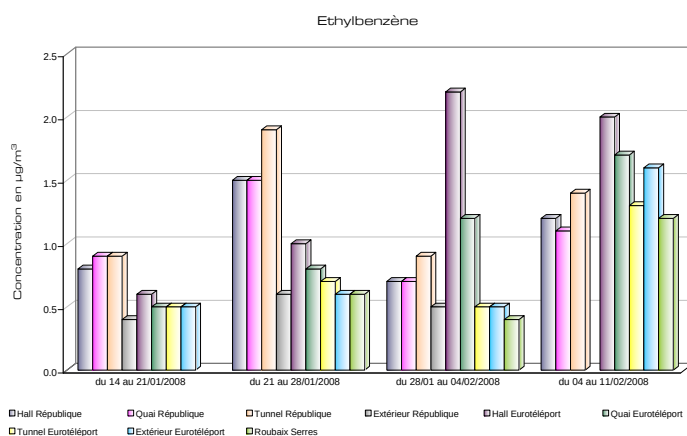
Phase II :



Phase I :



Phase II :



De manière générale, les concentrations en BTEX mesurées dans les 2 stations de métro présentent des valeurs semblables aux concentrations relevées par les stations fixes. Les moyennes hebdomadaires présentent des tendances assez similaires. En été, les 1^{ère} et 2^{ème} semaines observent les valeurs les plus élevées pour chaque composé, alors qu'en hiver, les teneurs maximales sont notées en dernière semaine. Les polluants, toluène, m+p-xylènes, éthylbenzène, et o-xylène présentent toutefois des concentrations plus élevées dans le hall et sur le quai indiquant ainsi qu'il existe probablement une source interne d'émission.

L'augmentation des concentrations en BTEX dans le métro et sur les sites extérieurs, observée la dernière semaine de la phase estivale (du 9 au 16 Juillet 2007) n'a pas été relevée sur les autres stations de la région. Aucune source de pollution n'a été identifiée, expliquant ce phénomène.

D'autre part, en phase hivernale, a également été observée une augmentation des teneurs la dernière semaine, soit du 4 au 11 Février 2008. Les conditions météorologiques défavorables à la dispersion des polluants (vent faible du 6 au 11 Février) ont engendré une stagnation des BTEX à l'extérieur. Ces polluants pénétrant aisément en air intérieur, ils ont été également mesurés en grande quantité dans les stations de métro. Ceci montre que l'air extérieur influe sur les concentrations en BTEX mesurées dans le métro.

Par comparaison avec les résultats de la phase estivale, la phase hivernale présente des concentrations en BTEX légèrement plus élevées, en accord avec la saisonnalité du polluant. Parmi les BTEX recherchés à l'intérieur du métro lillois, le toluène et les m+p-xylènes sont prépondérants aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des stations République et Eurotéléport. Cela dit, les concentrations mesurées dans le métro ne dépassent pas les valeurs réglementaires en atmosphère de travail. Il en est de même pour le benzène, l'éthylbenzène et l'o-xylène. De plus, les valeurs réglementaires en air ambiant (valeur applicables d'après le projet IndEx) ont été respectées pendant la campagne.

Les résultats indiquent que les BTEX retrouvés en air intérieur sont importés de l'extérieur, où ils trouvent leur source liée au trafic automobile. Cependant, il ne faut pas exclure sauf pour le benzène la présence de source de polluants présente dans le métro, à savoir la fumée de tabac. A noter que les solvants utilisés pour le nettoyage des halls et quais ne représentent pas une source intérieure puisqu'ils ne contiennent pas de BTEX.

Le dioxyde de soufre SO₂

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

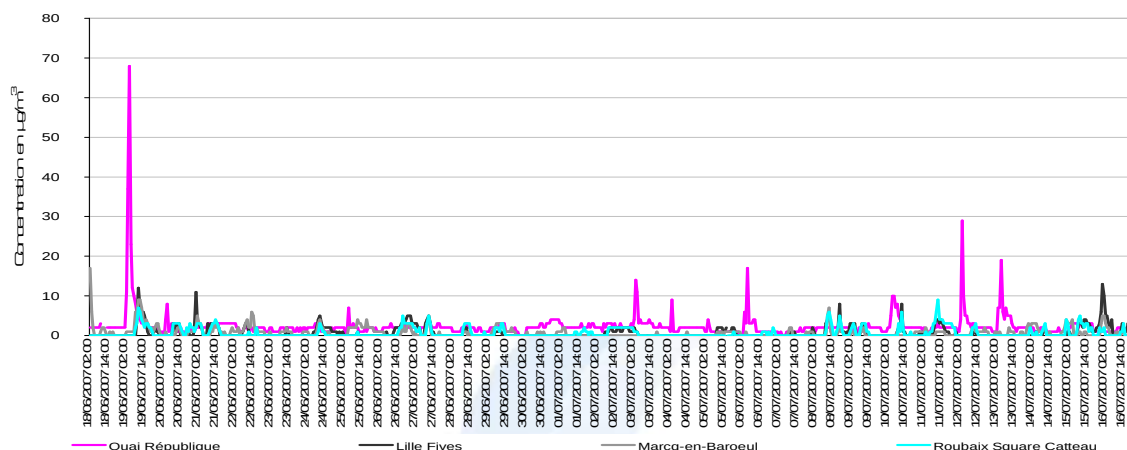
Site	Concentrations en µg/m ³		
	Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Quai République	2	68 le 19/06/2007 à 02h00	9 le 19/06/2007
Lille Fives	1	13 le 15/07/2007 à 22h00	2 les 19 et 26/06 et les 15 et 16/07/2007
Marcq-en-Baroeul	1	17 le 18/06/2007 à 00h00	3 le 19/06/2007
Roubaix Square Catteau	1	9 le 11/07/2007 à 09h00	2 le 19/06 et les 11 et 15/07/2007

Remarque : pendant la phase II, l'Airpointer a rencontré des problèmes techniques pour la mesure des concentrations en SO₂. L'interprétation des résultats sera uniquement basée sur les mesures obtenues dans la phase I.

Evolution des moyennes horaires :

Dioxyde de soufre - SO₂

Phase I :



A l'exception de quelques pics isolés, les concentrations mesurées sur le quai et à l'extérieur dans les stations fixes ont été faibles.

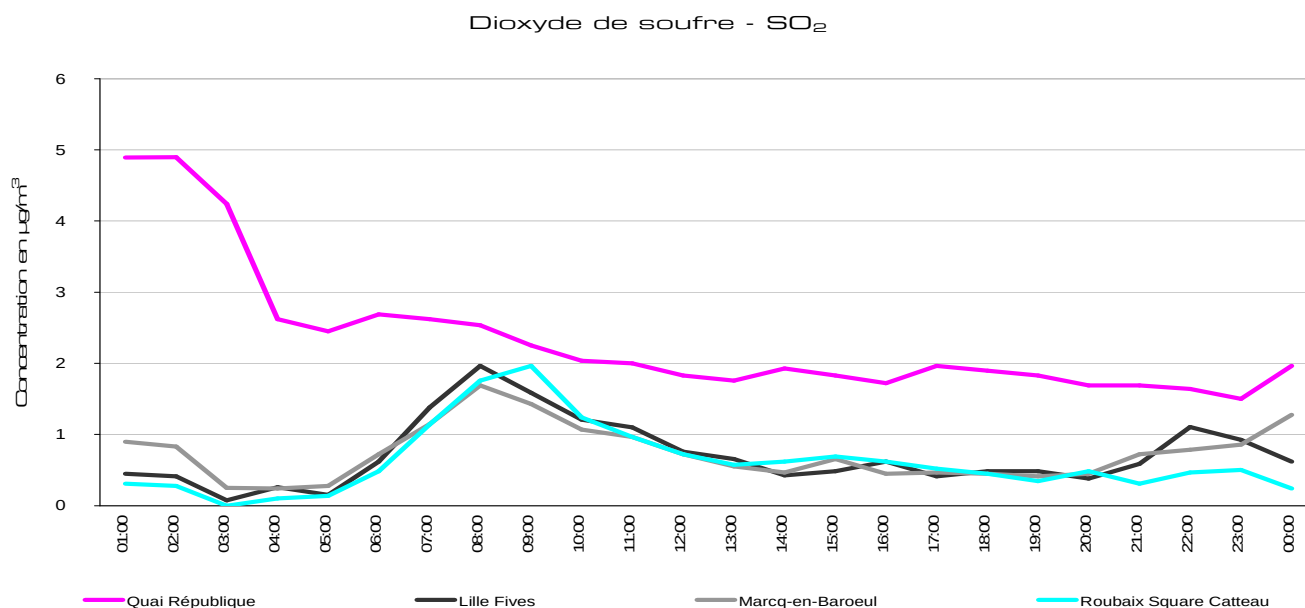
De manière générale, les concentrations mesurées sur le quai République ont été supérieures à celles mesurées dans les stations fixes à l'extérieur. Ceci laisse à penser qu'il existe une source intérieure de dioxyde de soufre.

Les pics observés sur le quai correspondent aux passages de la motrice de travaux de nuit. La valeur horaire maximale égale à $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a été observée le 19 Juin à 02h00. Comme pour le NO_2 , la motrice Diesel constitue une source majoritaire de dioxyde de soufre à l'intérieur du métro lillois.

En ce qui concerne la réglementation, toutes les valeurs mesurées ont respecté les valeurs seuils, aussi bien en air ambiant qu'en atmosphère de travail.

Profil journalier :

Phase I :



Le profil journalier du dioxyde de soufre présente des similitudes avec le profil du dioxyde d'azote en phase estivale. En effet, l'évolution de la concentration en SO_2 mesurée sur le quai République est différente des évolutions des valeurs mesurées sur les sites extérieurs. Sur une journée représentative de la phase estivale, l'augmentation du niveau en SO_2 sur le quai lors de la mise en fonctionnement de la motrice de travaux est observée. Le niveau atteint son maximum de 01h00 à 02h00. De plus, les niveaux obtenus sur le quai sont constamment supérieurs aux concentrations en SO_2 à l'extérieur.

Les concentrations en SO_2 mesurées à l'extérieur de la station de métro subissent 2 augmentations de faible intensité aux alentours de 08h00, soit en période de pointe en termes de fréquence des axes routiers, et en début de soirée.

Le profil journalier des concentrations en dioxyde de soufre confirme que ce polluant retrouvé dans la station République provient principalement de l'exploitation de la motrice de travaux de nuit.

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

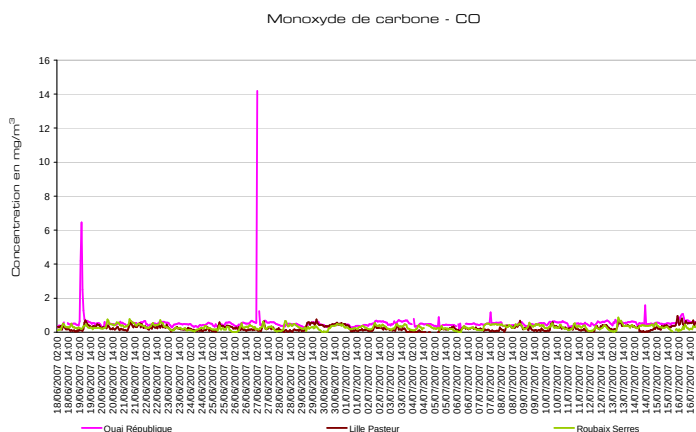
Site	Concentrations en mg/m ³		
	Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Quai République	0.52	14.19 le 27/06/2007 à 02h00	1.17 le 27/06/2007
Lille Pasteur	0.24	0.95 le 16/07/2007 à 00h00	0.54 le 16/07/2007
Roubaix Serres	0.29	0.86 le 13/07/2007 à 08h00	0.45 le 21/06/2007

Phase II :

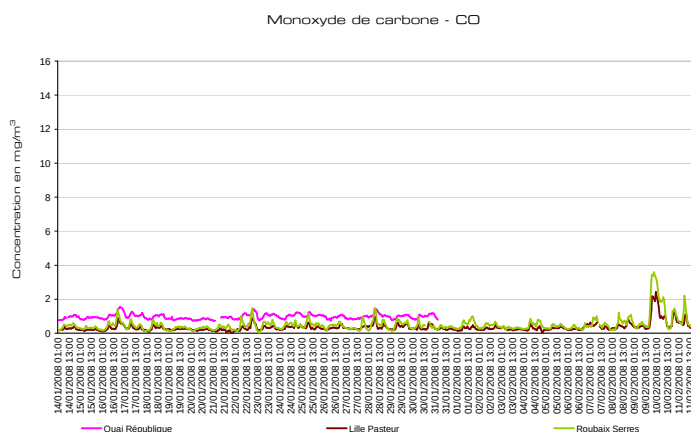
Site	Concentrations en mg/m ³		
	Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Quai République	0.97	1.54 le 16/01/2008 à 20h00	1.12 le 16/01/2008
Lille Pasteur	0.35	2.43 le 10/02/2008 à 00h00	0.90 le 10/02/2008
Roubaix Serres	0.50	3.57 le 09/02/2008 à 22h00	1.31 le 10/02/2008

Evolutions des moyennes horaires :

Phase I :



Phase II :



Remarque : Un problème avec l'Airpointer est survenu le 31 Janvier 2008 empêchant la poursuite des mesures en Février.

Globalement, durant toute la durée de la campagne de mesures, les concentrations en monoxyde de carbone relevées sur le quai de la station République ont été supérieures à celles mesurées à l'extérieur. A l'inverse de la période hivernale, l'évolution de la concentration estivale de CO mesurée sur le quai diffère de celle mesurée en air extérieur. En effet, en phase I, ont été observés des pics sur le quai aux périodes pendant lesquelles les teneurs à l'extérieur n'augmentaient pas ou peu. Les pics correspondent aux créneaux horaires pendant lesquels la motrice de travaux de nuit a fonctionné. Par conséquent, ce train Diesel constitue une source en CO à l'intérieur du métro.

Comme les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone présent en air extérieur provient essentiellement du trafic automobile. Les évolutions similaires des concentrations en CO pendant la phase hivernale montrent que le monoxyde de carbone retrouvé sur le quai provient également de la circulation automobile. A noter que 3 pics ont été obtenus aux heures de pointe, soit :

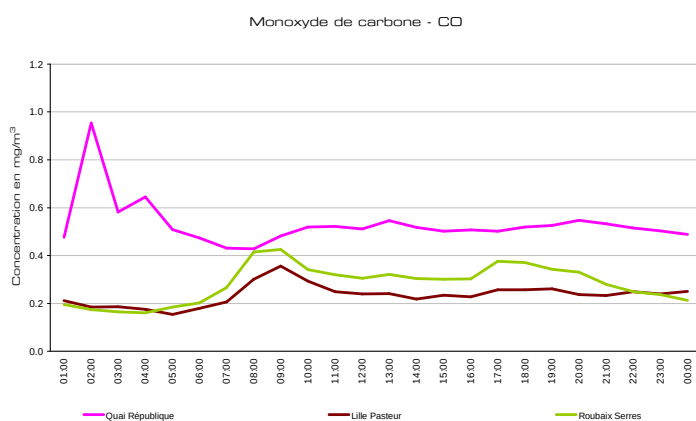
- le 16 Janvier => 1.54 mg/m³ à 20h00 sur le quai, 0.88 mg/m³ à 18h00 à Lille Pasteur et 1.42 mg/m³ à 17h00 à Roubaix Serres,
- le 22 Janvier => 1.42 mg/m³ à 20h00 sur le quai, 0.86 mg/m³ à 19h00 à Lille Pasteur et 1.47 mg/m³ à 19h00 à Roubaix Serres,
- le 28 Janvier => 1.42 mg/m³ à 09h00 sur le quai, 0.95 mg/m³ à 08h00 à Lille Pasteur et 1.47 mg/m³ à 08h00 à Roubaix Serres.

Si on compare les 2 phases de mesures, comme pour les NOx et le SO₂, les concentrations en CO mesurées en été sont plus faibles que celles relevées en hiver. Ceci est dû aux conditions météorologiques en hiver, favorisant la stagnation des polluants dans les couches inférieures de l'atmosphère (inversion de température).

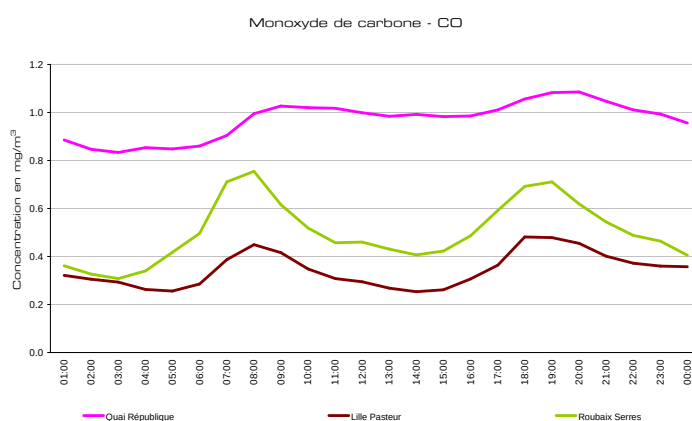
Concernant la réglementation, durant la campagne de mesures, les valeurs réglementaires de l'AFSSET en air intérieur ont été respectées, et ce, pour une durée d'exposition de 8 heures, de 1 heure et à court terme. La réglementation en ambiance de travail a également été respectée.

Profils journaliers :

Phase I :



Phase II :



Les profils présentés ci-dessus illustrent parfaitement les différentes sources présentes à l'intérieur et aux abords des stations du métro lillois.

En phase estivale, l'évolution des concentrations des 3 sites est différente ; les 2 pics, observés en été 2007 uniquement sur le quai à 02h00 et 04h00, indiquent la présence d'une source endogène, induite par le fonctionnement de la motrice de nuit (qui a fonctionné 10 fois de 01h00 à 04h00). La source de monoxyde de carbone importée de l'air extérieur apparaît très peu influente, les deux augmentations notées sur les stations fixes n'ayant pas été observées sur le quai.

L'évolution des teneurs en phase hivernale sur le quai évoluent cette fois bien en phase avec celles des stations fixes. Sont observés 2 pics aux heures de pointes (entre 08h00 et 09h00, et en fin d'après-midi), attribuables aux heures d'entrée et de sortie de la population.

La source intérieure repérée en été est donc associée en hiver à la source provenant du trafic routier.



Moyennes durant la campagne de mesures :

Polluant	Concentration moyenne (ng/m ³)	
	Phase I	Lille Pasteur
Fluoranthène	0.05	0.05
Benzo(b)fluoranthène	0.05	0.05
Benzo(a)anthracène	0.05	0.05
Benzo(ah)anthracène	0.05	0.05
Benzo(k)fluoranthène	0.05	0.05
Benzo(a)pyrène	0.05	0.05
Benzo(ghi)pérylène	0.05	0.05
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	0.05	0.05
Anthracène	0.05	0.05
Chrysène	0.05	0.05
Phénanthrène	0.05	0.05
Pyrène	0.05	0.05
Naphtalène	0.05	Non mesuré

Moyennes mesurées à la station fixe Lille Pasteur durant la campagne de mesures :

Polluant	Concentration moyenne (ng/m ³)	
	Phase II	Lille Pasteur
Fluoranthène	1.2	0.4
Benzo(b)fluoranthène	0.7	0.9
Benzo(a)anthracène	0.5	0.4
Benzo(ah)anthracène	0.1	0.1
Benzo(k)fluoranthène	0.3	0.4
Benzo(a)pyrène	0.5	0.4
Benzo(ghi)pérylène	0.1	0.3
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	0.3	0.4
Anthracène	0.3	0.1
Chrysène	1.2	1.1
Phénanthrène	0.1	0.1
Pyrène	1.2	0.1
Naphtalène	0.1	Non mesuré

Durant la phase estivale, les concentrations hebdomadaires moyennes en hydrocarbures aromatiques polycycliques mesurées dans le tunnel de la station Lille République ont été très faibles et égales à celles retrouvées sur Lille Pasteur.

Par contre, en période hivernale, des différences peuvent apparaître mais, à l'exception du fluoranthène, du chrysène et du pyrène, les écarts restent peu significatifs.

Aucune source particulière de HAP dans le métro n'a donc été mise en évidence lors de cette campagne.

La silice cristalline SiO₂

Les prélèvements ont été effectués sur le quai de la station Lille République. Les polluants mesurés sont les poussières alvéolaires, le quartz, la cristobalite et la tridymite. L'analyse des filtres a été réalisée par le laboratoire du Bureau Veritas. Les résultats des mesures effectuées en phase estivale et hivernale sont donnés en annexe.

La tridymite n'ayant pas été détectée, la concentration en silice cristalline n'a pas pu être déterminée durant toute la durée de la campagne. Toutefois, une interprétation des résultats a pu être réalisée par le laboratoire d'analyse.

Selon les recommandations du Ministère du Travail, une évaluation des résultats peut être basée sur l'écart des résultats avec la valeur limite de moyenne exposition (VME). D'après les résultats d'analyse, l'exposition aux poussières alvéolaires, au quartz et à la cristobalite durant la totalité de la campagne de mesures a été qualifiée de **modérée**, ce qui signifie que les concentrations mesurées étaient inférieures à 0.3 VME (VME des poussières alvéolaires = 5 mg/m³; VME du quartz = 0.1 mg/m³; VME de la cristobalite = 0.05 mg/m³). En d'autres termes, l'exposition à ces agents chimiques est considérée comme acceptable, si bien entendu, les conditions de travail à l'intérieur du métro n'évoluent pas. Seuls les contrôles réglementaires des installations de ventilation et surveillance des moyens de protection sont à renouveler.

Les poussières en suspension Ps

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

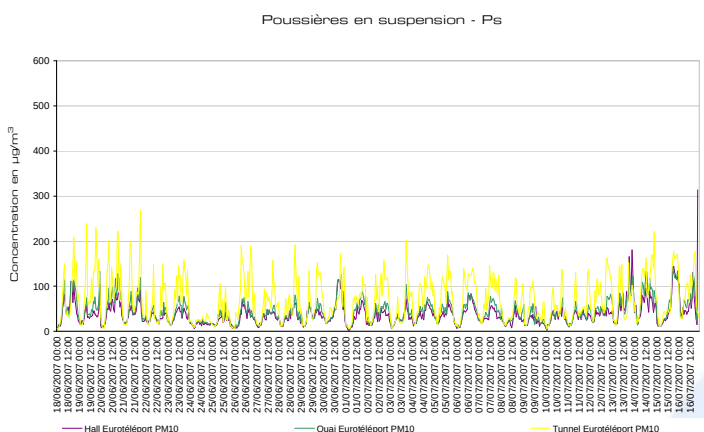
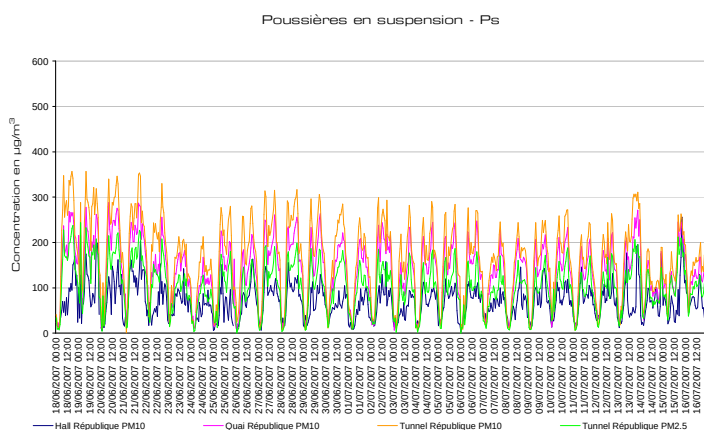
Site	Concentrations en µg/m ³		
	Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Hall République (PM10)	70	256 le 15/07/2007 à 20h00	107 le 21/06/2007
Quai République (PM10)	136	289 le 20/06/2007 à 08h00	190 le 21/06/2007
Tunnel République (PM10)	168	357 le 18 à 17h00 et le 19/06/2007 à 08h00	232 le 19/06/2007
Tunnel République (PM2,5)	102	244 le 19/06/2007 à 02h00	147 le 19/06/2007
Hall Eurotéléport (PM10)	38	314 le 16/07/2007 à 20h00	66 le 13/07/2007
Quai Eurotéléport (PM10)	45	151 le 13/07/2007 à 18h00	76 le 14/07/2007
Tunnel Eurotéléport (PM10)	69	268 le 21/06/2007 à 18h00	104 le 14/07/2007
Lille Faidherbe (PM10)	20	51 le 19/06/2007 à 08h00	36 le 19/06/2007
Lille Faidherbe (PM2,5)	7	26 le 15/07/2007 à 00h00	12 le 16/07/2007
Lille Fives (PM10)	21	113 le 05/07/2007 à 08h00	32 le 05/07/2007
Marcq-en-Baroeul (PM10)	20	78 le 22/06/2007 à 12h00	34 le 19/06/2007

Phase II :

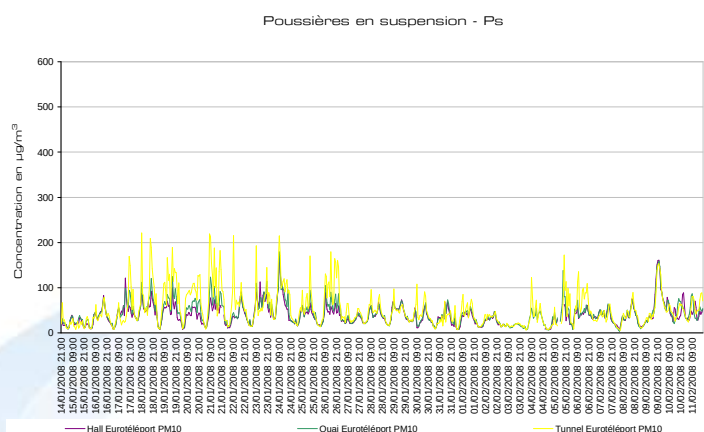
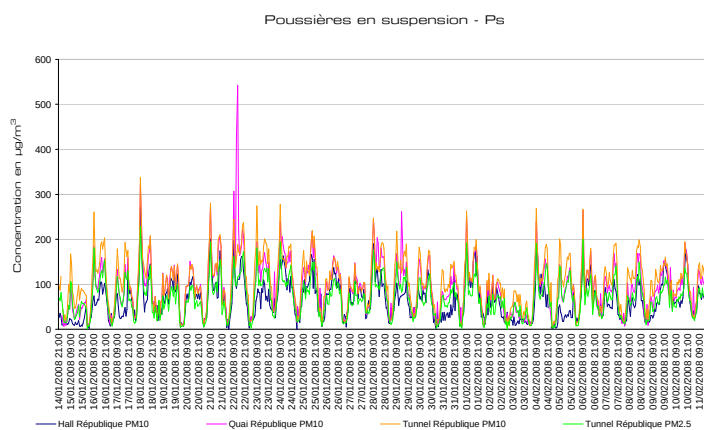
Site	Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Hall République (PM10)	65	271 le 18/01/2008 à 09h00	96 le 24/01 et le 01/02/2008
Quai République (PM10)	93	542 le 22/01/2008 à 13h00	156 le 22/01/2008
Tunnel République (PM10)	105	338 le 18/01/2008 à 09h00	136 le 24/01/2008
Tunnel République (PM2,5)	70	228 le 18/01/2008 à 09h00	93 le 22/01/2008
Hall Eurotéléport (PM10)	40	166 le 24/01/2008 à 09h00	62 le 24/01/2008
Quai Eurotéléport (PM10)	43	180 le 24/01/2008 à 09h00	68 le 24/01/2008
Tunnel Eurotéléport (PM10)	52	222 le 18/01/2008 à 09h00	94 le 21/01/2008
Lille Faidherbe (PM10)	29	75 le 24/01/2008 à 23h00	49 le 24/01 et le 05/02/2008
Lille Faidherbe (PM2,5)	12	38 le 05/02/2008 à 12h00	21 les 01 et 03/02/2008
Lille Fives (PM10)	29	79 le 05/02/2008 à 12h00	51 le 24/01/2008
Marcq-en-Baroeul (PM10)	31	152 le 26/01/2008 à 11h00	66 le 24/01/2008

Evolutions des moyennes horaires :

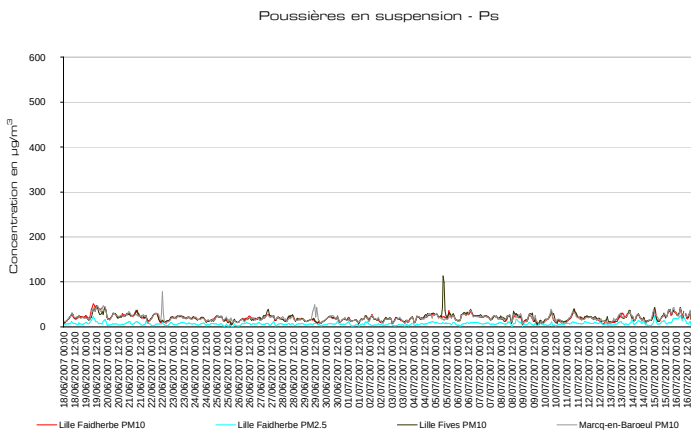
Phase I :



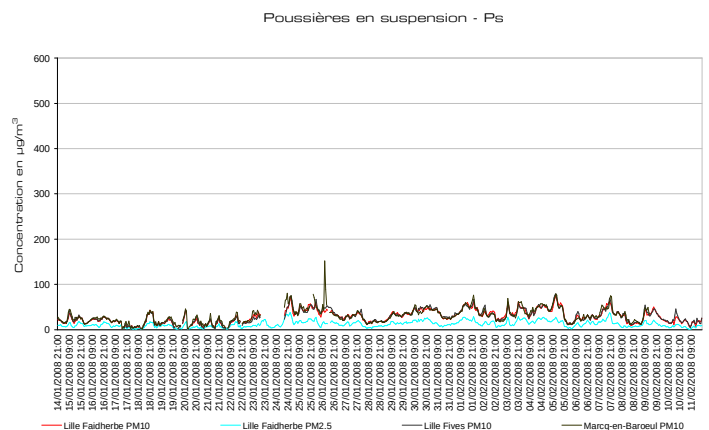
Phase II :



Phase I :



Phase II :



Globalement, durant toute la campagne de mesures, les concentrations en PM10 mesurées sur les 3 sites intérieurs de la station de Lille République étaient de 1,6 à 3,1 fois supérieures à celles relevées sur les sites de la station Eurotéléport. La différence de fréquentation et de ventilation entre les stations de Lille et de Roubaix (fréquentation et confinement plus importants à Lille République), en sont les principales causes. Les déplacements des voyageurs brassent l'air remettant ainsi en suspension les particules émises.

Par ailleurs, les maxima journaliers de $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $187 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés sur le quai et dans le hall de la station République, obtenus le 21 Juin 2007 en phase estivale, se justifient par la fréquentation plus importante ce jour de fête de la musique. D'autres valeurs maximales ont été obtenues à cause d'une forte fréquentation du métro et du nombre plus important des rames en circulation :

- Le 21 Juin, dans le tunnel Eurotéléport a été atteint le maxima horaire de $267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 18h00,
- Le 14 Juillet, fête Nationale, sur le quai et dans le tunnel d'Eurotéléport, ont été atteints les maxima journaliers.

De plus, dans le tunnel République, les pointes horaires enregistrées le 19 Juin 2007 ont été occasionnées par les travaux effectués dans la nuit, et par le passage de la motrice diesel (entre 01h00 et 04h00). D'autre part, on peut supposer que ces activités émettent des PM2,5 de manière non négligeable puisqu'il a été relevé un pic de concentration de $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 02h00.

La mise en fonctionnement du ventilateur dans les tunnels et précisément celui de la station République, a impliqué une augmentation des teneurs de particules, et ce notamment le 18 Janvier de 08H00 à 08H48.

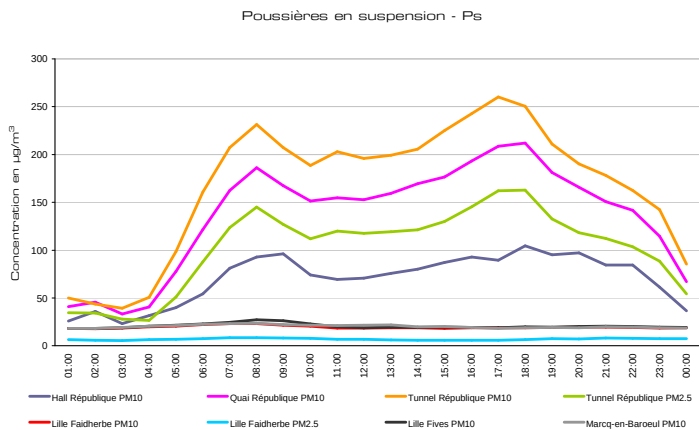
Si on compare les évolutions des concentrations en poussières mesurées par les stations fixes et celles mesurées dans les 2 stations de métro, on constate qu'elles ne sont pas similaires. En effet, les pics de concentrations obtenus dans les stations de métro ne se reflètent pas sur les profils des concentrations en poussières relevées à l'extérieur. La variation des concentrations est cadencée par le fonctionnement du métro ; la différence jour/nuit est aussi bien marquée.

Enfin, d'après les évolutions des moyennes horaires mesurées dans les stations de métro, en phase estivale, les niveaux en poussières sont plus élevés qu'en hiver 2008, notamment dans les tunnels. Les conditions météorologiques n'ont que peu d'impact sur les niveaux concentrations intérieures, contrairement à ceux de l'air ambiant. A l'inverse, les stations fixes présentent des concentrations plus importantes en hiver qu'en été. Pour les stations de métro, les sources intérieures prédominent sur les sources extérieures.

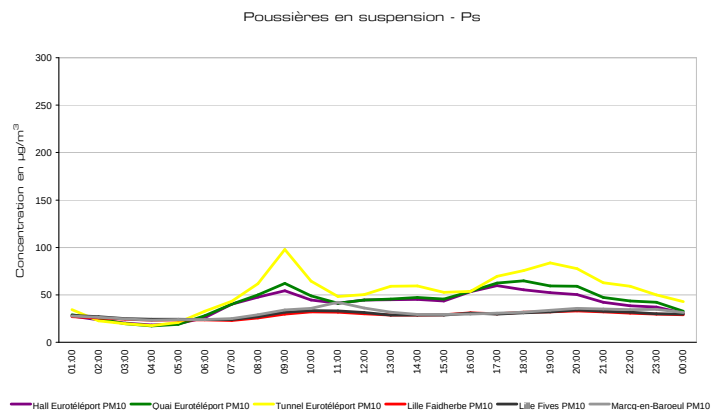
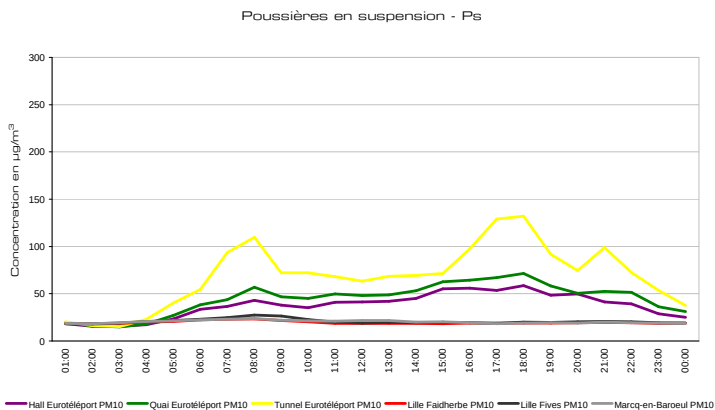
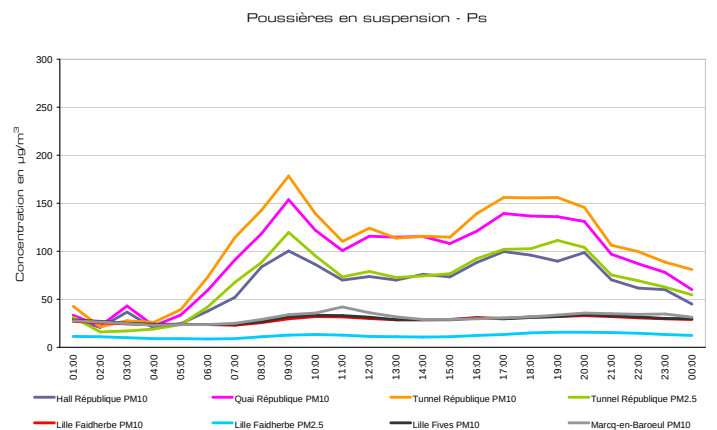
Concernant la réglementation, la valeur limite de moyenne exposition (soit sur 8 heures) en atmosphère de travail pour les poussières dont le diamètre est inférieur à $10 \mu\text{m}$, a bien été respectée sur la totalité des sites intérieurs de la campagne. Cependant, pour des temps d'exposition aux PM10 de 01h30, 01h45, 02h00 et 02h15, les concentrations mesurées sur le quai de la station République ne respectent pas les valeurs guides données par le CSHPF en 2005, et ce notamment en phase hivernale. Le graphe mettant en évidence le non respect de la réglementation à la station République est représenté en annexe.

Profils journaliers :

Phase I :



Phase II :



Les profils mettent en évidence des niveaux en poussières dans les stations République et Eurotéléport supérieurs à ceux relevés dans les stations fixes à partir de 05h00 jusqu'à minuit (période pendant laquelle les rames circulent). Pendant la période d'arrêt des rames, les niveaux relevés à l'extérieur et à l'intérieur du métro sont très proches. Ceci prouve que la circulation des rames entraîne l'émission de poussières.

Par ailleurs, on constate 2 augmentations franches des niveaux de poussières dans les stations de métro, vers 09h00 et en fin d'après-midi. L'établissement des profils journaliers confirme la corrélation entre l'augmentation de la fréquentation des voyageurs dans le métro et les niveaux des poussières en suspension. Sur les stations fixes, les concentrations en poussières n'augmentant pas de manière aussi importante que dans le métro aux heures de pointes, on peut en déduire que bien qu'il existe une influence des activités extérieures sur les niveaux des poussières dans le métro, la source prédominante des particules en suspension est propre à l'exploitation du métro.

Lors de la phase I, des problèmes techniques ont occasionné des arrêts inexpliqués des matériels pour l'échantillonnage des métaux lourds. Les mesures de certaines semaines n'ont pas pu être obtenues.

Moyennes durant la campagne de mesures :

Phase I :

Période	Site	Concentrations en ng/m ³				
		Chrome (Cr)	Manganèse (Mn)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)
du 18 au 25/06/07	Quai République	160.0	430.0	49002.0	3600.0	270.0
	Quai Eurotéléport	47.6	94.2	10942.7	724.2	168.7
du 25/06 au 02/07/07	Quai République					
	Quai Eurotéléport	53.7	99.5	12436.8	736.3	159.2
du 02 au 09/07/07	Quai République					
	Quai Eurotéléport	47.6	93.3	10912.7	734.1	129.0
du 09 au 16/07/07	Quai République					
	Quai Eurotéléport					
Moyenne Phase I	Quai République	160.0	430.0	49002.0	3600.0	270.0
	Quai Eurotéléport	49.6	95.7	11430.7	731.5	152.3

Période	Site	Concentrations en ng/m ³			
		Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Plomb (Pb)	Nickel (Ni)
du 18 au 25/06/07	Quai République	9.6	0.7	28.0	50.0
	Quai Eurotéléport	1.2	0.4	8.9	11.9
	Marcq-en-Baroeul	0.4	0.1	5.6	1.8
du 25/06 au 02/07/07	Quai République				
	Quai Eurotéléport	1.4	0.3	9.4	12.9
	Marcq-en-Baroeul	0.5	0.3	10.3	1.5
du 02 au 09/07/07	Quai République				
	Quai Eurotéléport	1.4	0.3	6.3	11.9
	Marcq-en-Baroeul				
du 09 au 16/07/07	Quai République				
	Quai Eurotéléport				
	Marcq-en-Baroeul	0.9	0.2	11.1	2.0
Moyenne Phase I	Quai République	9.6	0.7	28.0	50.0
	Quai Eurotéléport	1.3	0.3	8.2	12.2
	Marcq-en-Baroeul	0.6	0.2	9.0	1.8

Phase II :

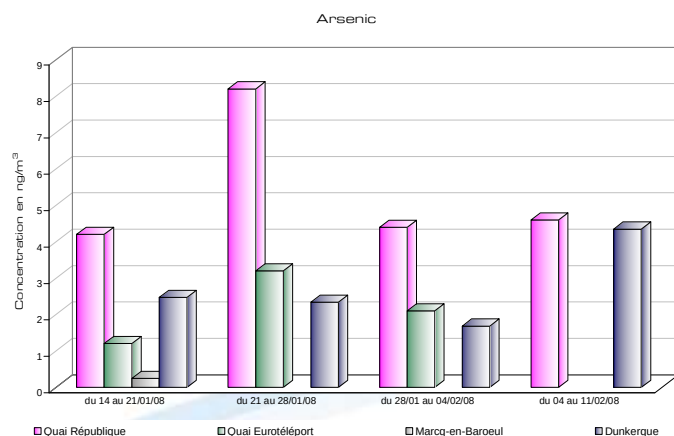
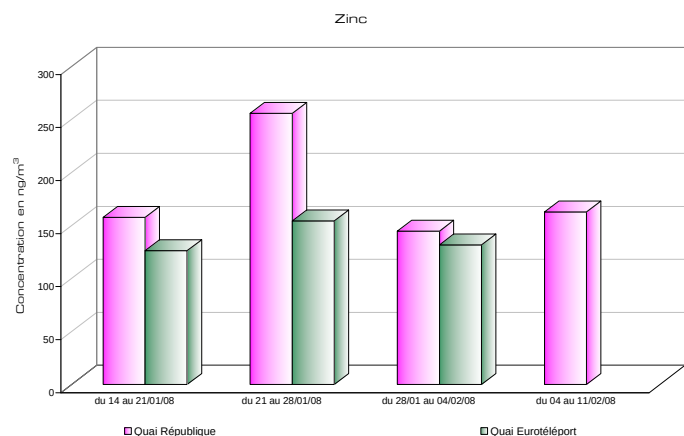
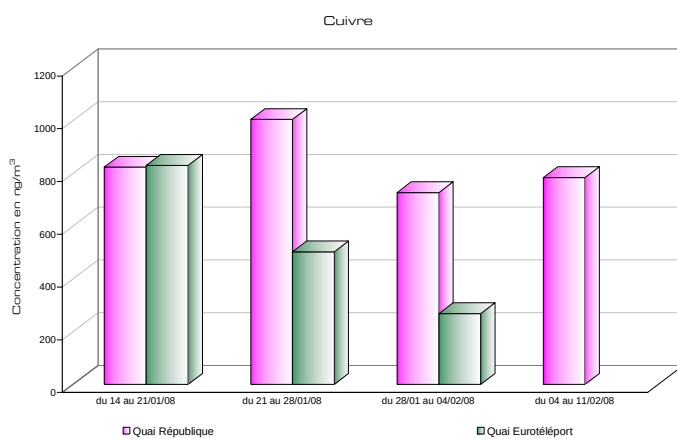
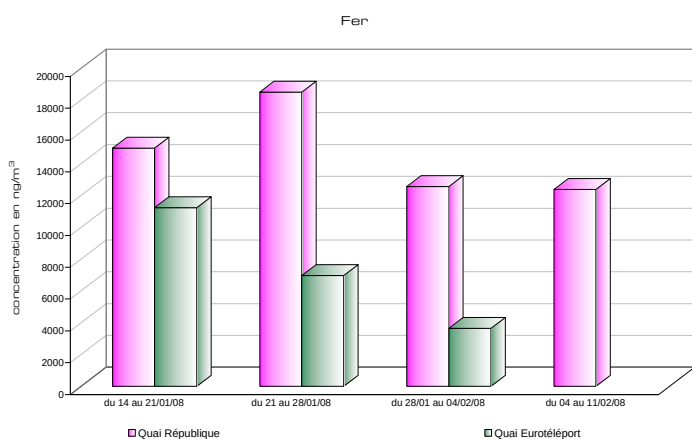
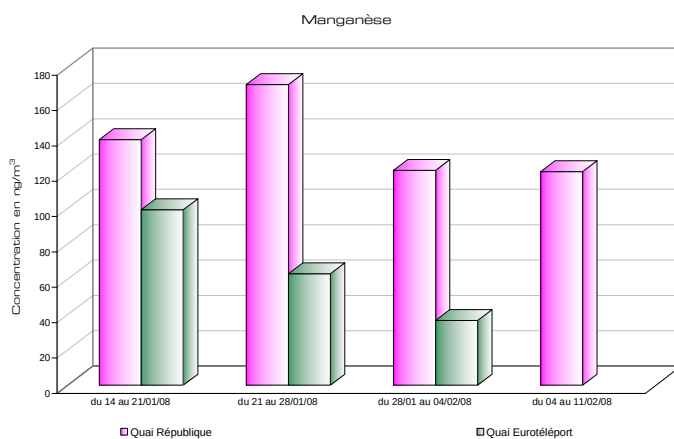
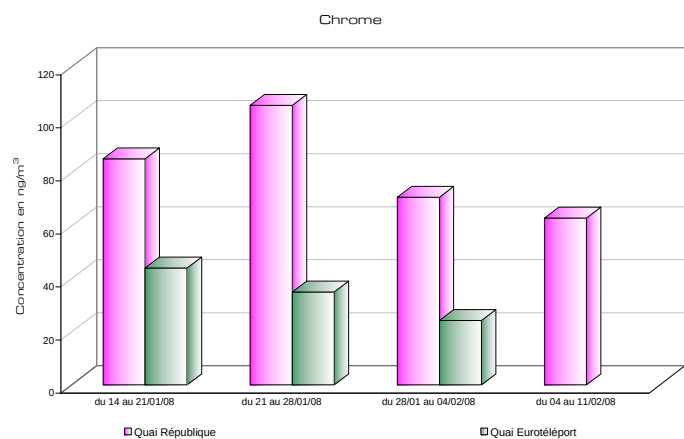
Période	Site	Concentrations en ng/m ³				
		Chrome (Cr)	Manganèse (Mn)	Fer (Fe)	Cuivre (Cu)	Zinc (Zn)
du 14 au 21/01/08	Quai République	85.3	138.9	14980	823.4	157.7
	Quai Eurotéléport	44.1	99.3	11231	830.3	126.3
du 21 au 28/01/08	Quai République	105.4	170.1	18499	1004.5	255.6
	Quai Eurotéléport	35.0	63.1	6967	502.5	154.2
du 28/01 au 04/02/08	Quai République	70.8	121.6	12558	727.6	144.5
	Quai Eurotéléport	24.3	36.5	3633	268.5	131.7
du 04 au 11/02/08	Quai République	62.9	120.8	12384	784.0	162.8
	Quai Eurotéléport					
Moyenne Phase II	Quai République	81.1	137.9	14605	834.9	180.1
	Quai Eurotéléport	25.9	66.3	7277	533.8	137.4

Période	Site	Concentrations en ng/m ³			
		Arsenic (As)	Cadmium (Cd)	Plomb (Pb)	Nickel (Ni)
du 14 au 21/01/08	Quai République	4.2	0.3	12.9	36.7
	Quai Eurotéléport	1.2	0.2	8.2	10.0
	Marcq-en-Baroeul	0.24	0.21	8.03	0.95
	Dunkerque	2.47	1.57	19.27	49.97
du 21 au 28/01/08	Quai République	8.2	0.3	23.9	57.7
	Quai Eurotéléport	3.2	0.3	15.0	11.0
	Dunkerque	2.34	2.04	33.55	36.55
du 28/01 au 04/02/08	Quai République	4.4	0.2	16.0	38.9
	Quai Eurotéléport	2.1	92.2*	15.2	8.5
	Dunkerque	1.68	1.46	24.27	11.98
du 04 au 11/02/08	Quai République	4.6	0.4	25.0	37.0
	Quai Eurotéléport				
	Dunkerque	4.35	1.18	26.99	14.24
Moyenne Phase II	Quai République	5.4	0.3	19.5	42.6
	Quai Eurotéléport	2.2	0.3	12.8	9.8
	Dunkerque	2.71	1.56	26.02	28.18

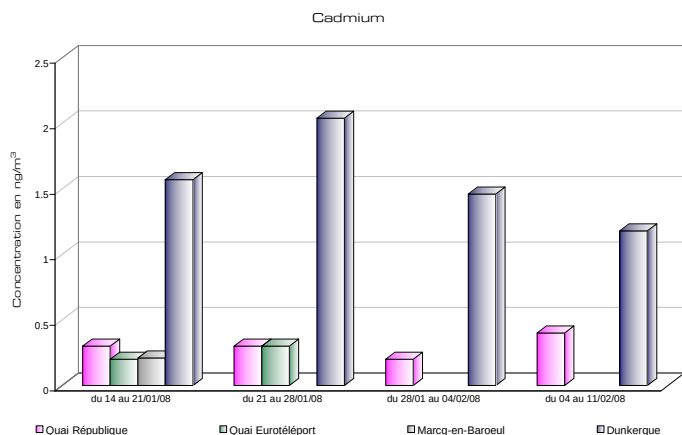
* la valeur de 92.2 µg/m³ semble un peu trop élevée, en comparaison avec les valeurs retrouvées les autres semaines sur le même site mais également sur ceux de Lille et Dunkerque. Pour cette raison, cette valeur n'a pas été prise en compte dans l'interprétation des résultats. Aucune source n'a été identifiée, pouvant expliquer cette valeur élevée.

Evolutions des moyennes hebdomadaires :

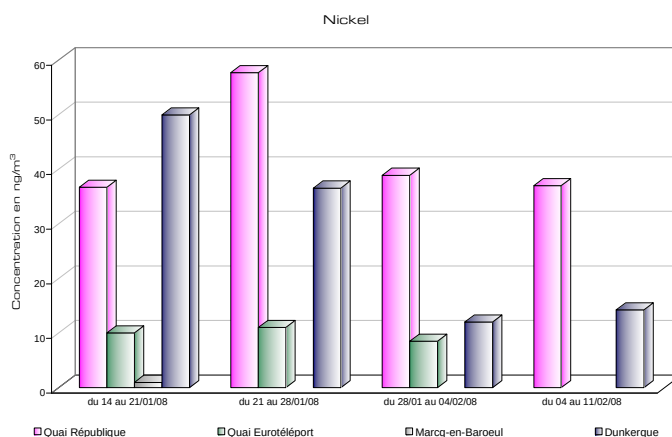
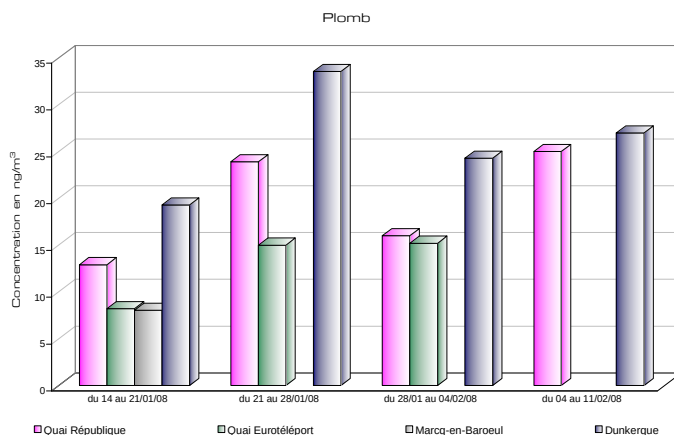
Etant donné qu'un grand nombre de mesures n'ont pu être effectuées lors de la phase I, seules les données de la **phase II** ont été interprétées.



Phase I :



Phase II :



L'analyse non exhaustive de la composition chimique des particules rencontrées dans le métro, montre que l'un des constituants majeurs est le fer. Pour tous les métaux lourds explorés, les concentrations observées sur le quai de la station République sont restées supérieures à celles mesurées sur le quai de la station de Roubaix Eurotéléport, et ce, en moyenne comme en valeur maximale. La station de Lille République présente de 42 à 76 % de teneurs plus élevées. L'écart reste conséquent pour les polluants, zinc, plomb et cuivre. Par comparaison avec le site extérieur de Dunkerque, les valeurs moyennes de la station de Lille République restent également supérieures pour l'arsenic et le plomb.

Les concentrations en métaux lourds ont évolué différemment semaine après semaine sur les trois sites. Concernant la station de Roubaix, on observe une décroissance régulière des teneurs de Cr, Mn, Fe et Cu, à l'inverse de la station de Lille qui enregistre les teneurs maximales lors de la deuxième semaine. Par contre, pour le zinc et le nickel, une hausse des concentrations a été relevée lors de la deuxième semaine sur les deux stations de métro.

L'évolution des concentrations par rapport à la station de Dunkerque est mitigée pour les métaux réglementés. Pour Dunkerque, les valeurs maximales d'arsenic et de nickel sont observées lors de la semaine 1 tandis que le plomb et le cadmium constatent leur maximum lors de la semaine 2. A l'exception du plomb dont le maximum est remarqué en semaine 3, les teneurs des deux stations de métro respectent les mêmes variations et notent leur maximum lors de la deuxième semaine de mesure. Ces résultats montrent que les concentrations varient surtout en fonction des émissions, essentiellement produites par le fonctionnement du métro (freinage) et ne semblent pas être influencées par les émissions extérieures.

Analyses spécifiques

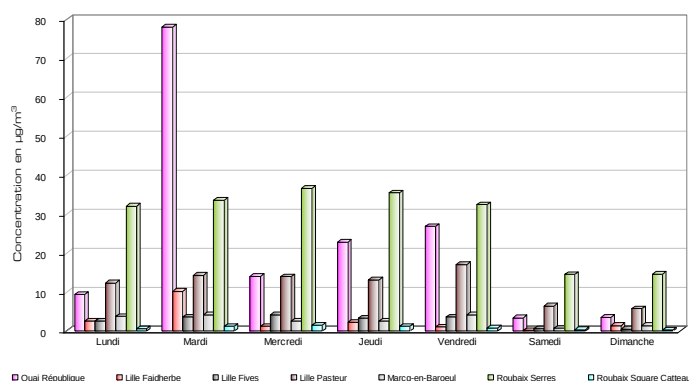


Evolution des concentrations en week-end

Afin de distinguer l'impact des activités de la population aux abords et à l'intérieur du métro de Lille, et ce particulièrement aux abords et à l'intérieur des stations de Lille République et de Roubaix Eurotéléport, sur les niveaux des concentrations de polluants constatés durant les week-ends, des profils hebdomadaires ont été réalisés. Les polluants atmosphériques concernés par cette analyse spécifique sont le NO, NO₂, SO₂, CO et les poussières en suspension.

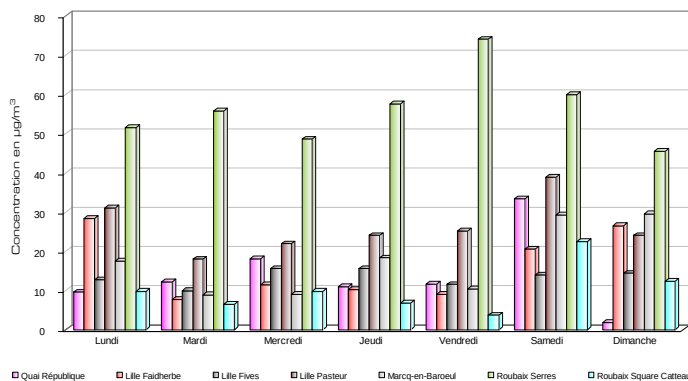
Phase I :

Monoxyde d'azote - NO

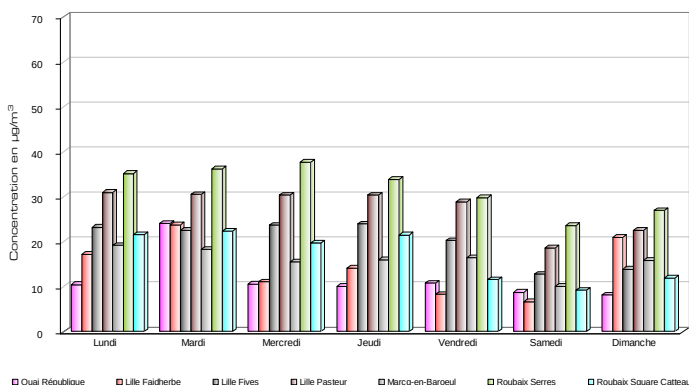


Phase II :

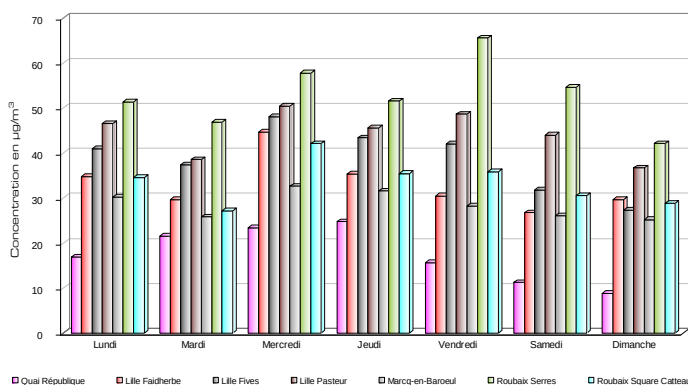
Monoxyde d'azote - NO



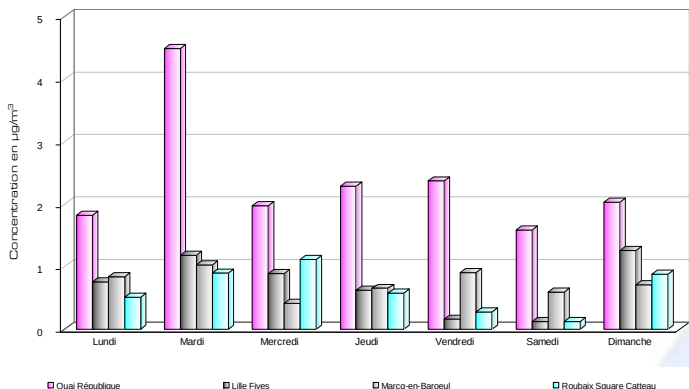
Dioxyde d'azote - NO₂



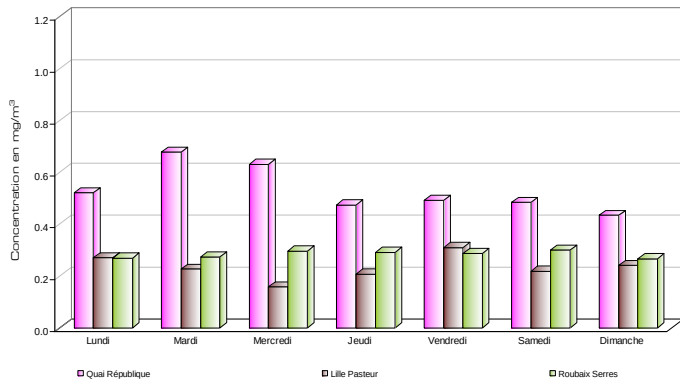
Dioxyde d'azote - NO₂



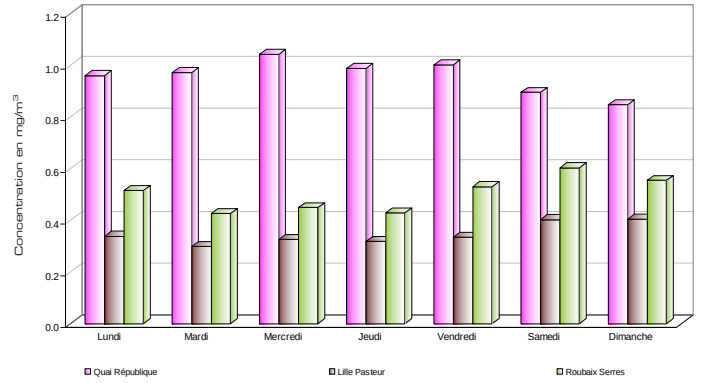
Dioxyde de soufre - SO₂



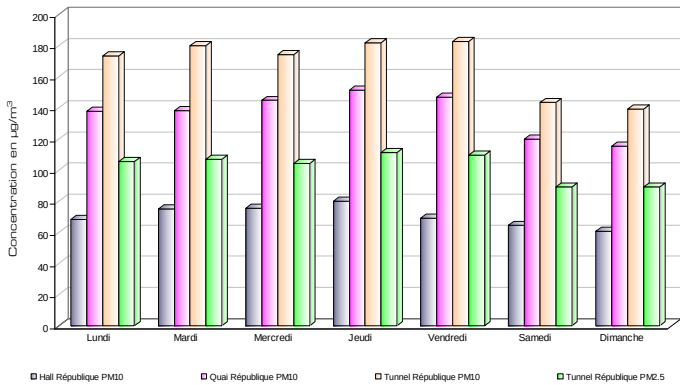
Monoxyde de carbone - CO



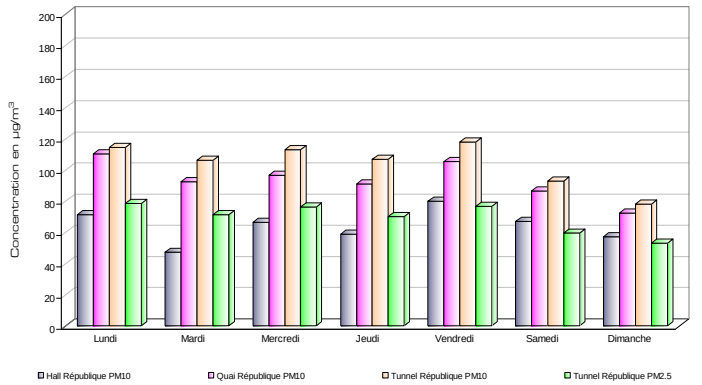
Monoxyde de carbone - CO



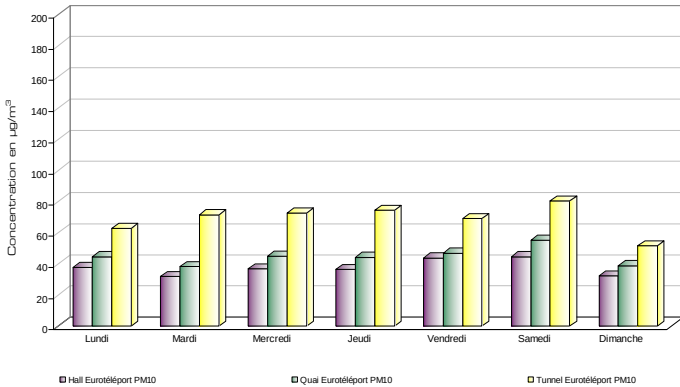
Poussières en suspension - Ps



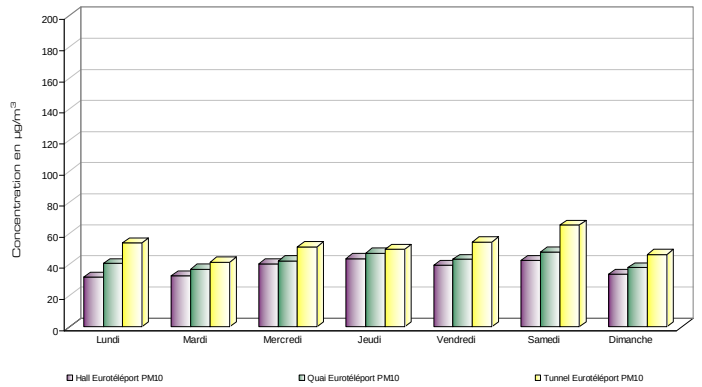
Poussières en suspension - Ps



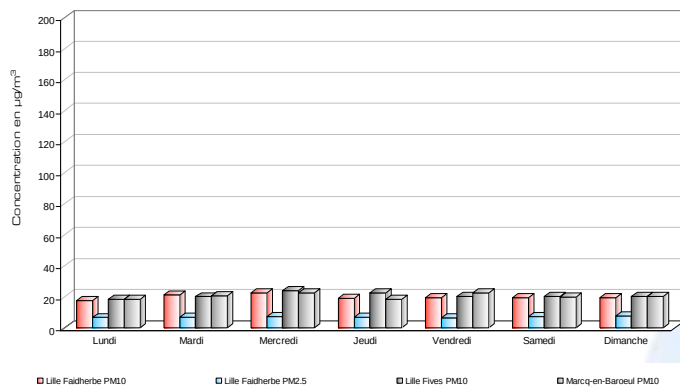
Poussières en suspension - Ps



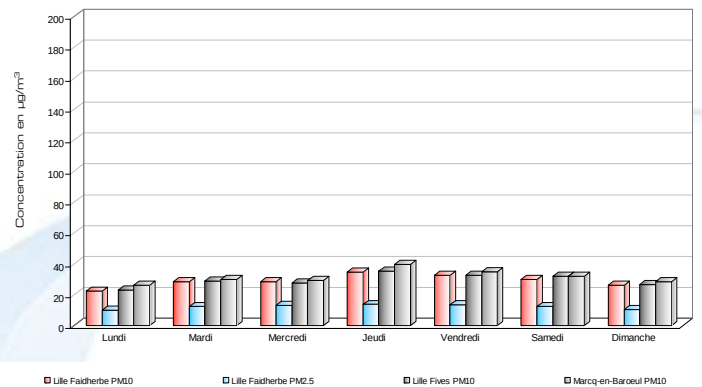
Poussières en suspension - Ps



Poussières en suspension - Ps



Poussières en suspension - Ps



Globalement, en isolant les pics du mardi en phase estivale pour les polluants NO, NO₂, SO₂ et CO, il n'est pas observé de différence significative des concentrations des polluants entre les jours en semaine. A noter que ces pics sont dus au fonctionnement de la motrice Diesel dans le tunnel République les mardis 19 et 26 Juin et les 3 et 17 Juillet 2007.

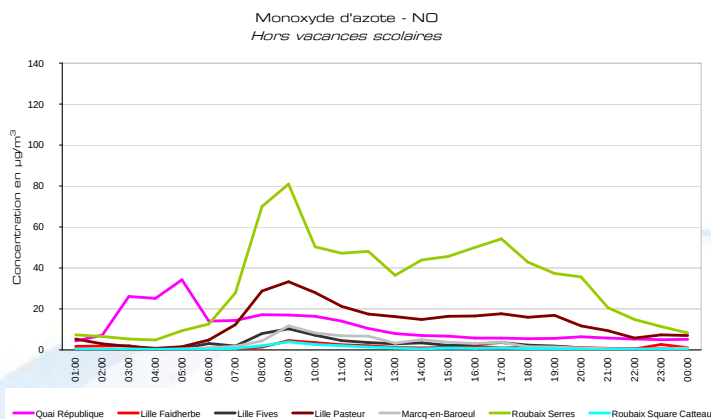
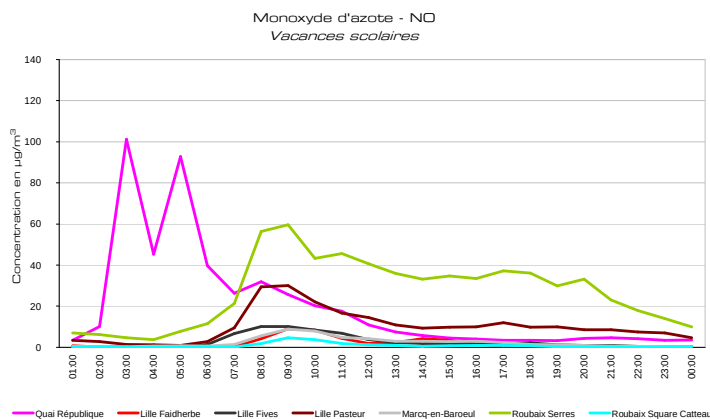
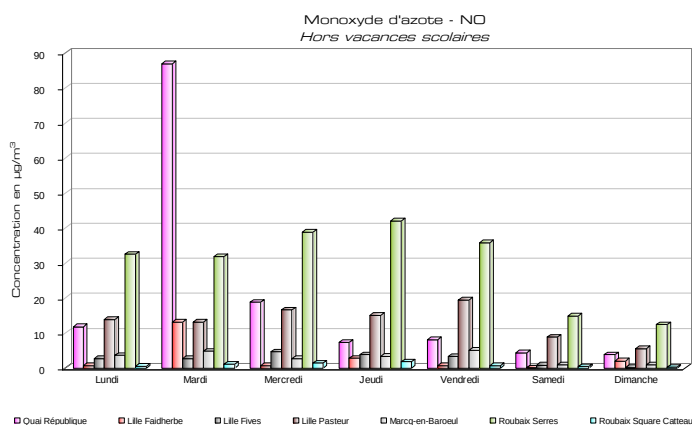
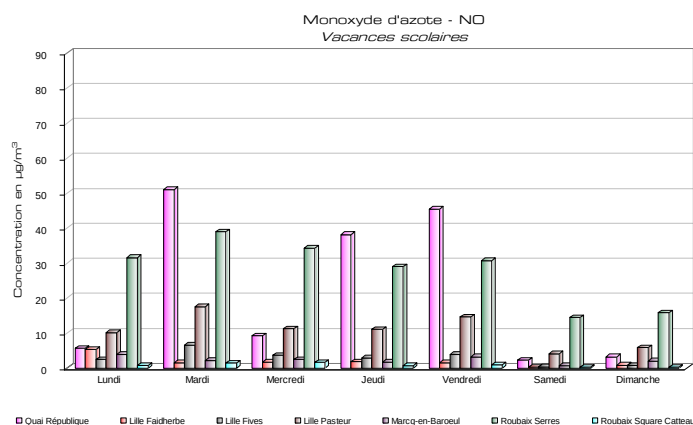
Excepté pour les poussières en suspension dans la station Eurotéléport, la totalité des concentrations des polluants, et ce sur tous les sites intérieurs, sont plus élevées en semaine qu'en week-end. Ce constat prouve que la fréquentation du métro par les voyageurs et la circulation des rames, plus importantes en semaine, influent sur les niveaux des polluants à l'intérieur des stations. L'évolution hebdomadaire des niveaux en poussières relevées dans la station de Roubaix se distingue par des pics observés le samedi. La source est probablement située à l'intérieur de la station, notamment dans le tunnel puisque ces pics n'apparaissent pas sur les profils hebdomadaires des stations fixes.

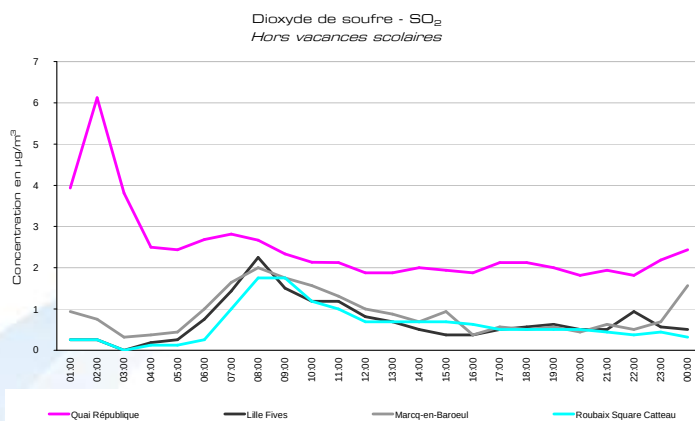
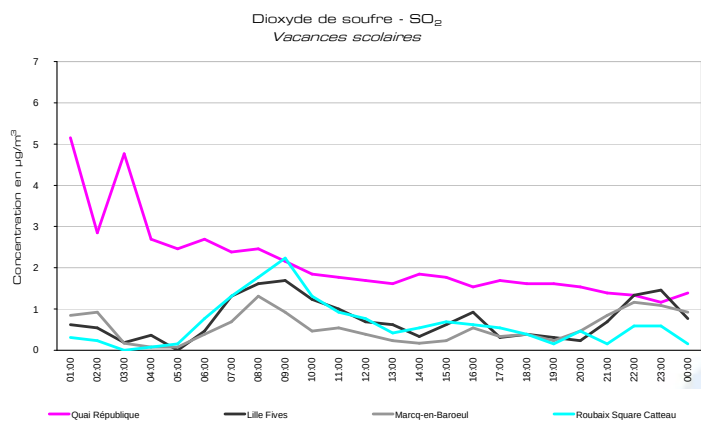
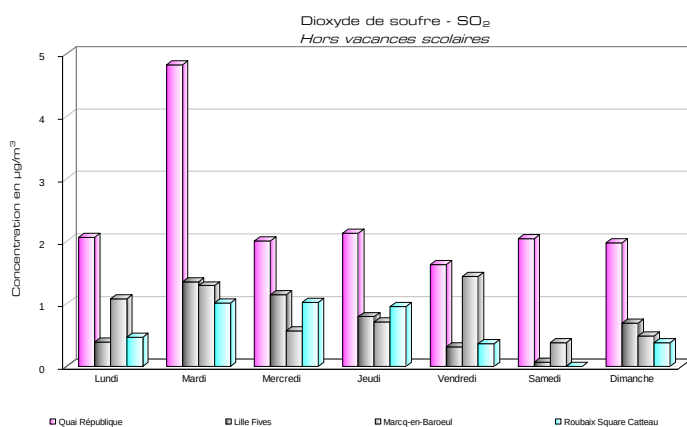
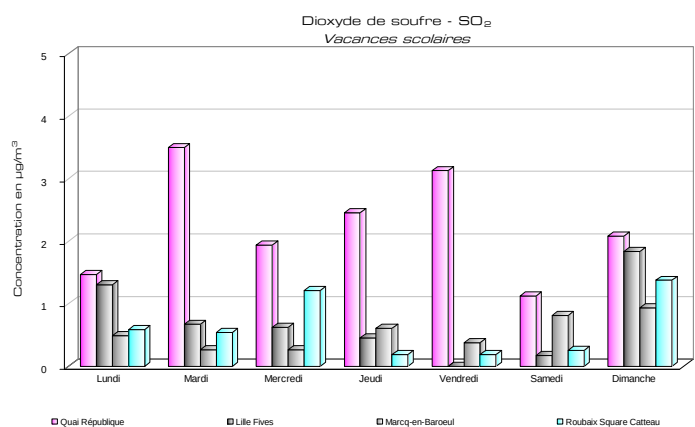
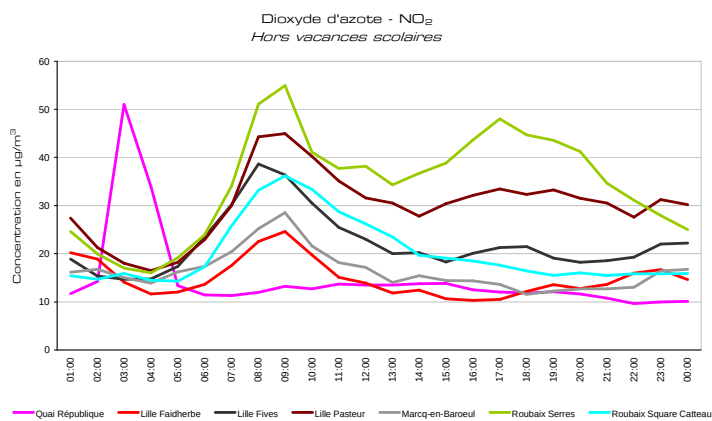
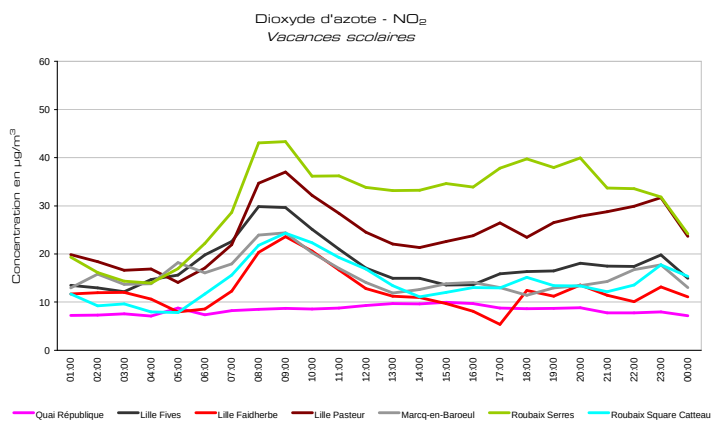
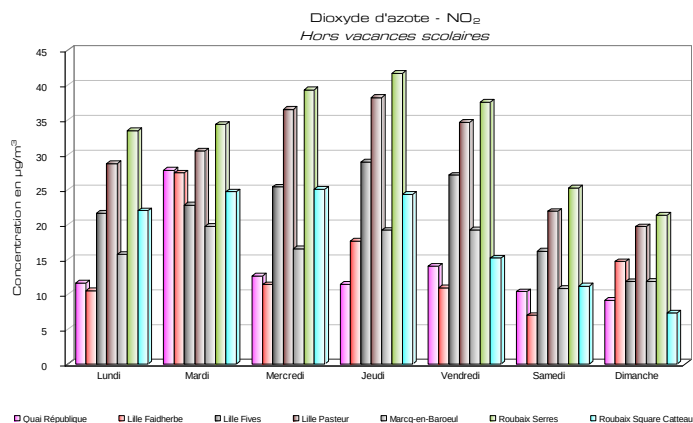
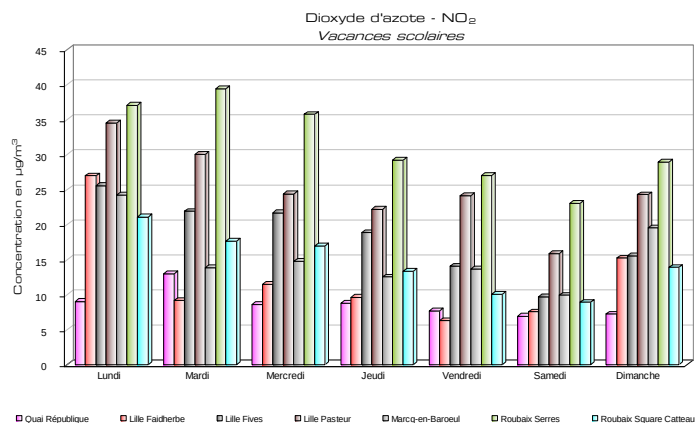
Par comparaison entre les phases, les polluants NO, NO₂ et CO présentent des concentrations plus élevées en hiver qu'en été sur la totalité des sites de mesures. Ceci confirme qu'il existe une saisonnalité entre ces polluants, et qu'ils sont essentiellement issus des sources extérieures, notamment le trafic automobile.

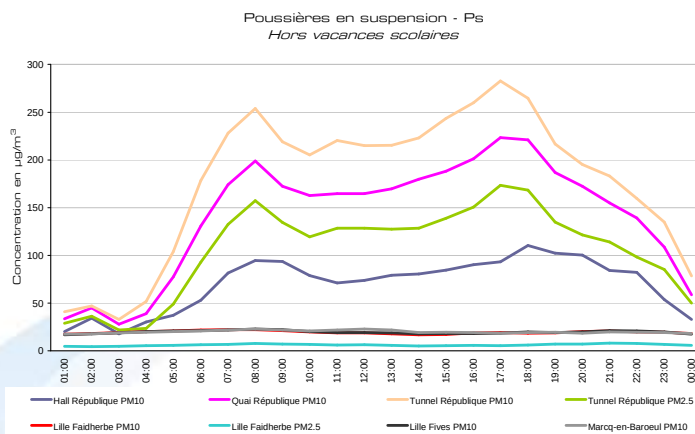
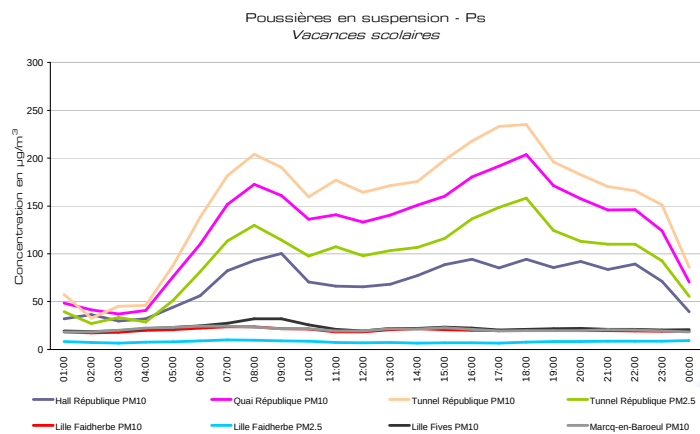
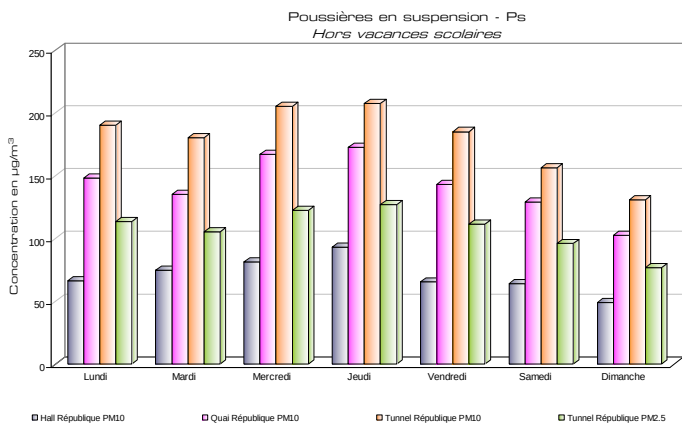
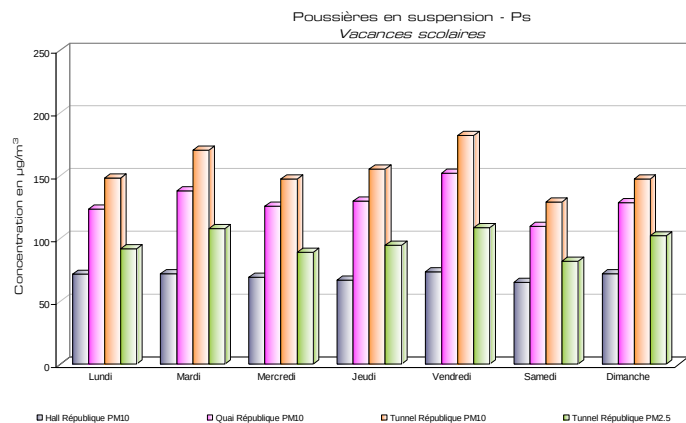
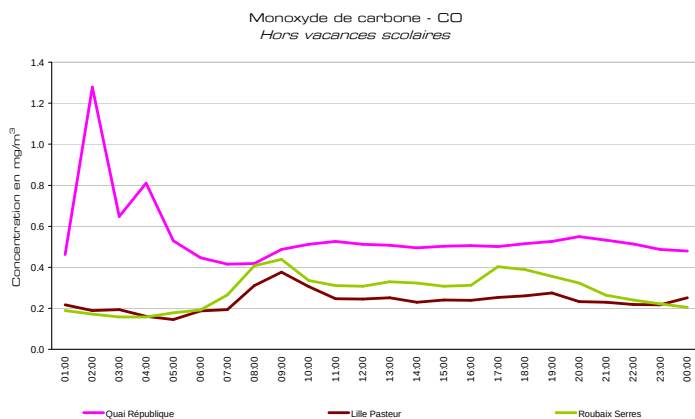
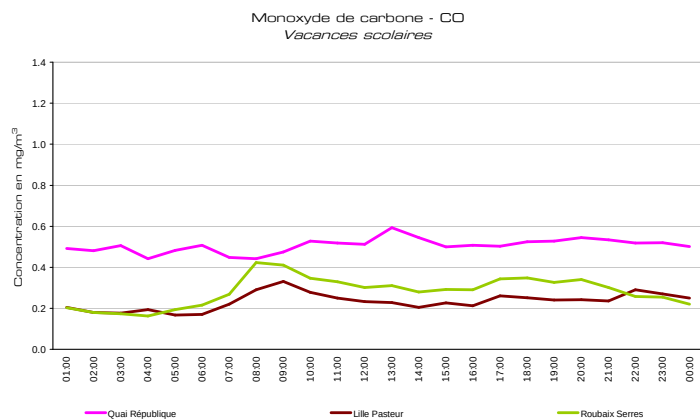
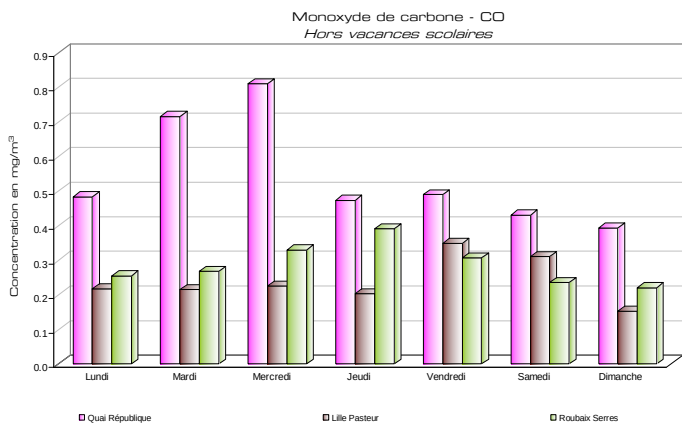
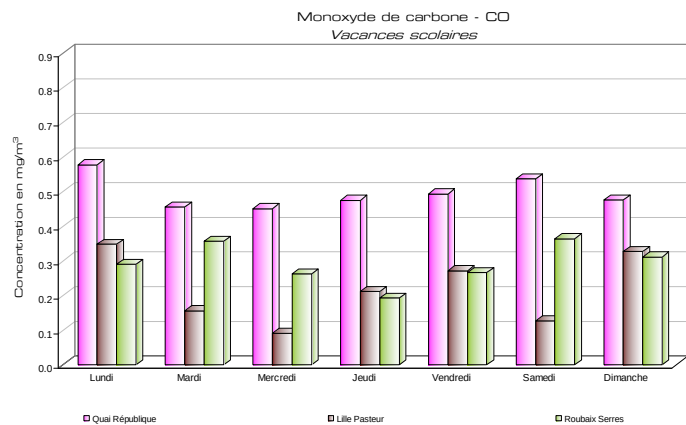


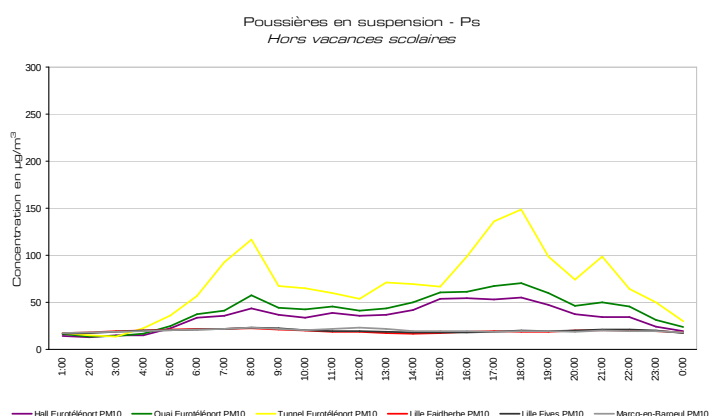
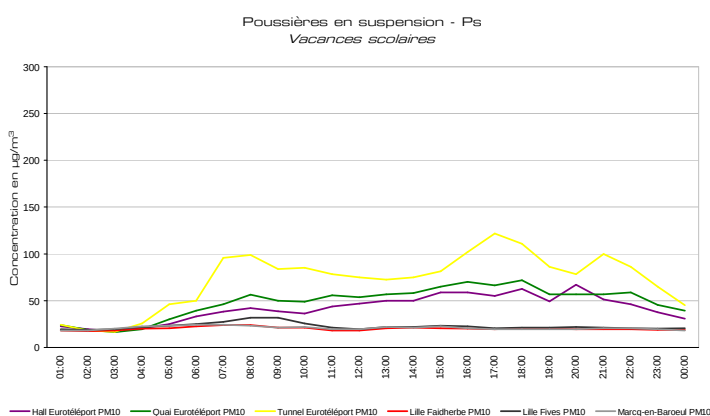
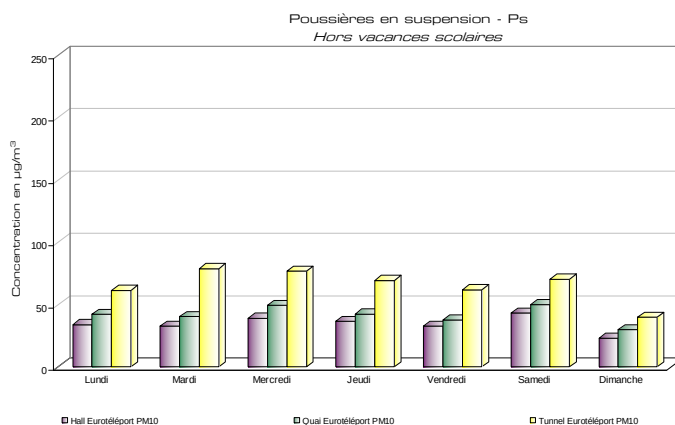
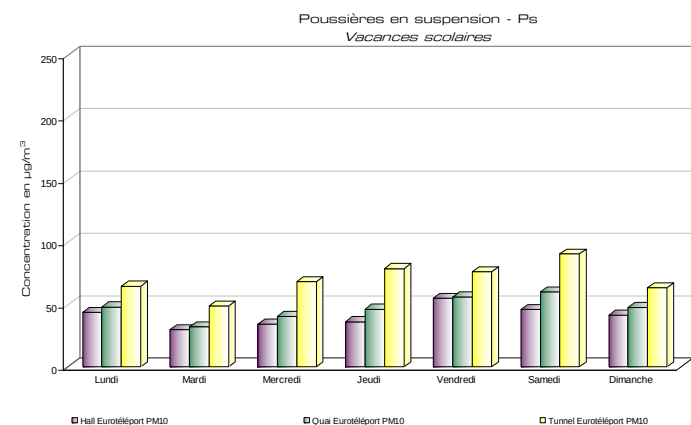
Evolution des concentrations en périodes de vacances scolaires

La réalisation de profils hebdomadaires et journaliers des concentrations des polluants en périodes de vacances scolaires (zone B) et hors vacances scolaires ont également permis d'évaluer l'impact des activités humaines. Seules les données de la **phase I** ont été traitées de cette manière, les vacances d'été 2007 démarrant le 4 Juillet, tandis que celles de l'hiver 2008, le dernier samedi de la période de prélèvements.









Concernant les polluants NO et SO₂, les profils sont globalement similaires que l'on soit en période de vacances scolaires ou non, même si les concentrations mesurées en période de vacances sont moins importantes. A noter que les pics observés sur le quai République les mardi, jeudi et vendredi en période de vacances s'expliquent par le fonctionnement de la motrice Diesel le mardi 10, le jeudi 12 et les vendredis 6 et 13 Juillet 2008. Les pics observés en période hors vacances scolaires, notamment le mardi, ont été obtenus pour la même raison.

Le profil hebdomadaire de la concentration en NO₂ mesurée sur le quai République en période de vacances est semblable à celui en période hors vacances scolaires. On retrouve l'influence de la motrice sur les concentrations en NO₂ sur le quai par la hausse des concentrations, notamment le mardi en période hors vacances (même si l'intensité des pics est plus faible). De plus, une différence significative entre les profils des concentrations relevées par les stations fixes, et ceux des teneurs mesurées dans la station Lille République a été observée. Les sites étudiés présentent donc des sources d'émissions différentes (motrice diesel en intérieur et trafic automobile en air ambiant).

Les polluants NO, NO₂ et SO₂ ont été retrouvés dans des teneurs plus faibles à l'intérieur du métro en période de vacances. Ce constat intègre donc parfaitement la baisse du trafic routier, en cette période et par conséquent l'impact, même minime au regard de l'impact de la motrice, sur la qualité de l'air inhalé par les voyageurs.

Concernant le monoxyde de carbone, une fois encore, les profils hebdomadaires présentent des pics les jours de fonctionnement de la motrice Diesel. En isolant les pics obtenus sur le quai République, de même que pour le dioxyde d'azote, l'évolution des concentrations en CO relevées en période de vacances est similaire à celle des teneurs mesurées en période hors vacances scolaires. Les profils hebdomadaires des sites intérieurs diffèrent des sites extérieurs. Comme le NO₂, le monoxyde de carbone présent dans la station de métro République provient en majeure partie de la motrice Diesel.

Pour les poussières en suspension, d'après les profils hebdomadaires et journaliers, dans la station de Lille République, la baisse de la fréquentation du métro par les voyageurs en période de vacances influe sur les niveaux en poussières. En effet, les concentrations sont moins élevées pendant cette période.

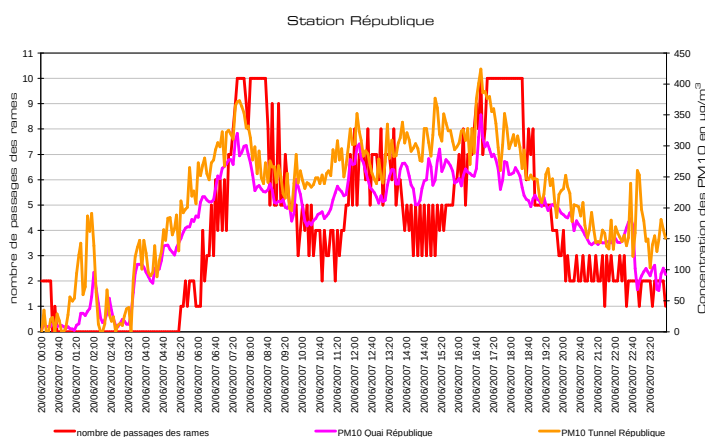
A la station de métro de Roubaix, le constat est différent. Les teneurs journalières sont, sur l'ensemble d'une semaine de vacances, supérieures à celles mesurées en période hors vacances. L'évolution des concentrations horaires sur une journée normale montre des pics plus prononcés aux heures de pointes (principalement à 08h00 et 18h00) que pendant un jour de vacances.

Ces observations montrent que, la station Eurotéléport présente un profil correspondant à des trajets hors domicile-travail/établissement scolaire, à l'inverse, la station de République (moins fréquents en période de vacances scolaires).

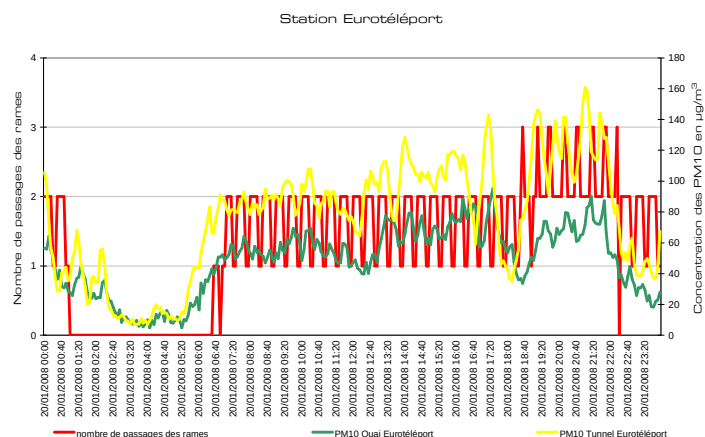
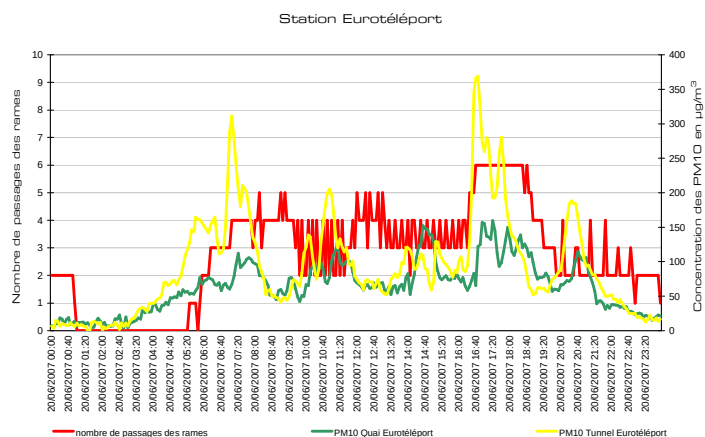
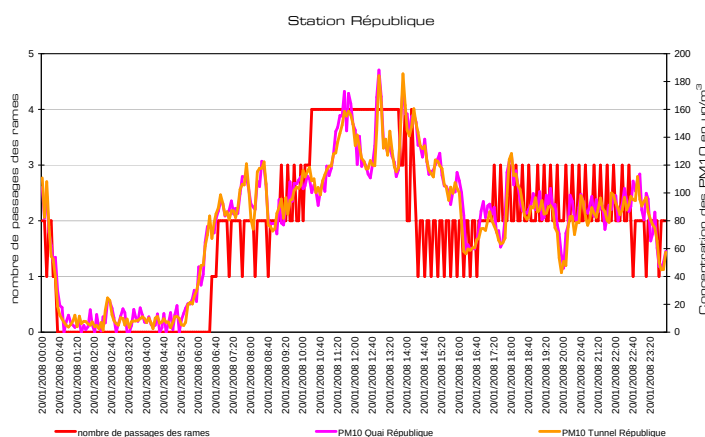


Influence du trafic métro

Phase I :



Phase II :



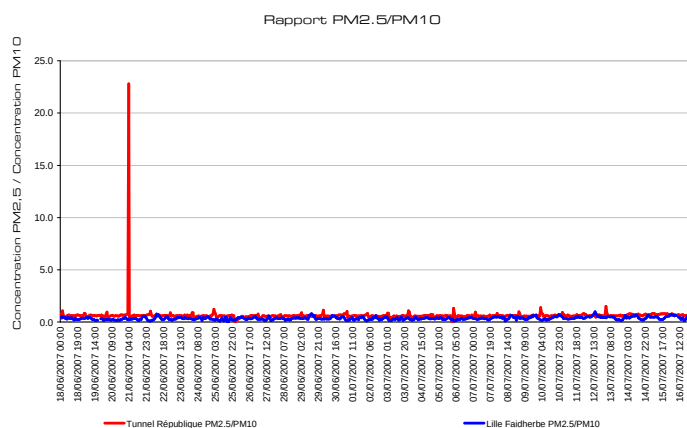
Remarque : la différence des pas de temps des mesures toutes les 5 minutes et des horaires de passages des rames (en seconde) a entraîné un choix dans la synchronisation des deux données. Cependant, des décalages horizontaux des courbes sont donc constatés, notamment sur le graphique de la station Eurotéléport. L'évolution et les valeurs calculées sont, quant à elles, parfaitement vraies.

Les graphiques ci-dessus représentent l'évolution de la concentration des poussières PM10 sur une journée de prélèvements toutes les 5 minutes et en parallèle, l'évolution du nombre de rames circulant sur les lignes 1 et 2.

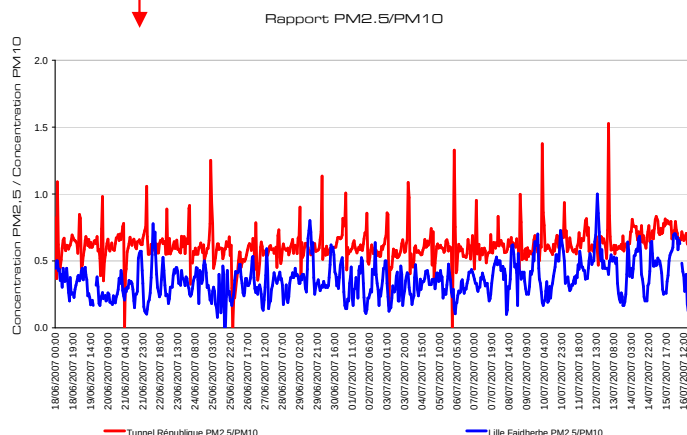
On constate que sur les journées du 20 Juin 2007 et du 20 Janvier 2008, les évolutions des concentrations en PM10 mesurées sur les quais et dans les tunnels des 2 stations de métro ont le même profil que l'évolution du nombre de passages de rames. Plus il y a de rames en circulation sur une ligne, plus les concentrations en poussières augmentent. Ainsi, le passage des rames entraîne la production et la remise en suspension des poussières.



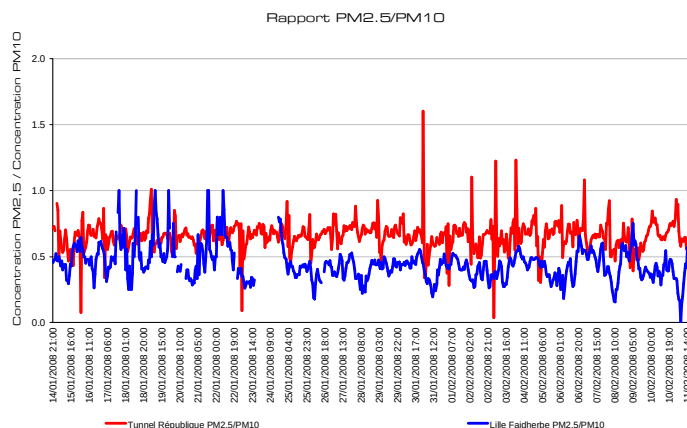
Phase I :



En isolant le pic



Phase II :



D'une manière générale, durant toute la durée de la campagne de mesures, le rapport de la concentration des PM_{2,5} sur celle des PM₁₀ déterminé dans le tunnel de la station République a été supérieur à celui déterminé à l'extérieur, à la station Lille Faidherbe.

Si on isole le pic du rapport PM_{2,5}/PM₁₀ du tunnel datant du 21 Juin 2007 à 03h00, le quotient PM_{2,5}/PM₁₀ est en moyenne égal à 60%, tandis qu'à la station Lille Faidherbe, il est de l'ordre de 40% en moyenne. Le pic observé correspond à une concentration en PM_{2,5} (11 µg/m³) 23 fois supérieure à celle en PM₁₀ (0,5 µg/m³).

En phase hivernale, les profils de la première semaine montrent que le rapport PM_{2,5}/PM₁₀ calculé à la station Lille Faidherbe a été plusieurs fois supérieur à celui du tunnel République. Ce constat se justifie par les conditions climatiques favorisant la mise en suspension des poussières à l'extérieur durant cette période (vent plus fort). Cependant, le rapport PM_{2,5}/PM₁₀ déterminé dans le tunnel est en moyenne de 70% alors que celui de la station fixe est de 40%.

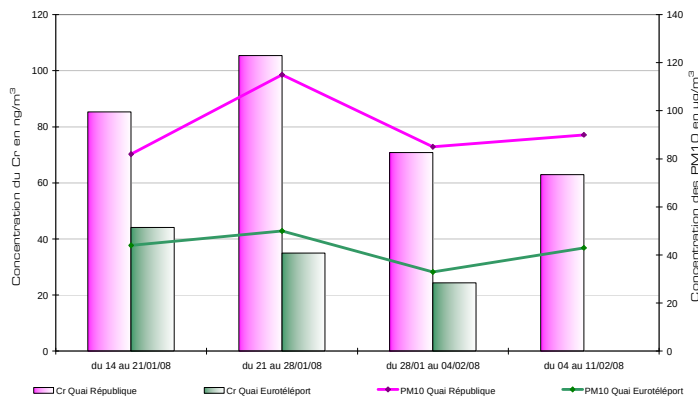
Cette analyse permet de constater que la part des particules fines dont le diamètre est inférieur ou égal à 2.5 µm parmi les PM₁₀ est plus importante à l'intérieur du métro qu'à l'extérieur.



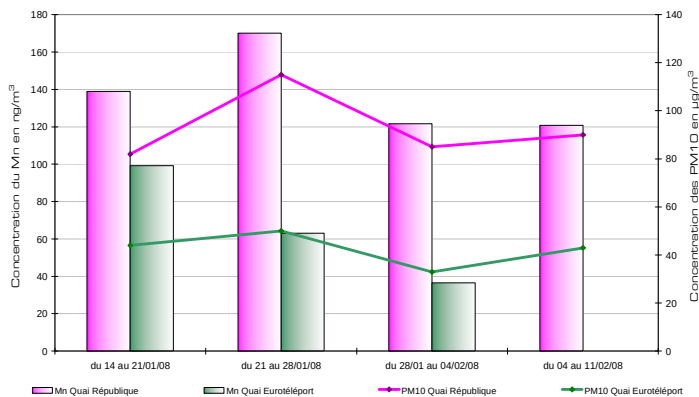
La part des métaux lourds dans les poussières en suspension

Phase II :

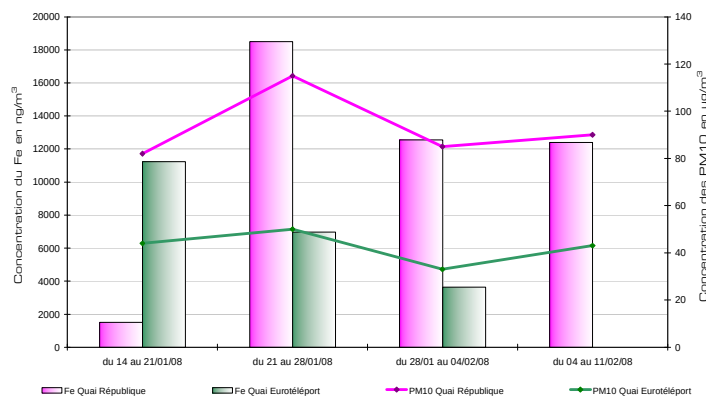
Chrome et Poussières en suspension



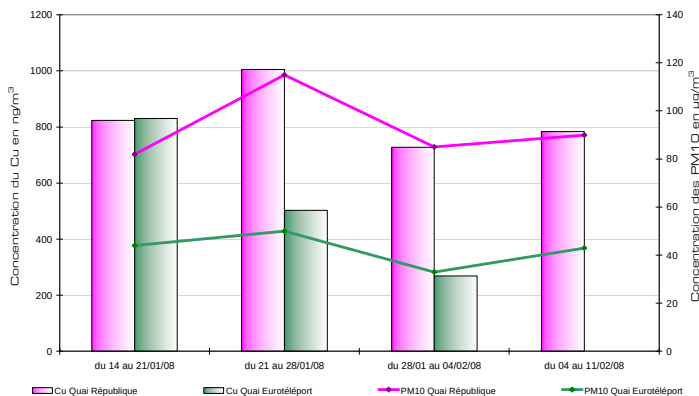
Manganèse et Poussières en suspension



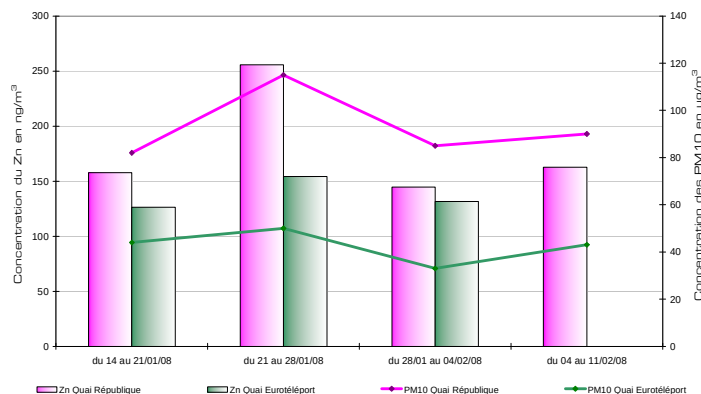
Fer et Poussières en suspension



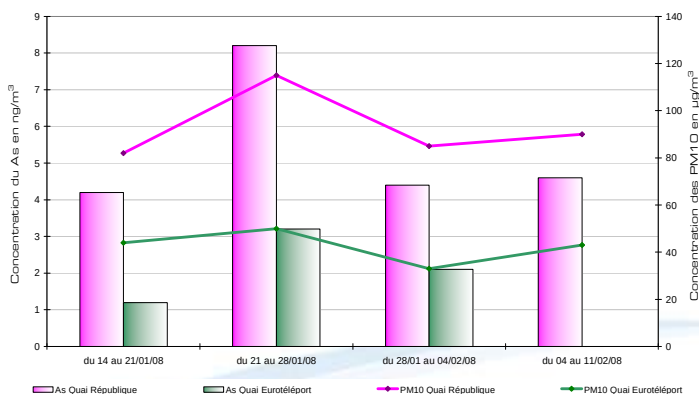
Cuivre et Poussières en suspension



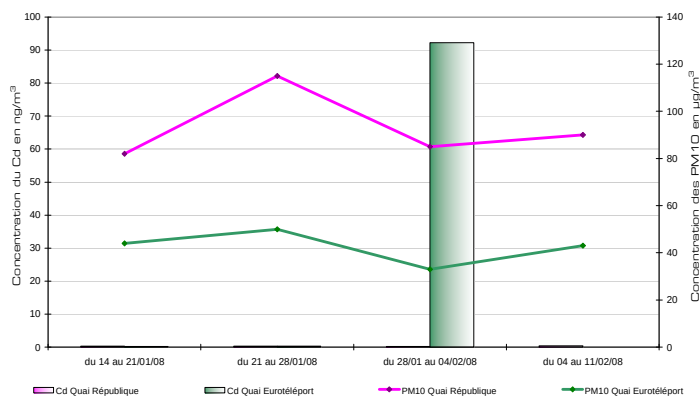
Zinc et Poussières en suspension



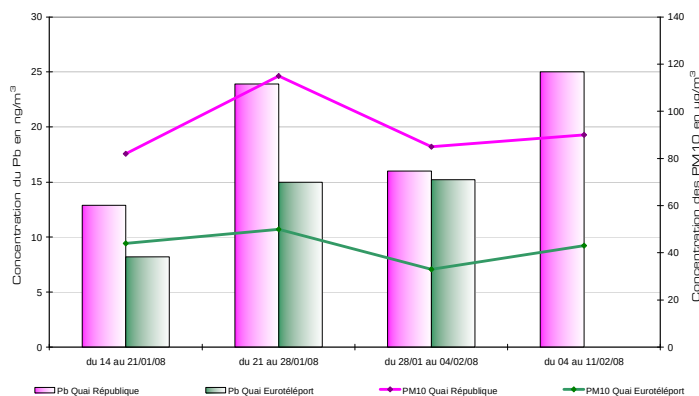
Arsenic et Poussières en suspension



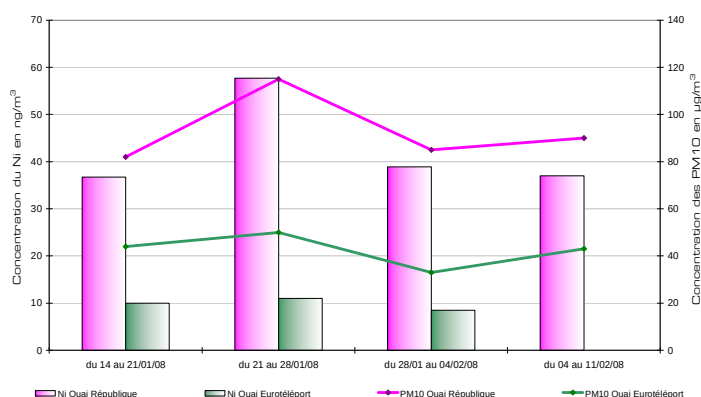
Cadmium et Poussières en suspension



Plomb et Poussières en suspension



Nickel et Poussières en suspension



Mis à part pour le plomb, les composés métalliques relevés à Lille République suivent la même dynamique que celles des poussières en suspension prélevées sur le quai. Par contre, pour la station de Roubaix, des différences avec l'évolution des concentrations de poussières en suspension PM10 peuvent apparaître.

La concentration hebdomadaire du cuivre mesurée sur le quai Eurotéléport a constamment diminué du 14 Janvier au 4 Février tandis que pendant la 2^{ème} semaine, la concentration en poussières en suspension était de 50 µg/m³, valeur hebdomadaire la plus élevée.

Le chrome, le manganèse, le fer et le cadmium présentent des profils similaires : sur le quai de la station de métro de Roubaix, de la 1^{ère} à la 3^{ème} semaine de la phase II, la concentration en PM10 a subi une diminution constante tandis que la teneur en métal lourd était plus élevée la 2^{ème} semaine comparée aux 2 autres semaines. Il est observé la même anti-corrélation la dernière semaine sur le profil du nickel.

Enfin, les concentrations du plomb et des PM10 suivent la même évolution hormis sur la 3^{ème} semaine de mesures pendant laquelle la teneur en Pb n'a pas subi de diminution contrairement à la concentration en poussières.

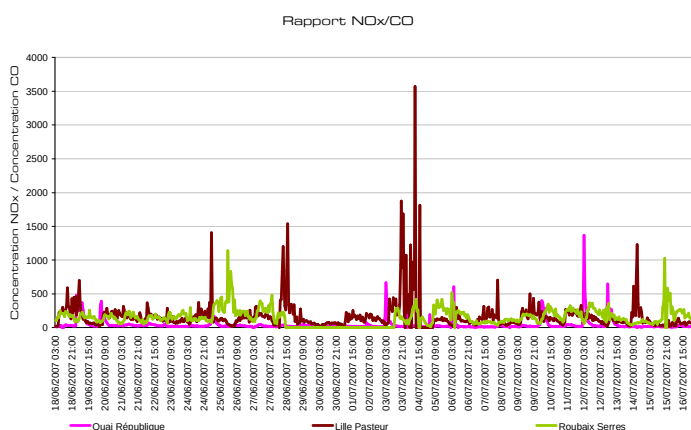
Globalement, l'exploitation du métro, notamment la circulation des rames, émet des particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm parmi lesquelles la part des métaux lourds n'est pas négligeable, notamment pour le fer. Le freinage, le frottement des rames sur les rails entraînent l'émission de fragments métalliques qui se retrouvent sur les quais. La circulation des rames ainsi que les déplacements des voyageurs brassent l'air ne permettant pas la retombée au sol des métaux.



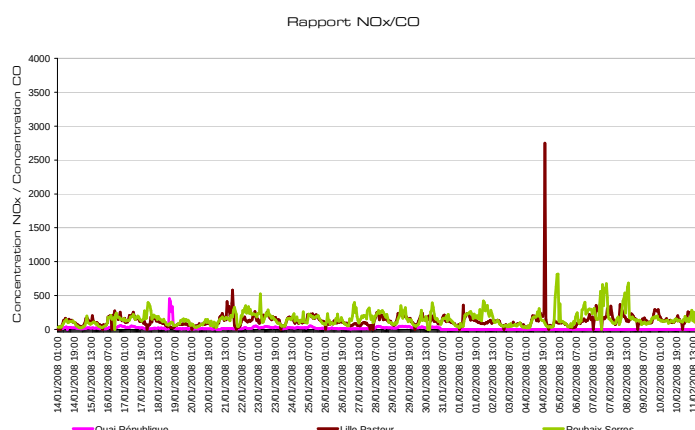
L'augmentation conjointe oxydes d'azote - benzène montre, comme on a pu le voir précédemment, une influence importante des émissions du trafic routier. A l'inverse, le trafic ferroviaire souterrain (motrice diesel), n'est pas un émetteur de benzène ni de monoxyde de carbone (faibles quantités) mais d'oxydes d'azote et de poussières (AIPARIF, 2003). Les proportions des deux derniers sont toutefois différentes de celles du trafic routier.

Au vu de ces considérations, les rapports NOx/CO des stations de Lille Pasteur et Roubaix Serres (stations considérées comme uniquement influencée par le trafic routier), si l'influence est différente, ne devraient pas être similaire et donneraient une indication sur le rapport entre l'influence du trafic routier et du trafic de la motrice diesel sur la qualité de l'air.

Phase I :



Phase II :



A première vue, on remarque que l'évolution du rapport NOx/CO déterminé sur le quai République diffère de celle du rapport relevé par les stations fixes. Ainsi, la principale source en polluants présents à la station République est propre à l'exploitation du métro.

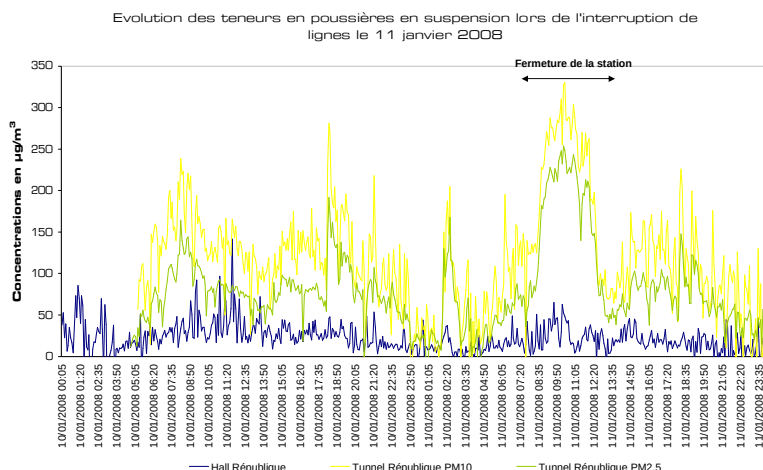
Par ailleurs, les pics relevés sur le quai ont été obtenus aux mêmes périodes pendant lesquelles la motrice de travaux Diesel a fonctionné.

Cette analyse confirme que cette pollution est directement liée à l'exploitation de la motrice Diesel à l'intérieur du métro.



Evolution des concentrations lors des interruptions de lignes

Des fermetures de stations interviennent ponctuellement lors d'événementiels et la circulation des rames est ainsi perturbée, ce qui peut avoir une incidence sur les niveaux et l'évolution des concentrations. Pour illustrer l'incidence d'une telle fermeture de station, prenons l'exemple de la venue de Président de la République en métropole, le 11 Janvier 2008. Durant cette journée, la station république a été fermée au public toute la matinée mais la circulation des rames se déroulaient normalement, si ce n'est que les portes sont restées fermées.



Le graphe illustre parfaitement l'incidence de la fermeture des portes; les concentrations de poussières en suspension à la fois PM10 et PM2.5 ont augmenté durant la matinée

A l'inverse, le hall n'accueille aucun usager n'a pas connu à cette date, d'augmentation notable.

Ces observations confirment avec certitude que le fonctionnement du métro lillois émet des particules de diamètre inférieur à $10\ \mu\text{m}$ mais également des particules plus fines de diamètre inférieur à $2.5\ \mu\text{m}$.



Comparaison avec les résultats obtenus dans les stations de métro français

Les concentrations moyennes en dioxyde d'azote relevées sur le quai de la station République sur chaque phase ont été du même ordre de grandeur que les niveaux moyens mesurés antérieurement dans les métros de Toulouse, Rennes, Lyon et Lille. Cependant, si on compare les maxima horaires, la station République a obtenu la plus importante concentration horaire maximale en phase estivale ($576\ \mu\text{g}/\text{m}^3$), ceci étant du au fonctionnement de la motrice Diesel.

Les niveaux moyens en monoxyde de carbone mesurés à la station République ont été du même ordre de grandeur que les résultats obtenus dans le métro de Lyon en 2002, mais supérieurs à ceux obtenus dans le métro de Rennes en été 2004 et hiver 2005. Concernant les maxima horaires, en phase estivale, le maxima horaire relevé à la station République a été nettement plus important que les autres maxima obtenus dans les études antérieures similaires. Là encore, la motrice de travaux de nuit est responsable de ce constat.

Comparées aux résultats recensés dans le métro de Rennes en été 2004 et hiver 2005, les concentrations en BTEX mesurées dans les stations du métro lillois ont été légèrement supérieures, en particulier pour le toluène.

Par comparaison avec les concentrations moyennes en métaux lourds obtenues durant la campagne de mesures dans la partie souterraine du tramway de Rouen en 2005, les moyennes de quelques métaux lourds relevées à l'intérieur des stations du métro de Lille ont été supérieures, et ce, notamment sur le quai de la station République. Les métaux lourds concernés sont le chrome en phases estivale et hivernale, le manganèse et le fer en phase estivale, l'arsenic et le nickel en phase hivernale.

Par comparaison avec les études similaires antérieures, les valeurs mesurées dans la station de métro République font partie des plus fortes concentrations déjà ressenties, sans pour autant dépasser les valeurs du métro parisien. Par ailleurs, si on compare les résultats obtenus dans le métro de Toulouse, les valeurs moyennes mesurées sur le quai République sont du même ordre de grandeur voire inférieures à celles mesurées durant les campagnes à Toulouse en 2006-2007. On constate également un dépassement du maximum horaire hivernal relevé sur le quai République par comparaison avec les résultats de Toulouse en hiver 2007. Par contre, la valeur estivale de $289 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est de loin inférieure à celle enregistrée à Toulouse ($1094 \mu\text{g}/\text{m}^3$). D'autre part, la station de Roubaix Eurotéléport observe des valeurs inférieures à celles retrouvées dans les stations de Toulouse, de Lyon et de Paris mais équivalentes à celles retrouvées sur Rennes.

Seul l'air des stations du métro parisien est surveillé en continu depuis plusieurs années. Les résultats sont disponibles depuis janvier 2008 sur le site internet de la RATP. Une comparaison des résultats a donc été réalisée pour la période du 28 Janvier au 10 Février 2008. Le tableau des valeurs est représenté ci-après.

Globalement, les concentrations en PM₁₀, et CO₂ ainsi que la température mesurée sur le quai République sont du même ordre de grandeur que les mesures effectuées par la RATP en Île-de-France, excepté pour la station Auber qui présente une concentration moyenne de particules nettement supérieure aux autres stations.

Concernant l'humidité relative mesurée à la station République, sa valeur traduit un air plus humide par rapport aux stations surveillées en Île-de-France, qui elles, présentent un air intérieur sec.

Les maxima horaires et journaliers montrent que la qualité de l'air intérieur de la station République est de qualité semblable à celle des stations du métro parisien. Par ailleurs, du 28 Janvier au 10 Février 2008, les concentrations horaires maximales en PM₁₀ les plus élevées des 4 stations ont été obtenues sur les quais des stations Roosevelt et Auber. Concernant les maxima journaliers, la station République présente une valeur similaire à celle de Roosevelt.

Comparées aux stations du métro parisien surveillées, la station de métro République ne présente pas des teneurs en PM₁₀ plus importantes.

Paramètre	Site	Période du 28/01 au 10/02/2008		
		Concentration moyenne	Valeur horaire maximale	Valeur journalière maximale
Concentration des PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Quai République	87	263 le 06/02/2008 à 09h00	124 le 28/01/2008
	Quai Châtelet L4	69	192 le 09/02/2008 à 15h00	90 le 07/02/2008
	Quai Roosevelt L1	56	855 le 29/01/2008 à 03h00	120 le 29/01/2008
	Quai Auber	246	995 le 05/02/2008 à 09h00	453 le 06/02/2008
Concentration du CO ₂ en ppm	Quai République	563	904 le 30/01/2008 à 19h00	636 le 30/01/2008
	Quai Châtelet L4	603	909 le 09/02/2008 à 19h00	645 le 07/02/2008
	Quai Roosevelt L1	483	701 le 30/01/2008 à 20h00	521 le 30/01/2008
	Quai Auber	544	951 le 07/02/2008 à 10h00	622 le 07/02/2008
Température en °C	Quai République	17	20 le 28/01/2008 à 19h00	19 le 28/01 et le 01/02/2008
	Quai Châtelet L4	18	21 les 07, 08 et 09/02/2008 aux environs de 18h00	19 du 06 au 08/02/2008
	Quai Roosevelt L1	13	16 les 05, 06, 07, 08, 09/02/2008 en fin d'après-midi	15 le 06/02/2008
	Quai Auber	21	23 les 06 et 07/02/2008 en début de soirée	21 les 28 et 29/01 et du 06 au 10/02/2008
Humidité relative en %	Quai République	51	64 le 06/02/2008 à 01h00	56 les 01, 04 et 05/02/2008
	Quai Châtelet L4	30	58 le 05/02 à 23h00 et le 06/02/2008 à 00h00	51 le 05/02/2008
	Quai Roosevelt L1	37	73 le 05/02 de 20h00 à 23h et le 06/02/2008 à 00h00	66 le 05/02/2008
	Quai Auber	32	61 le 06/02/2008 à 01h00 et 04h00	54 le 05/02/2008

Conclusion

Cette étude menée par l'association ATMO Nord Pas-de-Calais à la demande de Transpole, fait suite à la circulaire DGS/SD 7B n°2003-314 du 30 Juin 2003, dans laquelle est demandé aux exploitants de transports collectifs ferroviaires souterrains de réaliser la surveillance de la qualité de l'air et de diminuer les émissions propres à l'exploitation ferroviaire. L'étude a permis d'évaluer l'impact des activités ferroviaires et routières sur la qualité de l'air à l'intérieur et aux abords des deux stations du métro de Lille : République et Eurotéléport. La campagne de mesures s'est déroulée en deux phases, l'une estivale, du 19 Juin au 16 Juillet 2007, l'autre hivernale, du 14 Janvier au 11 Février 2008.

Du point de vue climatique, les journées du 19, 20 et 21 Juin 2007, le 1^{er} et le 15 Juillet 2007, les 24 et 28 Janvier 2008 ainsi que la période allant du 7 au 11 Février 2008 ont connu des conditions météorologiques qui ont engendré des dispersions moyennes voire médiocres des polluants.

La mesure des paramètres de confort réalisée sur le quai de la station République témoigne de conditions thermo hygrométriques et d'un renouvellement d'air satisfaisants. Toutefois, il a été mis en évidence des périodes où l'environnement était chaud et sec (températures élevées en phase estivale, renouvellement de l'air moyen : taux de CO₂ proche de 1000 ppm). Le confinement de la station ainsi que l'absence de système de ventilation sont probablement à l'origine de ce constat.

Les résultats des mesures concernant les polluants gazeux (BTEX, NOx, SO₂, CO et HAP) ont montré que ces polluants provenaient essentiellement des activités extérieures, notamment du trafic automobile. Cependant, sur le quai de la station République, des pics de pollution ponctuels ont été observés pour le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, et notamment le monoxyde d'azote. L'étude a révélé que le fonctionnement de la motrice de travaux de nuit dans le tunnel de la station République constituait la principale source intérieure de la station. Les voyageurs n'étant pas directement exposés aux émissions de la motrice Diesel. En ambiance de travail, les concentrations en polluants gazeux restent inférieures aux valeurs réglementaires.

En comparant les résultats des deux périodes de mesures, et en isolant les pics observés sur le quai République, les concentrations en polluants gazeux ont été les plus élevées en phase hivernale. Ce constat est en accord avec la saisonnalité des polluants gazeux et ce que l'on peut habituellement observer en air extérieur.

Concernant la silice cristalline particulière prélevée sur le quai de la station République, les analyses effectuées par le laboratoire Bureau Veritas ont révélé une exposition modérée à ce composé.

Les résultats des mesures par prélèvements automatiques des poussières en suspension et des métaux lourds ont mis en évidence des concentrations en poussières présentes dans les stations du métro supérieures à celles relevées sur les sites extérieurs. La station République présente des niveaux en particules nettement plus élevés que ceux relevés dans la station Eurotéléport. Emis par le freinage des rames sur les rails ainsi que leurs usures, les particules fines sont d'origine métallique avec un élément fer prépondérant.

La réglementation et les valeurs guides connues en air intérieur pour les polluants gazeux ont bien été respectées durant cette campagne. Par contre, les poussières en suspension sur le quai de la station République ont montré des concentrations supérieures aux valeurs limites de $455 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $393 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $347 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $311 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandées par le CSHPF, pour des durées d'exposition respectives de 01h30, 01h45, 02h00 et 02h15.

Au vu de ces résultats, une surveillance des polluants gazeux, métaux lourds, poussières et des paramètres de confort serait à privilégier pour les campagnes à l'intérieur et aux abords des stations du métro.

Atmo Nord-Pas de Calais propose de reconduire une série de mesures de ces polluants à la station de Lille Flandres, en travaux pendant la campagne. Cette station de même configuration que celle de République présente la fréquentation la plus importante du réseau.

Annexes

Tableaux d'émissions connues dans le secteur industriel

Secteur d'activité	SO ₂ en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	0,10	Refinal Industries	Lomme	<0,01	<0,01
Chimie - Parachimie - Pétrole	0,02	Chemilyl	Loos	<0,01	<0,01
	194,00	Holliday Pigments	Comines	0,51	0,04
	0,70	Imperator	Baisieux	<0,01	<0,01
	0,13	LFB Biomédicament	Lille	<0,01	<0,01
	0,39	P. Brabant	Tressin	<0,01	<0,01
	0,63	Produits Chimiques de Loos	Loos	<0,01	<0,01
Industrie agro- alimentaire	3,35	Heineken Entreprise	Mons-en- Baroeul	0,01	<0,01
	2,88	Lesaffre	Marcq-en- Baroeul	0,01	<0,01
Mécanique	0,60	DMS Industries	Noyelles- lez-Seclin	<0,01	<0,01
Verre - Matériaux	48,48	Slme	Santes	0,13	0,01
Papier - Carton	0,20	Berry Décor	Bousbecque	<0,01	<0,01
	0,03	Dalle Hygiène Production	Bousbecque	<0,01	<0,01
Plastique	0,07	Pennel et Flipo	Roubaix	<0,01	<0,01
Imprimerie	0,11	Héliogravure Didier Quebecor	Hellemmes	<0,01	<0,01
	1,00	Imprimerie du Centre	Bondues	<0,01	<0,01
	0,01	Wipak Gryspeerit	Bousbecque	<0,01	<0,01
Traitement de déchets	35,00	Valnor	Halluin	0,09	0,01
Textile	0,01	Dickson Constant	Wasquehal	<0,01	<0,01
	47,12	Intissel	Wattrelos	0,12	0,01
	0,23	RLST Localinge	Wattrelos	<0,01	<0,01
	0,01	RLST Elis	Marcq-en- Baroeul	<0,01	<0,01
	32,14	Roquette Textiles	Wasquehal	0,09	0,01
	0,06	Société d'impression d'Hem SIH	Hem	<0,01	<0,01

Secteur d'activité	SO ₂ en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
	34,00	Sommer Needlepunch Tarkett	Baisieux	0,09	0,01
Energie	0,14	Cogé Santé - Chaufferie du Chru de Lille	Lille	<0,01	<0,01
	6,38	Dalkia	Wattignies	0,02	<0,01
	0,31	Dalkia - Chaufferie de Lonchamp	Lys-lez- Lannoy	<0,01	<0,01
	0,03	Dalkia - Chaufferie SLE	Villeneuve d'Ascq	<0,01	<0,01
	8,00	Dalkia - Chaufferie de la Blanchisserie du CHR	St André- lez-Lille	0,02	<0,01
	61,51	Dalkia - Chaufferie Resonor	Lille	0,16	0,01
	45,10	Srtn Alma	Roubaix	0,12	0,01
	59,93	Srtn Beaufort	Roubaix	0,16	0,01

Secteur d'activité	NO _x en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	5,56	Flandria Aluminium	Warneton	0,02	<0,01
	13,35	Refinal Industries	Lomme	0,05	<0,01
Chimie - Parachimie - Pétrole	0,38	Chemilyl	Loos	<0,01	<0,01
	0,70	Demarle	Wavrin	<0,01	<0,01
	0,51	Flint Groupe France	Fretin	<0,01	<0,01
	9,89	Holliday Pigments	Comines	0,03	<0,01
	1,30	Imperator	Baisieux	<0,01	<0,01
	2,69	LFB Biomédicament	Lille	0,01	<0,01
	3,45	P. Brabant	Tressin	0,01	<0,01
	56,60	Produits Chimiques de Loos	Loos	0,19	<0,01
	4,00	Rhodia Opérations	St André- lez-Lille	0,01	<0,01

Secteur d'activité	NOx en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Industrie agro- alimentaire	63,10	Cargill Haubourdin	Haubourdin	0,21	0,01
	2,83	Comptoir Européen de la Confiserie	Marcq-en- Baroeul	0,01	<0,01
	14,54	Heineken Entreprise	Mons-en- Baroeul	0,05	<0,01
	4,68	Leaf France	Bondues	0,02	<0,01
	20,78	Lesaffre	Marcq-en- Baroeul	0,07	<0,01
Mécanique	0,20	CNH France	Croix	<0,01	<0,01
	1,71	Dassault Aviation	Seclin	0,01	<0,01
	2,50	DMS Industries	Noyelles- lez-Seclin	0,01	<0,01
Verre - Matériaux	8,54	Slme	Santes	0,03	<0,01
	21,19	Alhstrom Specialities	Bousbecque	0,07	<0,01
	3,25	Berry Décor	Bousbecque	0,01	<0,01
	12,80	Dalle Hygiène Production	Bousbecque	0,04	<0,01
Plastique	1,70	Pennel et Flipo	Roubaix	0,01	<0,01
Imprimerie	0,92	D'haussy Imprimeurs	Linselles	<0,01	<0,01
	7,28	Héliogravure Didier Quebecor	Hellemmes	0,02	<0,01
	1,80	Web Tech	Comines	0,01	<0,01
	1,56	Wipak Gryspeerdt	Bousbecque	0,01	<0,01
Traitement de déchets	101,00	Valnor	Halluin	0,34	0,01
Textile	0,40	Dickson Constant	Wasquehal	<0,01	<0,01
	0,27	RLST Localinge	Wattrelos	<0,01	<0,01
	1,59	RLST Elis	Marcq-en- Baroeul	0,01	<0,01
	14,49	Roquette Textiles	Wasquehal	0,05	<0,01
	7,20	Société d'impression d'Hem SIH	Hem	0,02	<0,01
Energie	29,22	Cogé Santé - Chaufferie du Chru de Lille	Lille	0,10	<0,01
	7,87	Dalkia	Wattignies	0,03	<0,01
	19,64	Dalkia - Chaufferie de Lonchamp	Lys-lez- Lannoy	0,07	<0,01

Secteur d'activité	NOx en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
	19,27	Dalkia - Chaufferie SLE	Villeneuve d'Ascq	0,06	<0,01
	2,38	Dalkia - Chaufferie de la Blanchisserie du CHR	St André-lez-Lille	0,01	<0,01
	6,00	Dalkia - Chaufferie des Beaux Arts	Lille	0,02	<0,01
	84,26	Dalkia - Chaufferie Resonor	Lille	0,28	0,01
	38,60	Flandres Energies	Haubourdin	0,13	<0,01
	32,72	Mons Energie - Chaufferie zup de Mons	Mons-en-Baroeul	0,11	<0,01
	15,97	Srtn Alma	Roubaix	0,05	<0,01
	26,01	Srtn Beaufort	Roubaix	0,09	<0,01
	6,94	Srtn zup Beaulieu	Wattrelos	0,02	<0,01

Secteur d'activité	COVNM en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	0,79	Refinal Industries	Lomme	0,01	<0,01
Chimie - Parachimie - Pétrole	44,23	Demarle	Wavrin	0,36	<0,01
	101,71	Flint Group France	Fretin	0,84	0,01
	7,10	Haghebaert et Fremaux	Villeneuve d'Ascq	0,06	<0,01
	1,00	Imperator	Baisieux	0,01	<0,01
	12,48	P. Brabant	Tressin	0,10	<0,01
	32,00	Theolaur	Lille	0,26	<0,01
Mécanique	6,10	CNH France	Croix	0,05	<0,01
	5,77	Dassault Aviation	Seclin	0,05	<0,01
	5,30	DMS Industries	Noyelles-lez-Seclin	0,04	<0,01
Plastique	66,35	Onduclair	Comines	0,55	<0,01
	119,00	Pennel et Flipo	Roubaix	0,98	0,01
Imprimerie	0,17	Decoster (Imprimerie Jean)	Sequedin	<0,01	<0,01
	8,99	D'haussy Imprimeurs	Linselles	0,07	<0,01
	471,00	Héliogravure Didier Quebecor	Hellemmes	3,87	0,03

Secteur d'activité	COVNM en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Imprimerie	1,20	Web Tech	Comines	0,01	<0,01
	8,58	Wipak Gryspeerdt	Bousbecque	0,07	<0,01
Traitement de déchets	2,28	Valnor	Halluin	0,02	<0,01
Traitement de surface	23,88	Lassarat	Seclin	0,20	<0,01
Textile	2,10	Dickson Constant	Wasquehal	0,02	<0,01
	11,00	Dounor	Neuville-en-Ferrain	0,09	<0,01
	0,18	RLST Localinge	Wattrelos	<0,01	<0,01
	0,11	RLST Elis	Marcq-en-Baroeul	<0,01	<0,01
	9,93	Société d'impression d'Hem SIH	Hem	0,08	<0,01

Secteur d'activité	Poussières en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	2,09	Ceac Exide Technologies	Lille	0,03	<0,01
	0,01	Flandria Aluminium	Warneton	<0,01	<0,01
	0,06	Refinal Industries	Lomme	<0,01	<0,01
Chimie - Parachimie - Pétrole	0,01	Chemilyl	Loos	<0,01	<0,01
	0,02	LFB Biomédicament	Lille	<0,01	<0,01
	3,98	Produits Chimiques de Loos	Loos	0,06	<0,01
Industrie agro-alimentaire	135,00	Cargill Haubourdin	Haubourdin	2,15	0,01
	0,09	Lesaffre	Marcq-en-Baroeul	<0,01	<0,01
Mécanique	0,40	DMS Industries	Noyelles-lez-Seclin	0,01	<0,01
Verre - Matériaux	0,03	Slme	Santes	<0,01	<0,01
Traitement de déchets	1,12	Galloo France	Halluin	0,02	<0,01
	1,99	Valnor	Halluin	0,03	<0,01

Secteur d'activité	Poussières en 2006 (t/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (t/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (t/an) en % et en 2006
Textile	0,99	Roquette Textiles	Wasquehal	0,02	<0,01
Energie	0,36	Dalkia	Wattignies	0,01	<0,01
	0,07	Dalkia - Chaufferie de Lonchamp	Lys-lez-Lannoy	<0,01	<0,01
	0,01	Dalkia - Chaufferie SLE	Villeneuve d'Ascq	<0,01	<0,01
	2,00	Dalkia - Chaufferie de la Blanchisserie du CHR	St André-lez-Lille	0,03	<0,01
	0,14	Dalkia - Chaufferie Resonor	Lille	<0,01	<0,01
	1,38	Srtn Alma	Roubaix	0,02	<0,01
	1,81	Srtn Beaufort	Roubaix	0,03	<0,01
	0,60	Srtn zup Beaulieu	Wattrelos	0,01	<0,01

Secteur d'activité	Plomb en 2006 (kg/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (kg/an) en % et en 2006	Part des rejets en France (kg/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	118,50	Ceac Exide Technologies	Lille	0,82	0,09
	1,21	Flandria Aluminium	Warneton	0,01	<0,01
	3,24	Refinal Industries	Lomme	0,02	<0,01

Secteur d'activité	Cadmium en 2006 (kg/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune	Part des rejets dans la région (kg/an) en % et en 2006
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	1,72	Refinal Industries	Lomme	0,38

Secteur d'activité	Zinc en 2006 (kg/an) en Nord - Pas-de-Calais	Etablissement	Commune
Sidérurgie - Métallurgie - Fonderie	2,73	Refinal Industries	Lomme

Plans localisant les points de mesures par tube à diffusion passive

Légende

● Site de mesure

République

4 Cantons

Niveau
Quais

Quai

Tunnel

Niveau
Intermédiaire

Niveau
Salle des
Billets

Hall

ST10ZZ2016
48000 0
Station République niveau quais, salle des
billets, intermédiaire
Annexe 01/007

STATION REPUBLIQUE NIVEAU QAIS,SALLE DES BILLETS,INTERMEDIAIRE - ST10ZZ2016 (Revision 00)
Page 1 (Revision a) (1/2)

Imprimé le : 19/09/2006 à 16:07. GED GED

Base : GEDEON

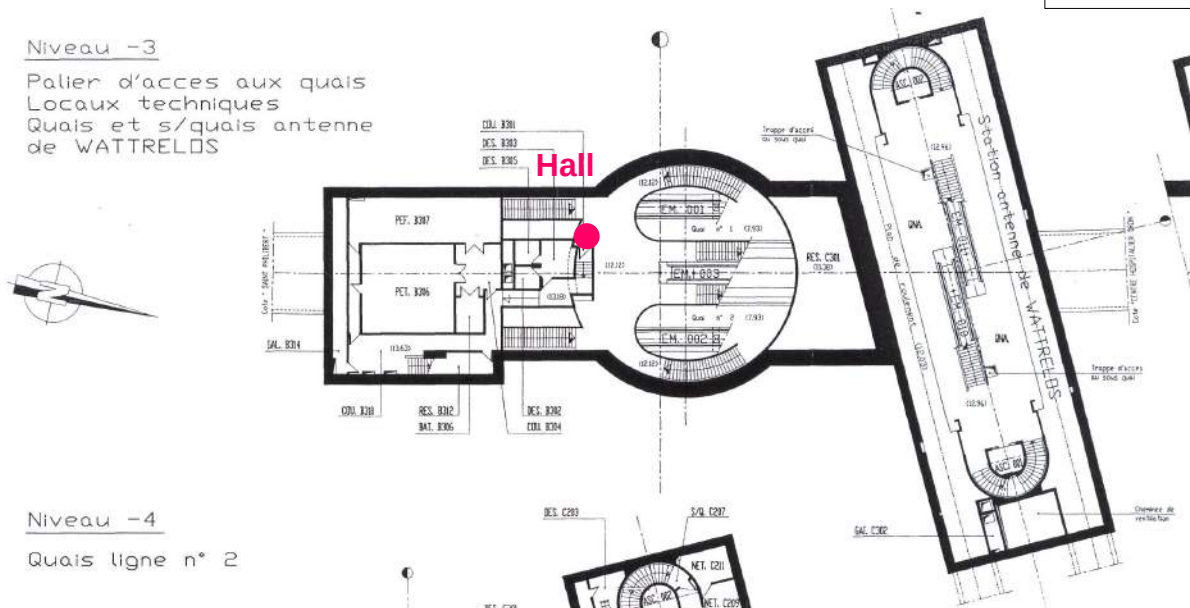
Eurotéléport

Légende

● Site de mesure

Niveau -3

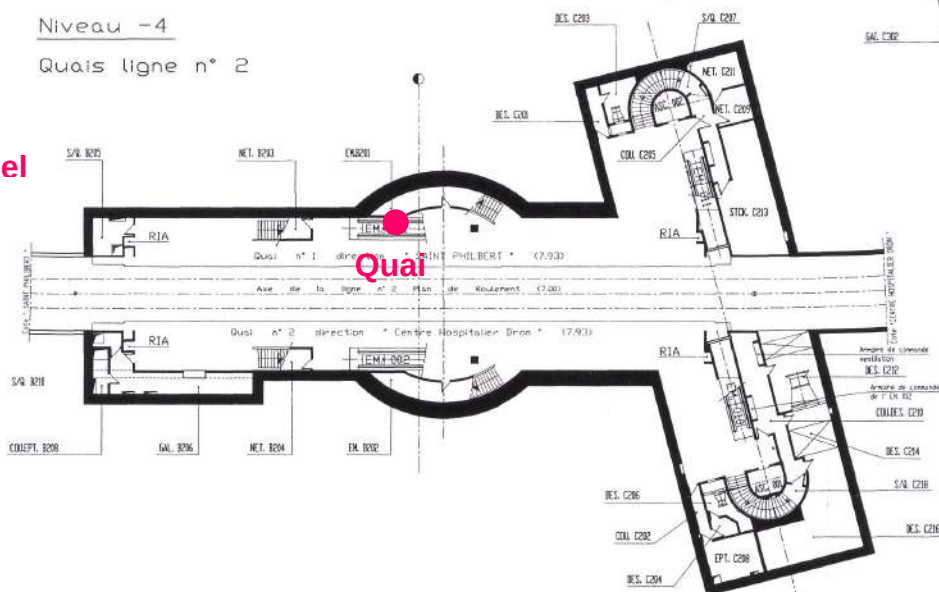
Palier d'accès aux quais
Locaux techniques
Quais et s/quals antenne
de WATTRELOIS



Niveau -4

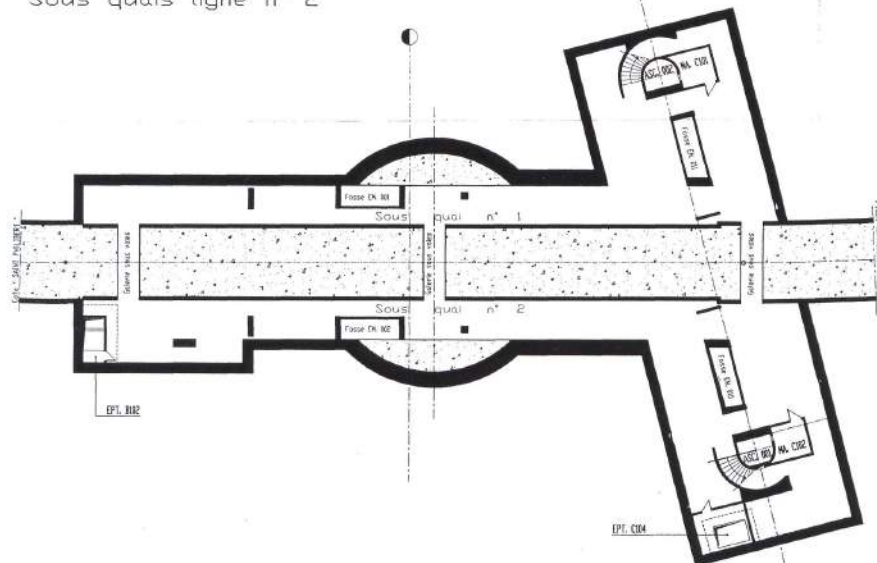
Quais ligne n° 2

Tunnel



Niveau -5

Sous quais ligne n° 2



CL

Passage de la motrice de travaux (Diesel) de 01h00 à 04h00 du matin

En période estivale, le train de travaux de nuit est passé sur la ligne 1 (station République) les jours suivants :

- Le 19/06/2007
- Le 20/06/2007
- Le 25/06/2007
- Le 26/06/2007
- Le 02/07/2007
- Le 03/07/2007
- Le 06/07/2007
- Le 10/07/2007
- Le 12/07/2007
- Le 13/07/2007

En période hivernale, le train de travaux de nuit est passé sur la ligne 1 (station République) les jours suivants :

- Le 09/01/2008
- Le 11/01/2008
- Le 19/01/2008
- Le 09/02/2008

Périodes de mise en fonctionnement des ventilateurs à l'intérieur du métro lillois

Phase I :

Ligne 1 Station République :

- Le 22/06/2007 de 07h25 à 07h45
- Le 26/06/2007 de 09h52 à 10h20
- Le 28/06/2007 de 08h52 à 15h45
- Le 06/07/2007 de 09h35 à 10h00
- Le 13/07/2007 de 10h25 à 11h16

Tunnel Ligne 1 puits Maertens :

- Le 22/06/2007 de 07h45 à 14h39
- Le 26/06/2007 de 10h20 à 10h58
- Le 06/07/2007 de 10h00 à 10h14
- Le 13/07/2007 de 11h16 à 11h39

Tunnel Ligne 1 puits Sébastopole :

- Le 22/06/2007 de 11h25 à 11h45
- Le 26/06/2007 de 08h29 à 09h33
- Le 06/07/2007 de 10h14 à 10h34
- Le 13/07/2007 de 13h22 à 14h01

Ligne 2 Station Eurotéléport :

- Le 18/06/2007 de 13h25 à 14h09
- Le 28/06/2007 de 13h55 à 14h54
- Le 02/07/2007 de 13h25 à 14h10
- Le 09/07/2007 de 13h40 à 14h42

Phase II :

Ligne 1 Station République :

- Le 10/01/2008 de 08h54 à 09h25
- Le 18/01/2008 de 08h00 à 08h48
- Le 23/01/2008 de 14h20 à 14h50
- Le 31/01/2008 de 11h08 à 12h58
- Le 06/02/2008 de 08h53 à 10h05
- Le 15/02/2008 de 09h30 à 10h25

Tunnel Ligne 1 puits Maertens :

- Le 10/01/2008 de 08h54 à 09h25
- Le 18/01/2008 de 08h00 à 08h48
- Le 23/01/2008 de 14h20 à 14h50
- Le 31/01/2008 de 11h08 à 12h56
- Le 06/02/2008 de 08h53 à 10h05
- Le 15/02/2008 de 10h14 à 10h59

Tunnel Ligne 1 puits Sébastopole :

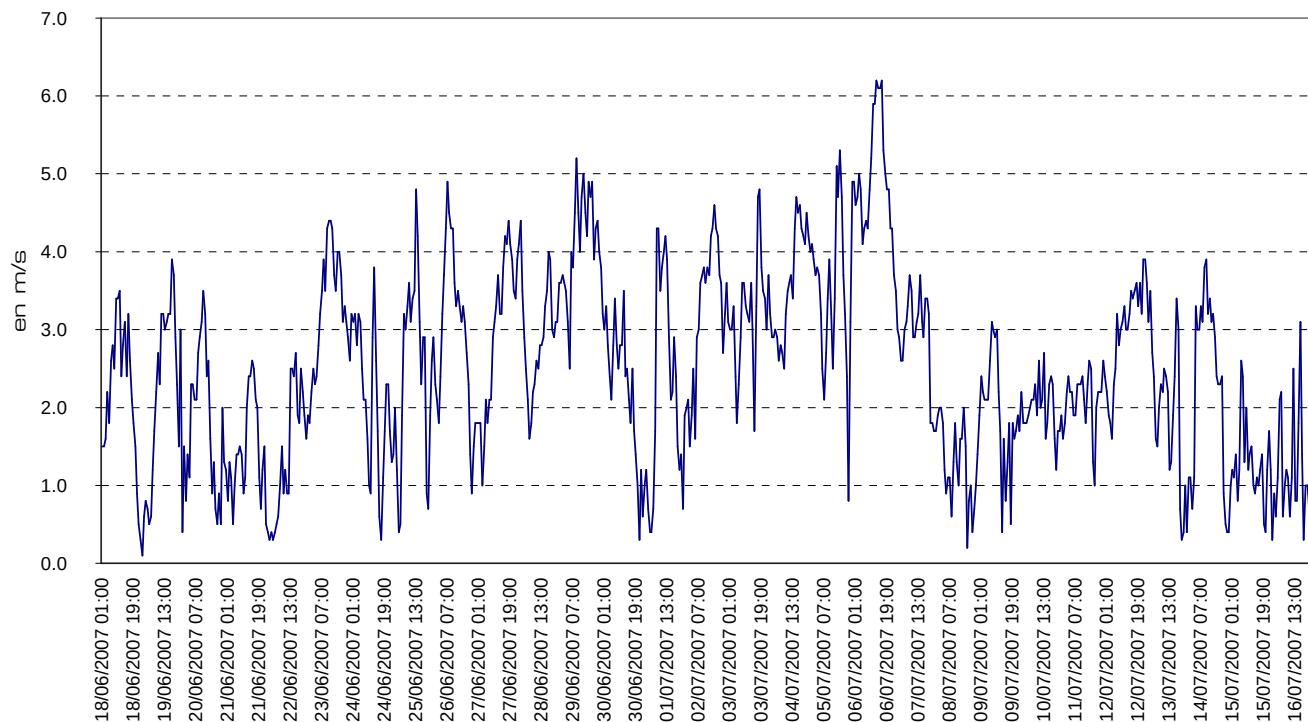
- Le 09/02/2008 de 14h20 à 14h40
- Le 18/01/2008 de 08h48 à 09h03
- Le 23/01/2008 de 14h50 à 15h10
- Le 31/01/2008 de 11h08 à 12h56
- Le 06/02/2008 de 08h36 à 08h53
- Le 15/02/2008 de 09h05 à 10h14

Ligne 2 Station Eurotéléport :

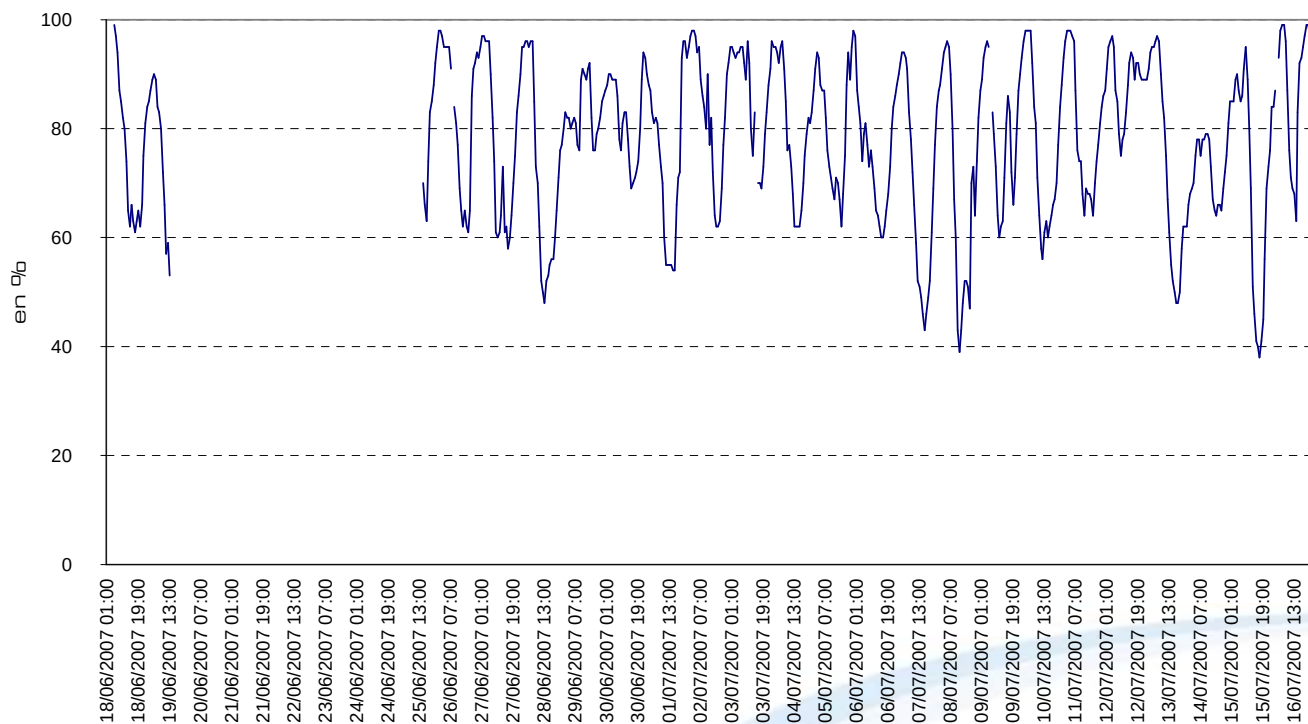
- Le 10/01/2008 de 13h20 à 14h16
- Le 15/01/2008 de 13h30 à 14h18
- Le 21/01/2008 de 13h55 à 14h50
- Le 31/01/2008 de 14h00 à 14h30
- Le 06/02/2008 de 09h04 à 09h48
- Le 12/02/2008 de 13h20 à 14h00

Paramètres météorologiques

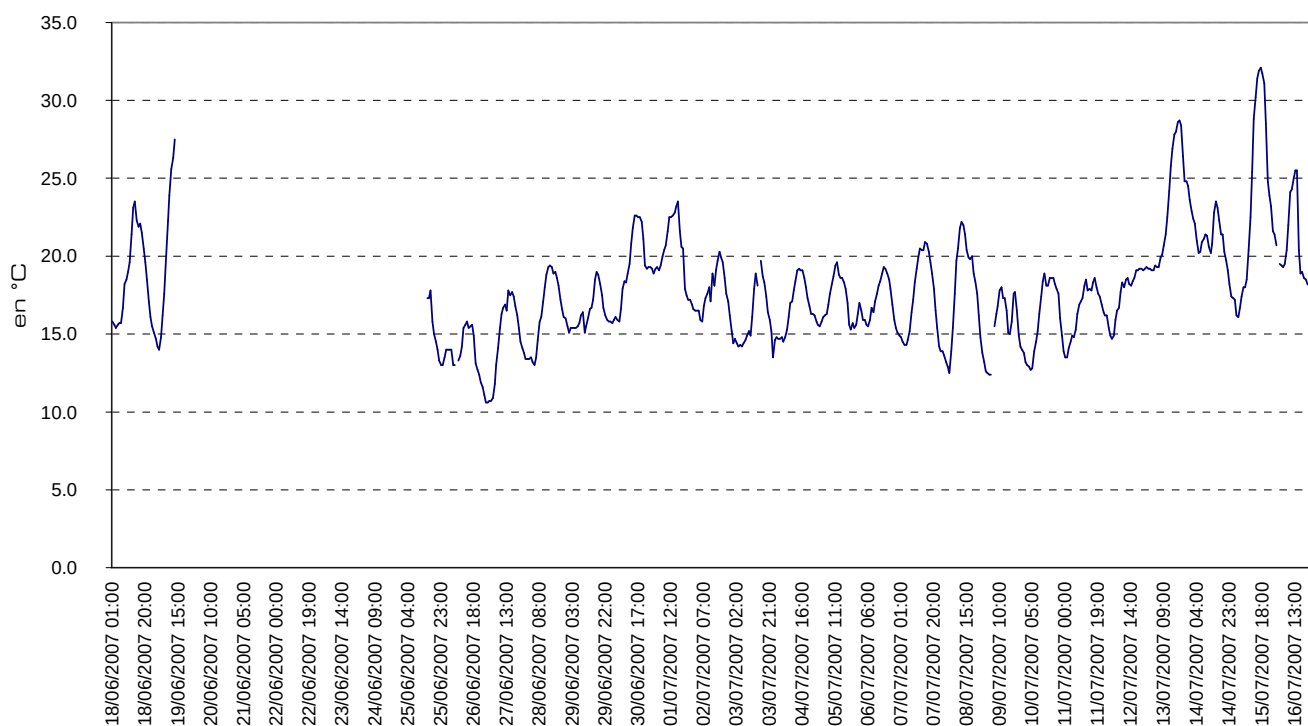
Vitesse du vent



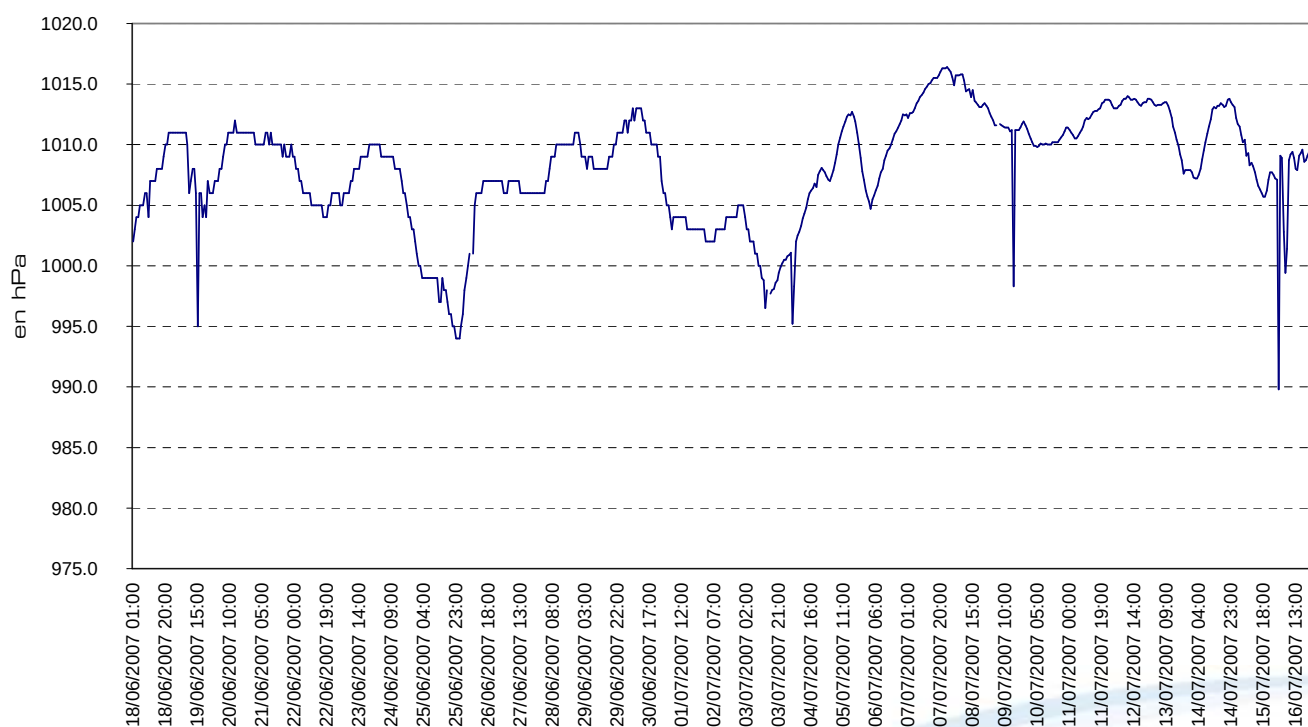
Humidité relative



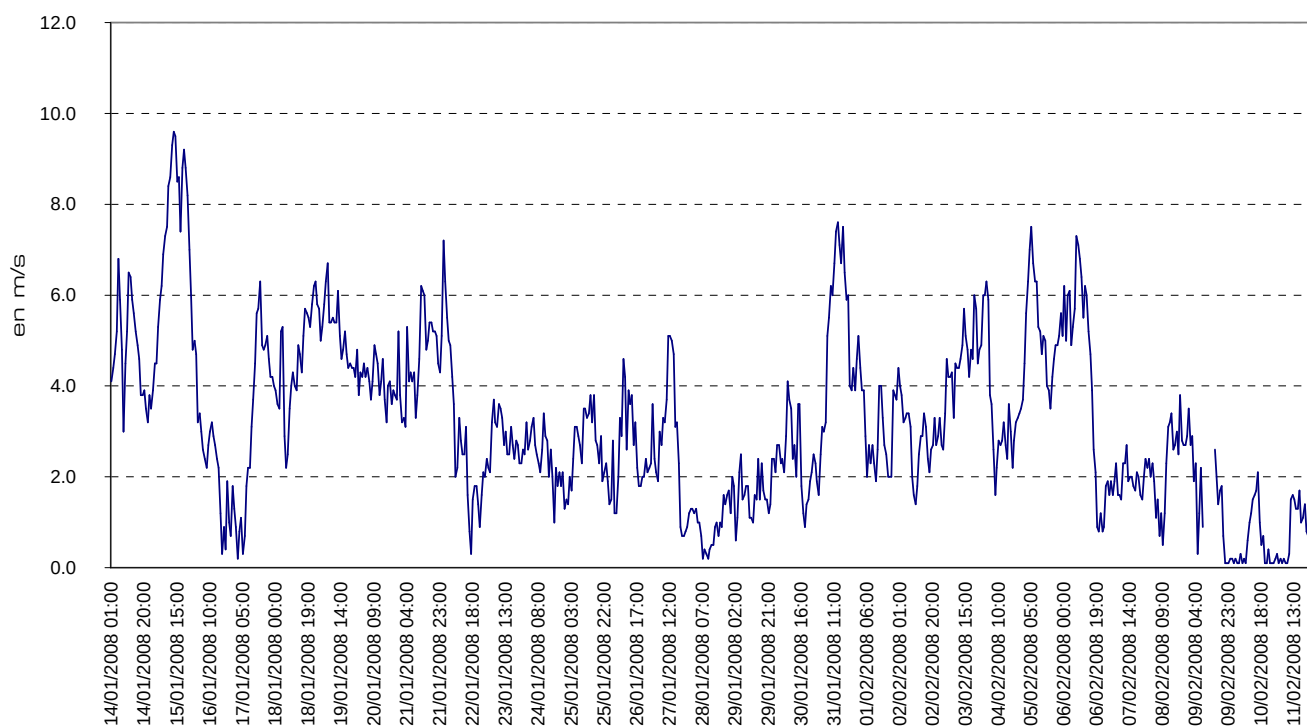
Température



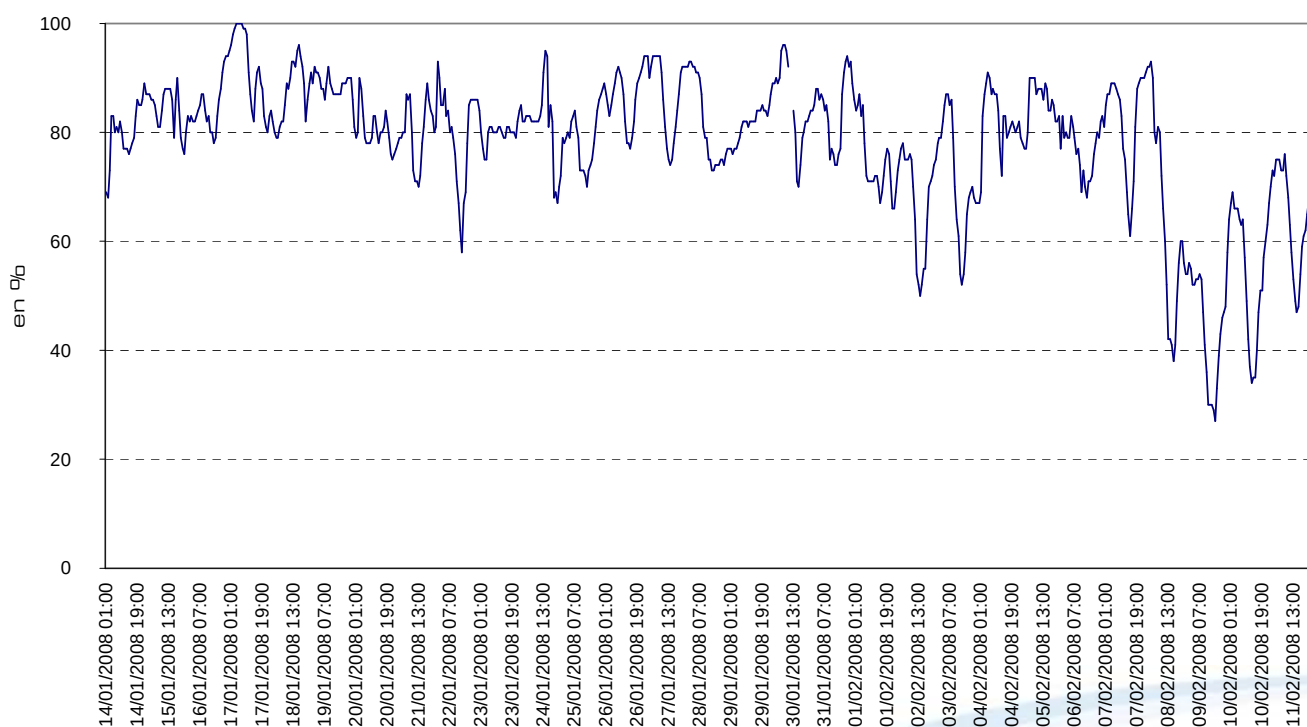
Pression atmosphérique



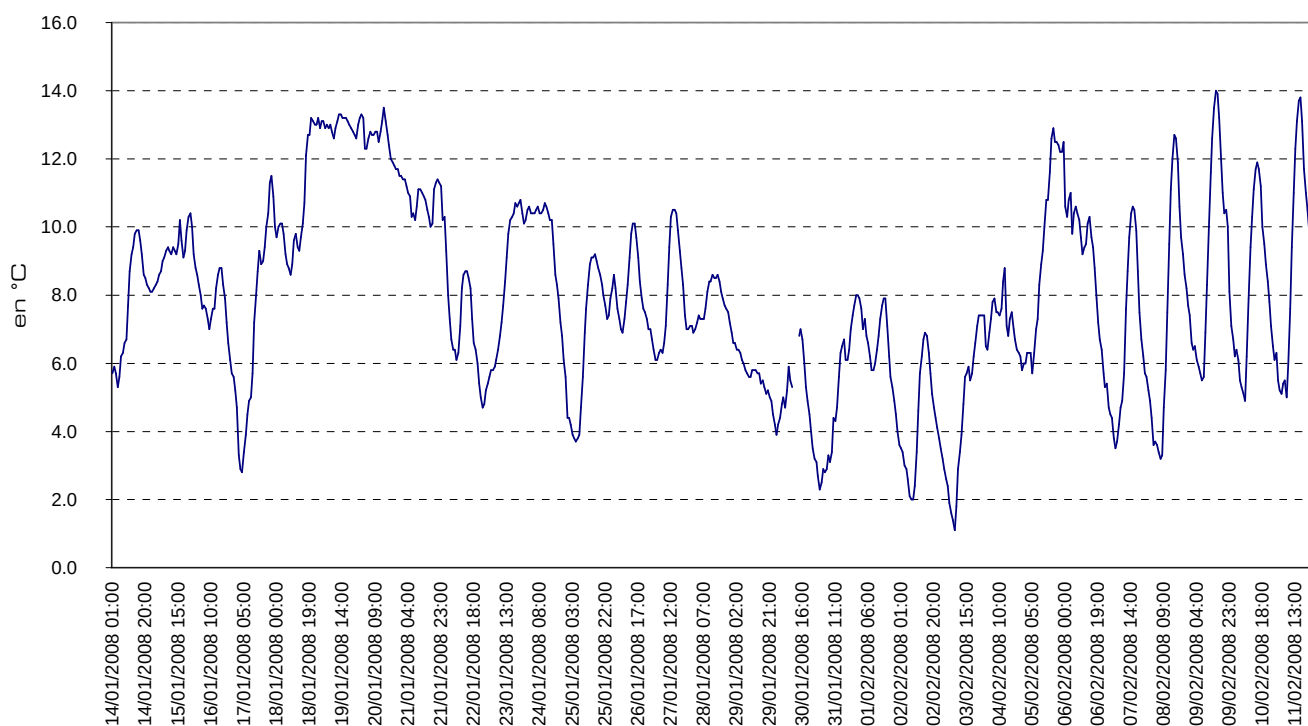
Vitesse du vent



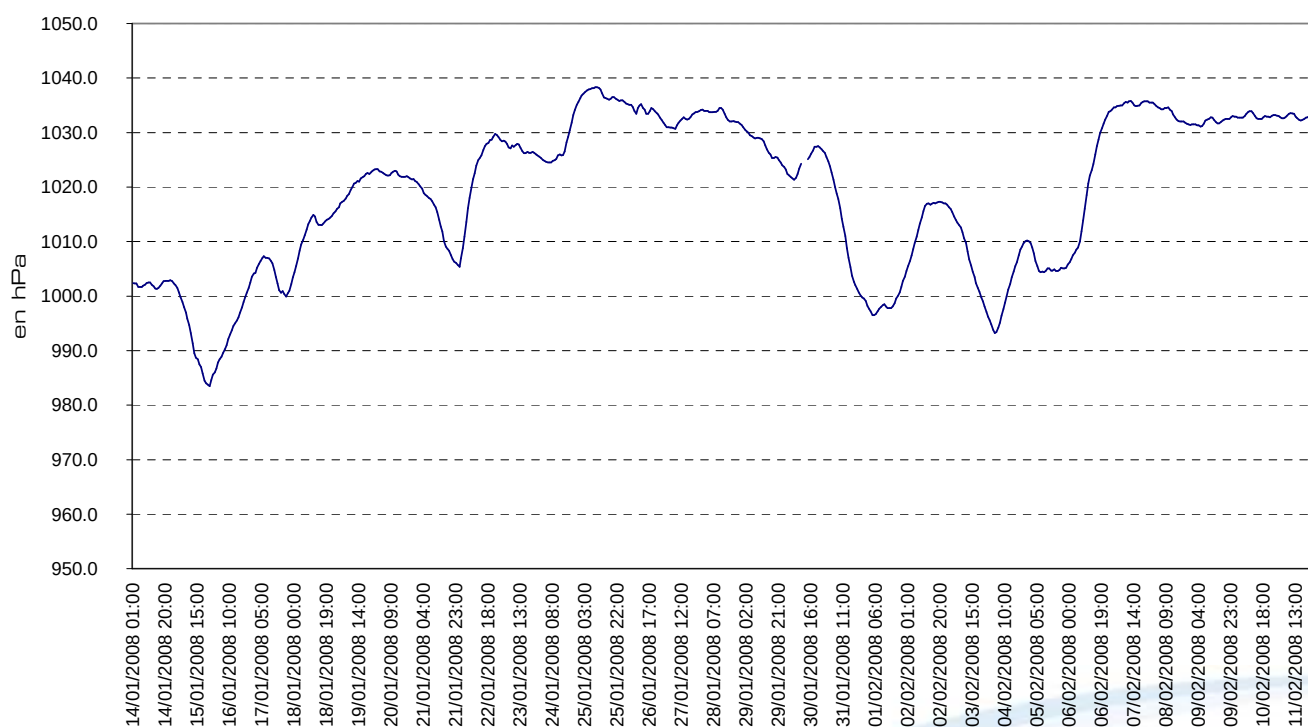
Humidité relative



Température



Pression atmosphérique



Traitements des données des mesures par tubes passifs

Qualité des mesures

Les blancs

Afin de vérifier l'évolution du tube pendant le transport lors des journées de pose/dépose, un tube appelé « blanc véhicule » a été analysé pour chacune des périodes de mesure. Ces tubes n'ont pas été installés sur sites, mais ont voyagé dans les mêmes conditions que les tubes servant à l'échantillonnage des polluants recherchés.

Les tableaux suivants rassemblent les concentrations (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en dioxyde d'azote ainsi que les masses (en ng) en BTEX détectés dans les blancs véhicules :

Phase I	Date	NO ₂
Blanc 1	18/06/2007	< LD*
Blanc 2	02/07/2007	< LD

* LD = Limite de détection

Phase I	Date	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Blanc 1	18/06/2007	29.9	7.7	3.1	3.9	2.0
Blanc 2	25/07/2007	49.5	18.1	4.7	7.5	3.1
Blanc 3	02/07/2007	36.2	7.9	2.5	3.1	1.2
Blanc 4	09/07/2007	15.6	4.3	1.6	5.2	1.3
Moyenne	Phase I	32.8	9.5	3.0	4.9	1.9

Phase II	Date	NO ₂
Blanc 1	14/01/2008	
Blanc 2	28/01/2008	< LD
Blanc 3	28/01/2008	< LD
Blanc 4	28/01/2008	< LD

Phase II	Date	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Blanc 1	14/01/2008	18	5	0	2	0
Blanc 2	14/01/2008	14	5	0	1	1
Blanc 3	21/01/2008	28	7	1	3	1
Blanc 4	21/01/2008	32	9	2	5	2
Blanc 5	28/01/2008	25	23	3	7	4
Blanc 6	28/01/2008	33	9	2	3	2
Blanc 7	04/02/2008	28	6	1	5	2
Moyenne	Phase II	25	9	1	4	2

Les concentrations des blancs NO₂ ont été inférieures à la limite de détection du dioxyde d'azote ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ainsi, aucune soustraction des concentrations des blancs n'a été effectuée sur les valeurs des tubes exposés au NO₂.

Concernant les blancs BTEX, il semble que les blancs en benzène ont été contaminés. Par conséquent, les valeurs des tubes exposés au benzène seront considérées comme des valeurs d'estimation objective et non comme des valeurs indicatives. L'incertitude des résultats du benzène sera plus importante.

Les doublons

Afin de s'assurer de la fiabilité de la méthode des tubes à diffusion, des sites de mesures ont été « doublés » (2 tubes ont été installés sur un même lieu pour quelques sites).

La comparaison des concentrations des doublons à la valeur moyenne du doublon (écart-type relatif), permet d'évaluer la répétabilité de la méthode sur site.

Les concentrations dans les tableaux suivants sont données en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Phase I :

Site	Période	NO ₂	Moyenne	Ecart-type	CV %	Ecart relatif %
Quai République	19/06/2007	18.2				
	-					
	02/07/2007	disparu				
Quai République	02/07/2007	13.1				
	-					
	16/07/2007	disparu				

Période 1 : du 19/06/2007 au 25/06/2007

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Quai République	2.0	6.5	2.0	8.4	3.3
	1.6	5.7	1.6	6.1	2.7
Moyenne	1.8	6.1	1.8	7.3	3.0
Ecart-type	0.3	0.6	0.3	1.7	0.4
CV* %	17.0	9.0	17.0	23.2	14.2
Ecart relatif %	12.0	6.4	12.0	16.4	10.0

* CV = Coefficient de variation

Période 2 : du 25/06/2007 au 02/07/2007

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Quai République	1.7	4.0	1.0	3.0	1.7
	1.3	3.2	0.7	2.5	1.3
Moyenne	1.5	3.6	0.9	2.7	1.5
Ecart-type	0.3	0.6	0.2	0.4	0.3
CV %	20.9	16.3	27.1	13.6	19.8
Ecart relatif %	14.8	11.5	19.1	9.6	14.0

Période 3 : du 02/07/2007 au 09/07/2007

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Quai République	1.1	3.1	0.8	2.5	1.3
	1.4	2.7	0.8	2.4	1.2
Moyenne	1.2	2.9	0.8	2.4	1.3
Ecart-type	0.2	0.3	0.0	0.1	0.1
CV %	12.9	9.9	1.5	4.2	4.2
Ecart relatif %	9.2	7.0	1.0	2.9	3.0

Période 4 : du 09/07/2007 au 16/07/2007

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Quai République	2.1	4.7	1.1	3.6	2.5
	1.7	4.3	1.1	3.3	2.2
Moyenne	1.9	4.5	1.1	3.5	2.3
Ecart-type	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2
CV %	16.0	7.0	2.7	5.2	9.5
Ecart relatif %	11.3	5.0	1.9	3.7	6.7

Phase II :

Site	Période	NO ₂	Moyenne	Ecart-type	CV %	Ecart relatif %
Hall République	15/01/2008	27.9				
	- 28/01/2008	disparu				
Hall République	28/01/2008	35.3	35.7	0.6	1.6	1.1
	- 11/02/2008	36.1				

Période 1 : du 14/01/2008 au 21/01/2008

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Hall République	1.4	4.5	0.8	2.2	1.7
	1.3	4.9	0.9	2.3	1.8
Moyenne	1.3	4.7	0.8	2.2	1.7
Ecart-type	0.0	0.3	0.0	0.1	0.1
CV %	3.1	5.5	6.0	3.3	4.0
Ecart relatif %	2.2	3.9	4.2	2.4	2.8

Période 2 : du 21/01/2008 au 28/01/2008

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Hall République	1.6	4.6	1.4	4.3	2.6
	1.9	5.3	1.6	5.0	3.0
Moyenne	1.7	4.9	1.5	4.6	2.8
Ecart-type	0.2	0.4	0.1	0.5	0.3
CV %	12.1	9.1	10.0	11.0	9.7
Ecart relatif %	8.5	6.4	7.1	7.7	6.9
Hall Eurotéléport	1.9	6.0	0.9	3.5	1.4
	2.0	6.1	1.0	3.5	1.4
Moyenne	1.9	6.0	1.0	3.5	1.4
Ecart-type	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
CV %	5.1	1.1	1.8	0.9	0.1
Ecart relatif %	3.6	0.8	1.3	0.7	0.0
Tunnel Eurotéléport	1.5	4.8	0.8	2.2	0.8
	1.5	4.5	0.6	2.0	0.8
Moyenne	1.5	4.6	0.7	2.1	0.8
Ecart-type	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0
CV %	1.6	4.9	21.4	7.1	4.8
Ecart relatif %	1.1	3.5	15.2	5.0	3.4

Période 3 : du 28/01/2008 au 04/02/2008

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Hall République	1.6	3.3	0.8	2.5	1.3
	1.4	3.0	0.7	2.2	1.1
Moyenne	1.5	3.1	0.7	2.4	1.2
Ecart-type	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1
CV %	9.8	8.2	10.5	9.2	9.5
Ecart relatif %	6.9	5.8	7.4	6.5	6.7
Hall Eurotéléport	1.8	6.8	2.2	7.6	1.9
	1.8	6.7	2.3	7.7	1.9
Moyenne	1.8	6.8	2.2	7.7	1.9
Ecart-type	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CV %	1.9	0.4	0.7	0.6	1.7
Ecart relatif %	1.3	0.3	0.5	0.4	1.2
Tunnel Eurotéléport	1.2	2.7	0.6	1.5	0.5
	1.3	3.1	0.5	1.6	0.6
Moyenne	1.3	2.9	0.5	1.6	0.6
Ecart-type	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0
CV %	3.9	8.1	16.0	5.3	4.6
Ecart relatif %	2.7	5.7	11.3	3.7	3.3

Période 4 : du 04/02/2008 au 11/02/2008

Site	Benzène	Toluène	Ethylbenzène	m+p-xylènes	o-xylène
Hall République	2.3	10.4	1.1	3.9	1.4
	2.6	11.6	1.2	4.4	1.5
Moyenne	2.5	11.0	1.2	4.2	1.5
Ecart-type	0.2	0.9	0.1	0.3	0.1
CV %	8.5	8.1	9.6	8.2	7.6
Ecart relatif %	6.0	5.8	6.8	5.8	5.4
Hall Eurotéléport	3.4	10.7	2.0	7.4	2.6
	3.6	11.0	2.0	7.6	2.7
Moyenne	3.5	10.8	2.0	7.5	2.6
Ecart-type	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1
CV%	4.8	1.6	0.9	1.5	3.2
Ecart relatif %	3.4	1.1	0.7	1.0	2.3

La concordance entre les valeurs est globalement satisfaisante (majorité des écarts relatifs inférieure ou proche de 10%). Ces résultats démontrent de façon générale, une bonne répétabilité des mesures par tube passif.

Cela dit, certaines valeurs d'écart-type (en rouge) ont été bien supérieures à 10%, notamment durant la période estivale. Il a été donc convenu pour ces doublons d'examiner précisément les valeurs. Pour cela, nous avons comparé les concentrations relevées sur les sites « suspects » avec celles des autres sites de la même période de prélèvement, mais également avec celles des mêmes sites pour les autres semaines. L'examen a montré que certaines valeurs (surlignées en rouge) étaient trop élevées. Elles ont donc été éliminées.

Correction des données

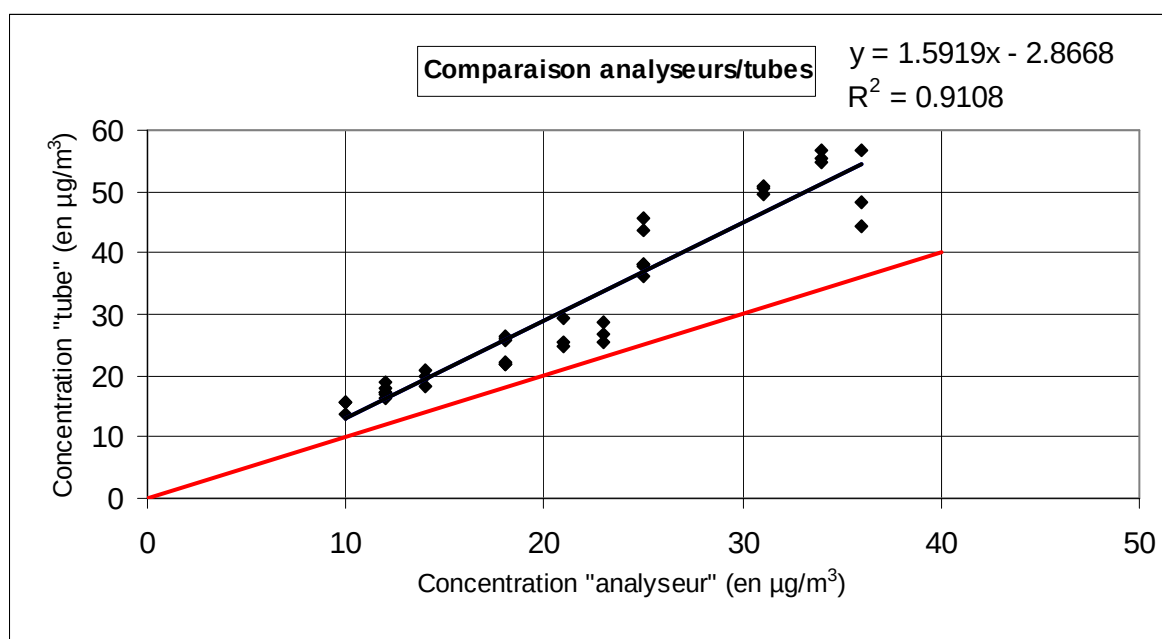
Pour la mesure du dioxyde d'azote, des mesures effectuées par les AASQA de France ont montré une surestimation systématique des résultats fournis par les tubes préparés et analysés par le Laboratoire Suisse PASSAM AG par rapport aux analyseurs automatiques. Cette surestimation ne semble pas être due aux effets de paramètres environnementaux, mais plutôt à l'utilisation par PASSAM AG d'un débit d'échantillonnage qui n'est pas en accord avec l'application de la 1^{ère} Loi de Fick aux dimensions du tube.

Afin de corriger nos valeurs, nous avons donc réalisé une comparaison concentrations tubes/concentrations des analyseurs automatiques.

Pour cette campagne, durant la période de mesures estivale, trois tubes passifs ont été placés sur la tête de prélèvement de 5 stations fixes de typologie différente (urbaine et trafic) de façon à obtenir une gamme de concentrations assez large.

Pour chacun des triplets, un traitement statistique (écart type relatif) a été effectué afin d'éliminer les valeurs aberrantes. Les écart-types obtenus étant faibles, aucune valeur n'a été éliminée.

Les concentrations des tubes ont ensuite été comparées à celles mesurées par les analyseurs automatiques à l'aide d'un graphe représentant le nuage de corrélation de la concentration des tubes (en ordonnée) en fonction de la concentration des analyseurs (en abscisse) :



Si la réponse moyenne des tubes était correcte, le nuage de points suivrait parfaitement la bissectrice (trait rouge). Or, pour notre campagne, le nuage de points s'écarte de la bissectrice et les concentrations des tubes sont supérieures à celles des analyseurs.

Une correction de valeurs des tubes a été réalisée en appliquant l'équation de la courbe de tendance :

$$\text{Concentration ajustée du tube} = \frac{\text{Concentration de l'analyseur} + 2.8668}{1.5919}$$

Nous avons obtenu un coefficient de détermination R^2 égal à 0.9108. Ainsi, pour corriger les résultats des tubes passifs fournis par PASSAM AG et se ramener à la valeur calculée du débit d'échantillonnage, les concentrations brutes des tubes passifs fournies par PASSAM AG ont été multipliées par un pondérateur égal à 0.9108. Ainsi, les valeurs des tubes fournies par PASSAM AG ont été diminuées d'environ 9%.

Validation des données

Avant d'effectuer toute interprétation des résultats, il est primordial de s'assurer de l'homogénéité et de la validité de la base de données obtenue.

En premier lieu, nous avons vérifié que l'ensemble des valeurs étaient bien supérieures à la limite de détection ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le dioxyde d'azote et $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les BTEX).

Puis, il fut convenu d'effectuer une validation métrologique. Ainsi, un certain nombre de valeurs ont été exclues, pour diverses raisons : tubes volés, écrasés.

Ensuite, les valeurs suspectes ont été éliminées par un traitement statistique en comparant l'écart de la concentration du site à la moyenne de chacune des campagnes.

Enfin, nous avons examiné les données une à une, suivant les conditions météorologiques, les valeurs voisines géographiquement. Pour cette validation « manuelle », aucune valeur n'a été éliminée.

Traitements des données des analyseurs automatiques

La validation des données recueillies par les analyseurs automatiques a été effectuée suivant les critères inscrits dans le guide *Règles et recommandations en matière de : Validations des données – Critères d'agrégation – Paramètres statistiques* rédigé en 2003 par un groupe de travail de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Puis, il a été examiné que l'ensemble des données recueillies par polluant contenait au moins 75% de données validées, dans le but de réaliser ensuite les différentes agrégations. Concentrations moyennes en silice cristalline durant la campagne de mesures

Résultats silice cristalline

Phase I :

Date de prélèvement	Polluant	Concentration moyenne (mg/m ³)
03/07/07	Poussières alvéolaires	0.156
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
05/07/07	Poussières alvéolaires	0.248
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
06/07/07	Poussières alvéolaires	0.235
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
09/07/07	Poussières alvéolaires	0.254
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
10/07/07	Poussières alvéolaires	0.242
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
12-13/07/07	Poussières alvéolaires	0.161
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
13/07/07	Poussières alvéolaires	0.264
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
16/07/07	Poussières alvéolaires	0.249
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
Phase I	Poussières alvéolaires	0.226
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND

ND = Non détecté

Phase II :

Date de prélèvement	Polluant	Concentration moyenne (mg/m ³)
16/01/08	Poussières alvéolaires	<0.272
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
18/01/08	Poussières alvéolaires	<0.243
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
21/01/08	Poussières alvéolaires	<0.252
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
22/01/08	Poussières alvéolaires	<0.265
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
29/01/08	Poussières alvéolaires	<0.086
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
31/01/08	Poussières alvéolaires	<0.083
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
04/02/08	Poussières alvéolaires	<0.255
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
07/02/08	Poussières alvéolaires	<0.089
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND
Phase II	Poussières alvéolaires	<0.193
	Quartz	<0.003
	Cristobalite	<0.003
	Tridymite	ND

La concentration de la silice cristalline se détermine selon la formule d'additivité suivante :

$$Cns/Vns + Cq/0.1 + Cc/0.05 + Ct/0.05 \leq 1$$

Avec Cns (en mg/m³) : concentration en poussières alvéolaires non silicogènes ;

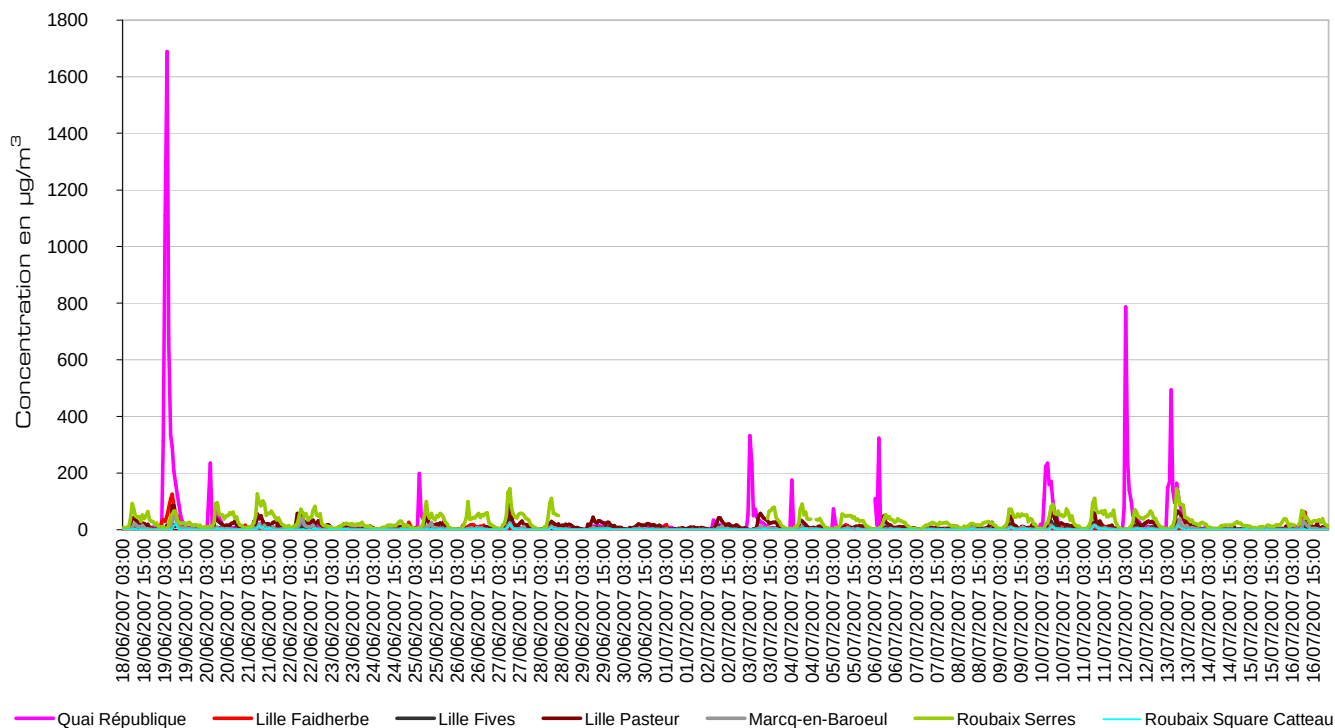
Vns : valeur limite d'exposition pour les poussières alvéolaires sans effet spécifique (5 mg/m³) ;

Cq, Cc et Ct (mg/m³) : concentrations respectives en quartz, cristobalite et tridymite.

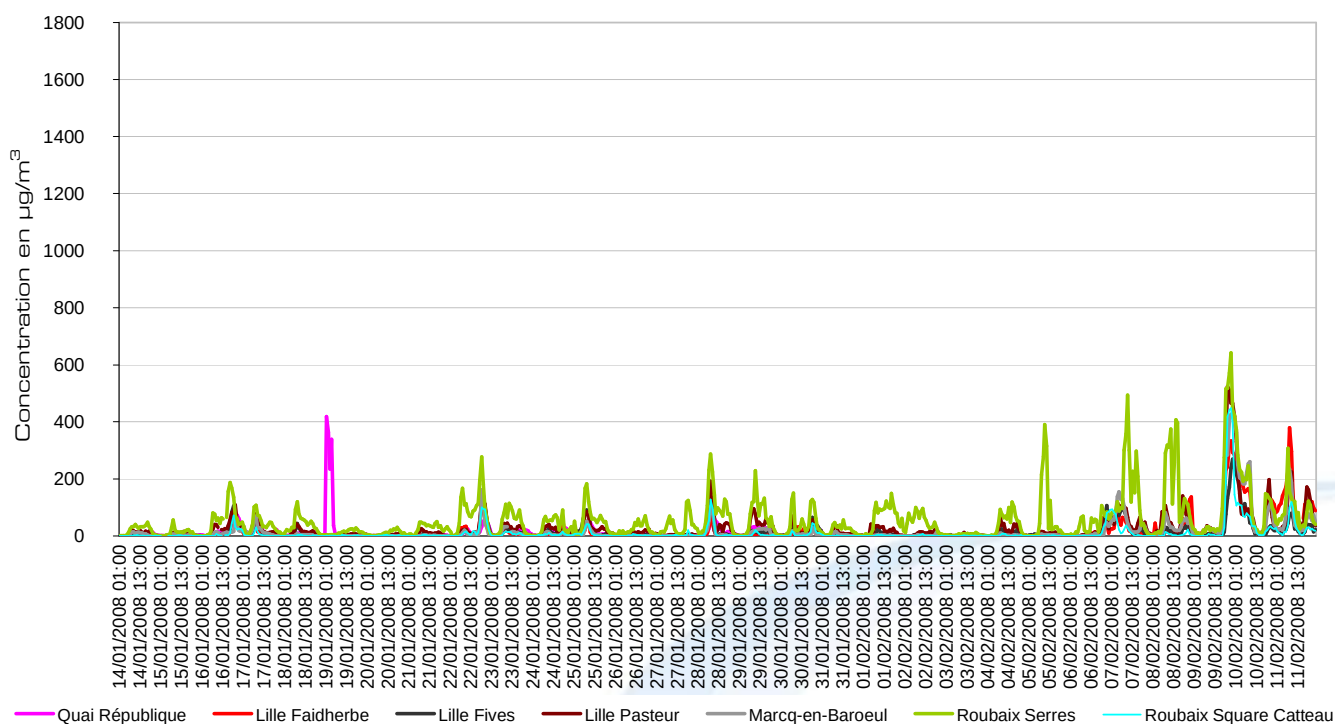
Evolutions des moyennes horaires

Le monoxyde d'azote

Monoxyde d'azote - NO
Phase I

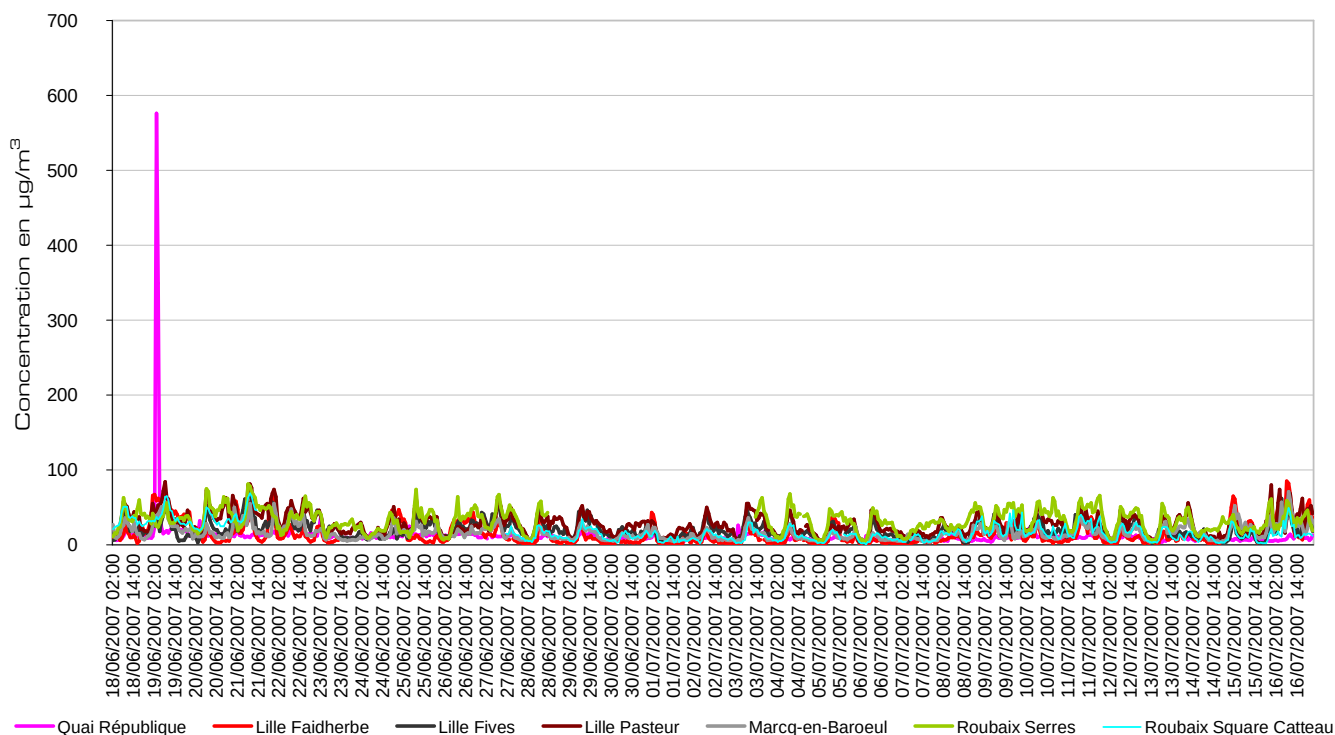


Monoxyde d'azote - NO
Phase II

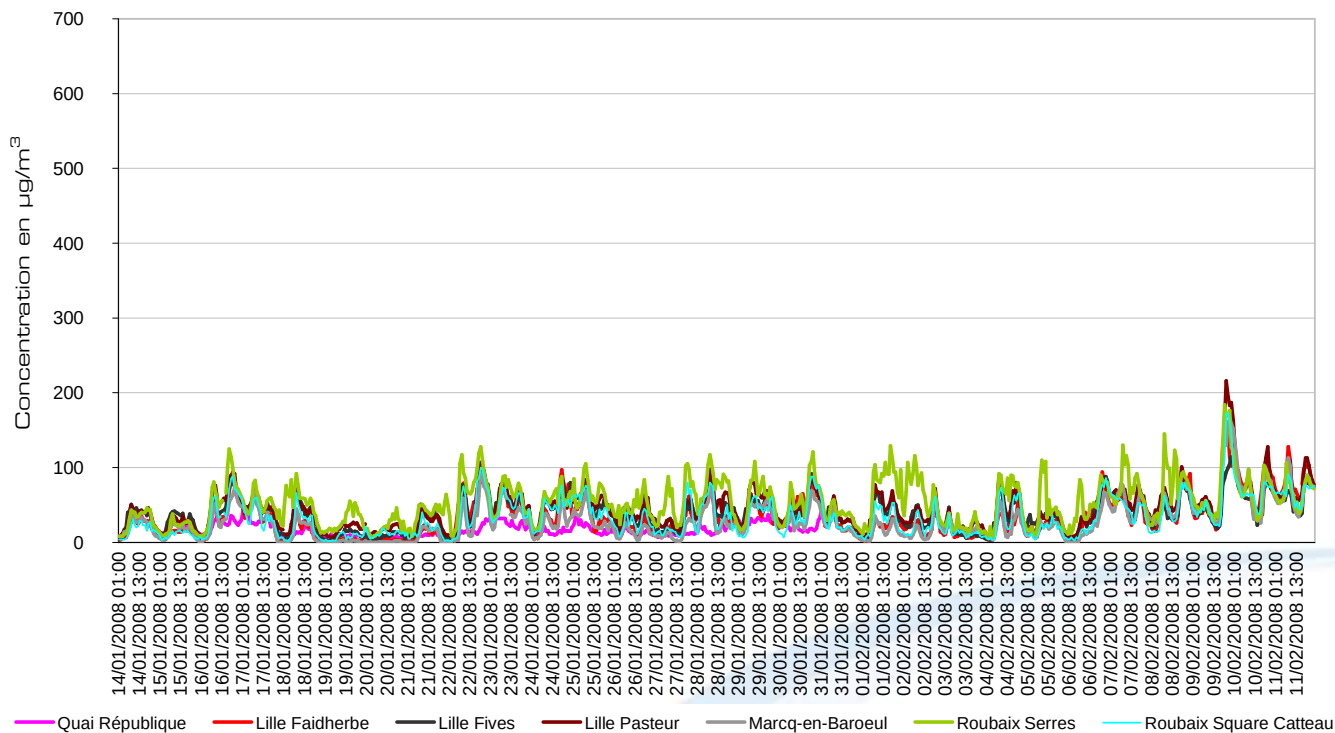


Le dioxyde d'azote

Dioxyde d'azote - NO₂
Phase I

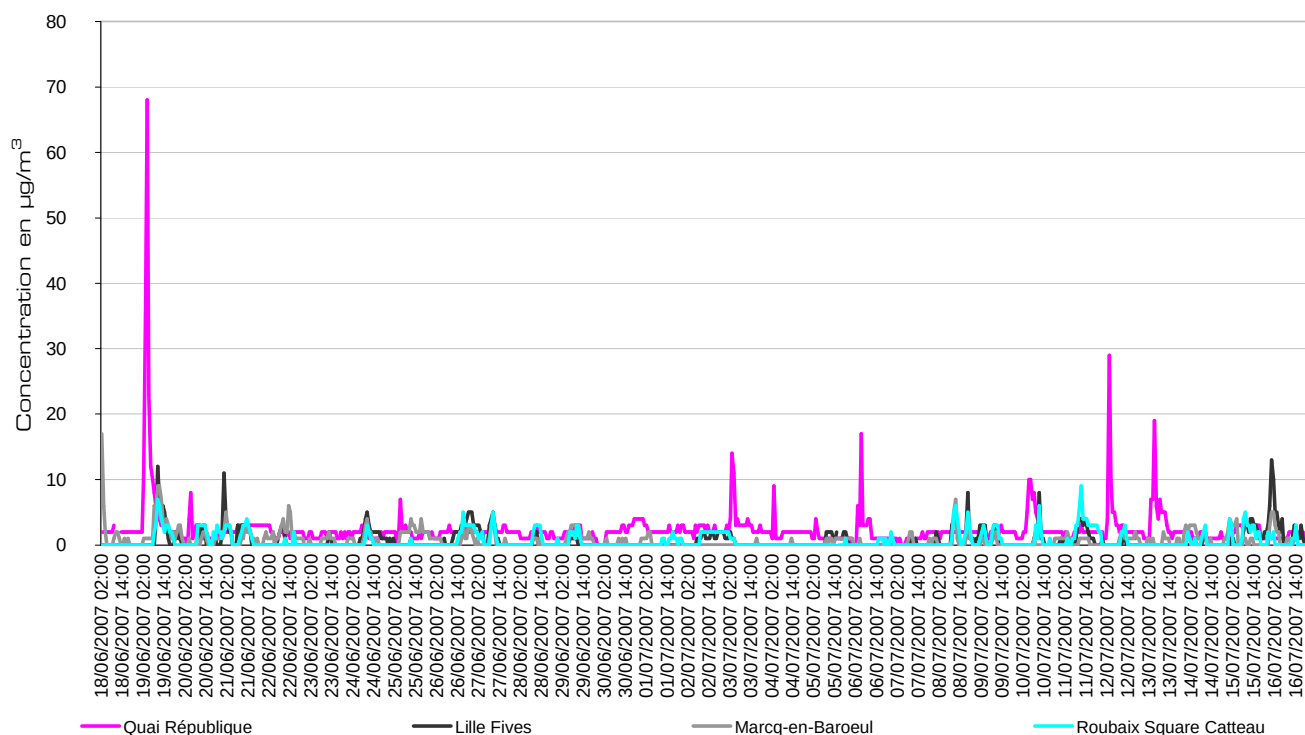


Dioxyde d'azote - NO₂
Phase II



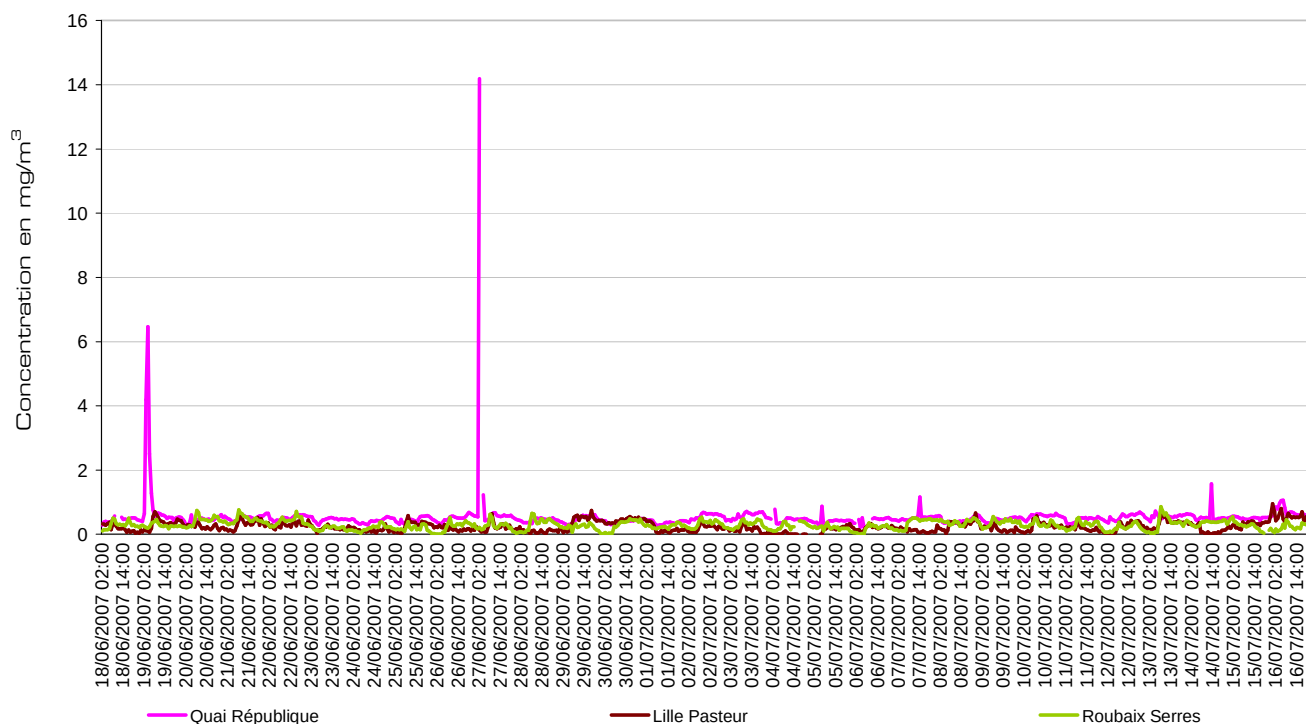
Le dioxyde de soufre

Dioxyde de soufre - SO₂
Phase I

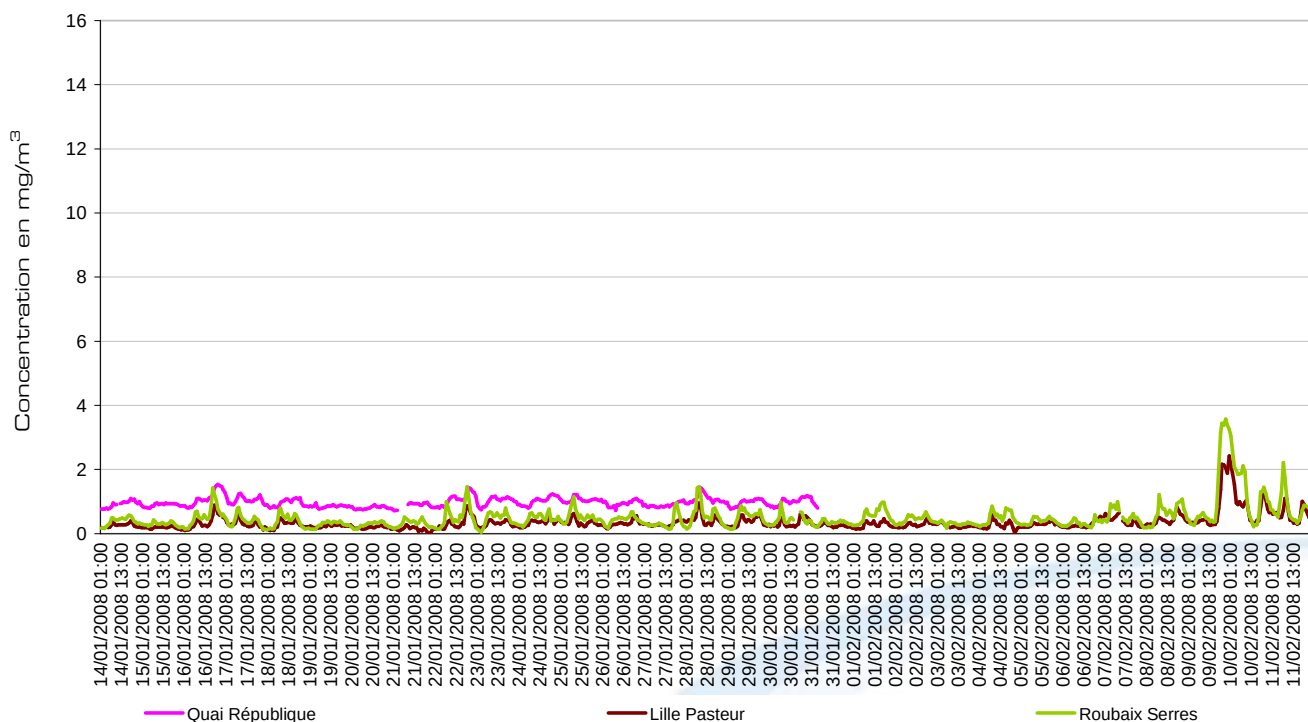


Le monoxyde de carbone

Monoxyde de carbone - CO
Phase I

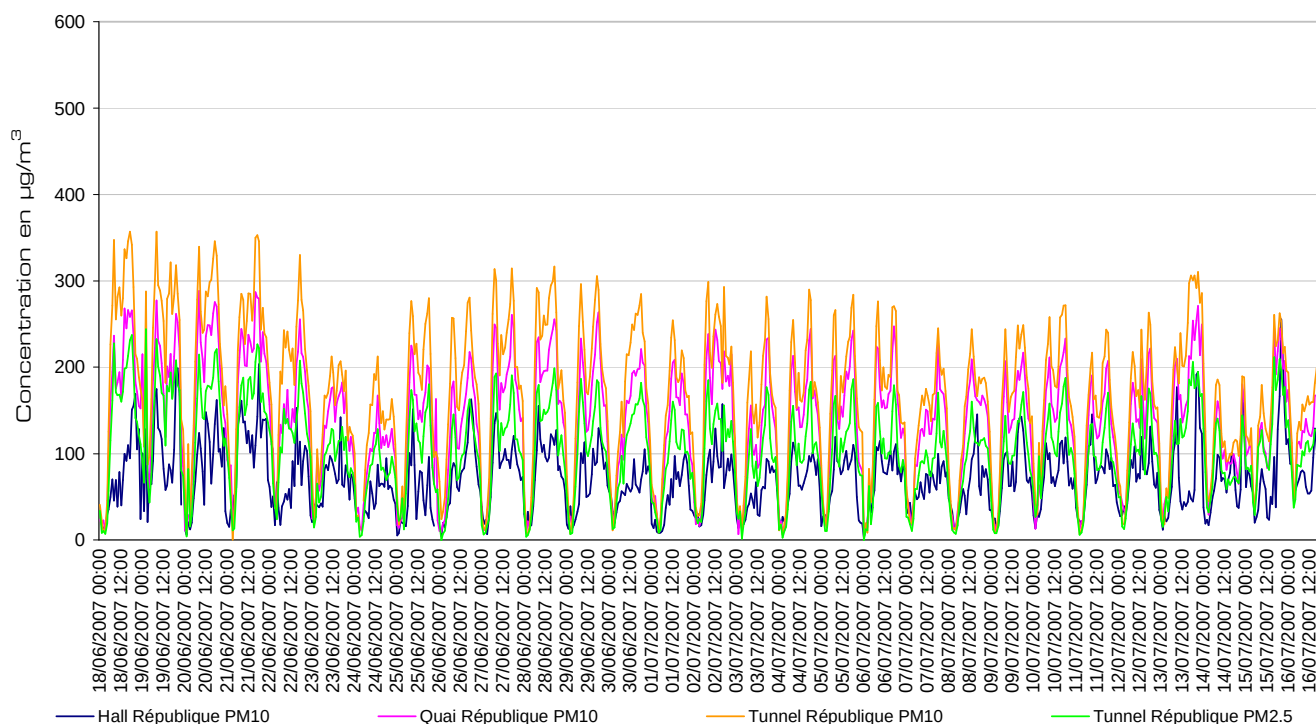


Monoxyde de carbone - CO
Phase II

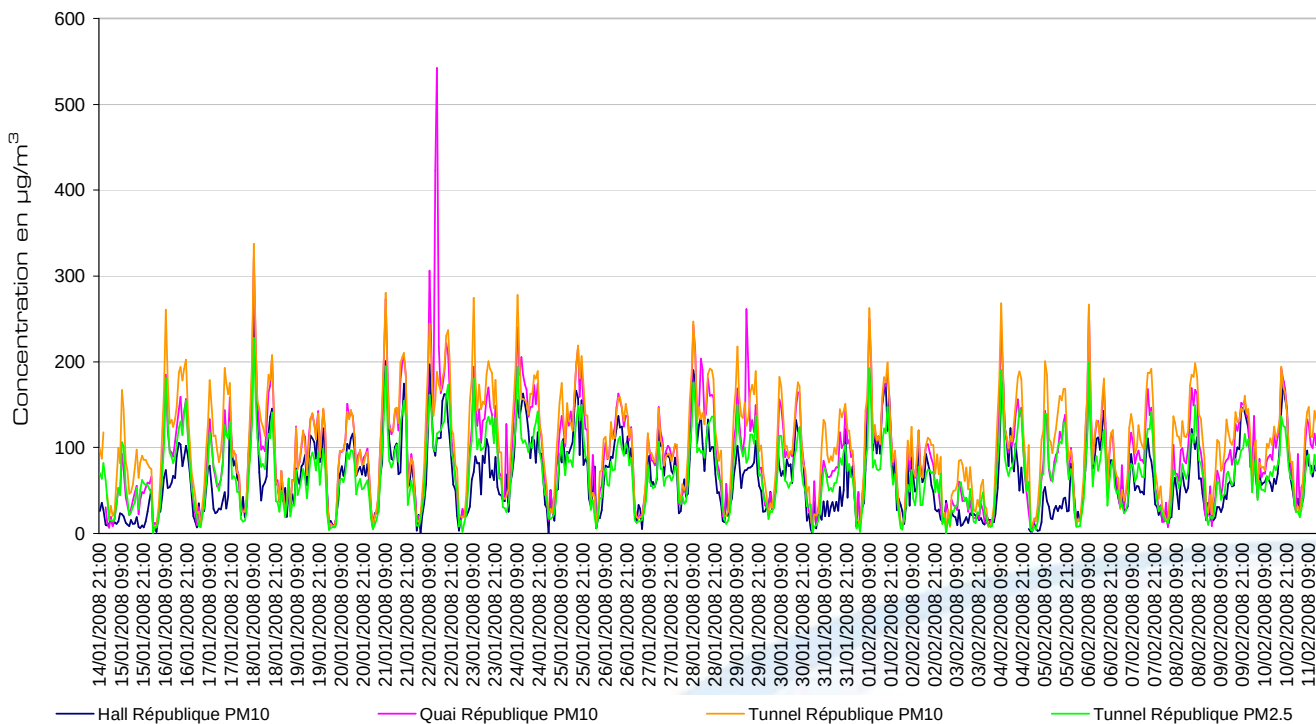


Les poussières en suspension

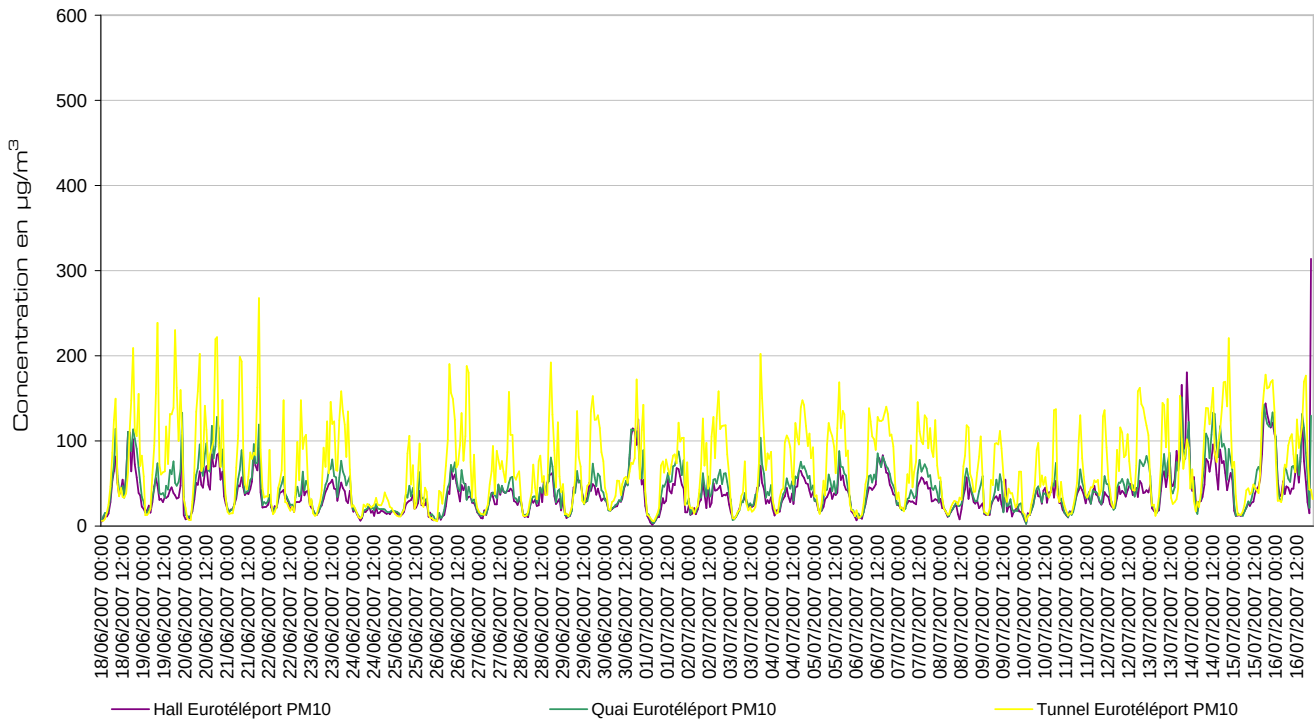
Poussières en suspension - Ps
Phase I



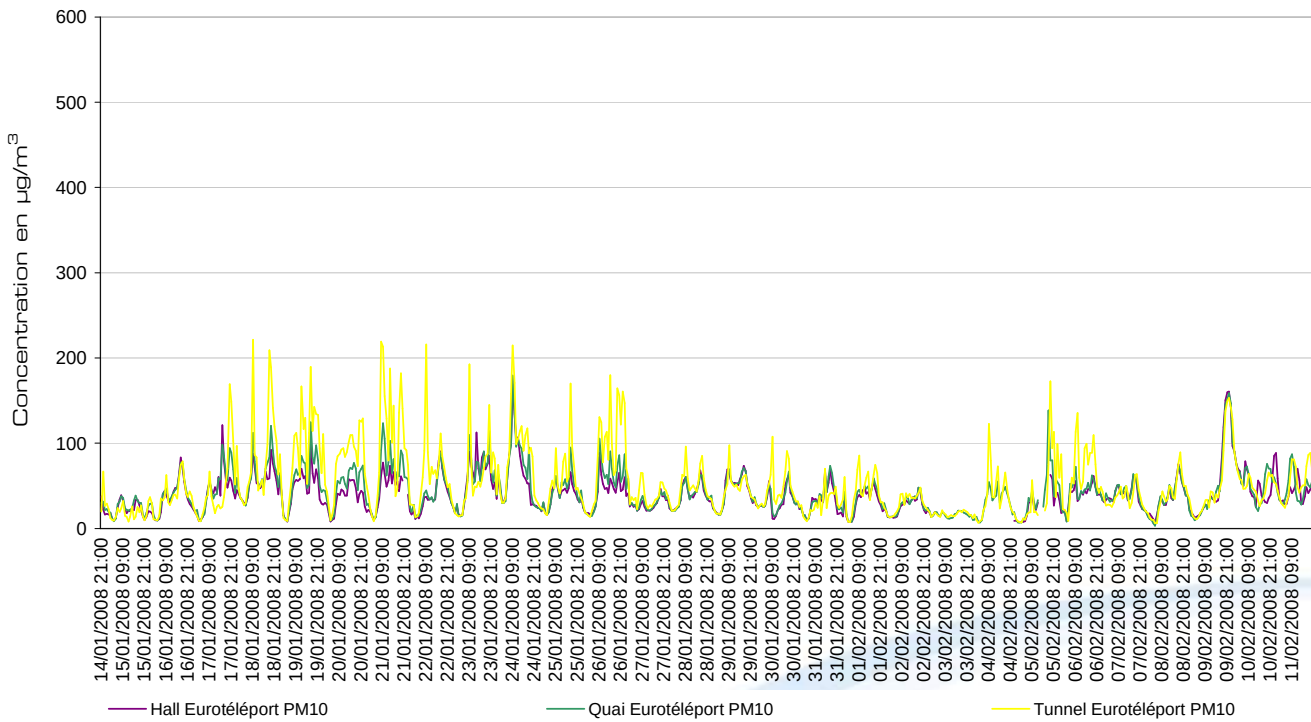
Poussières en suspension - Ps
Phase II



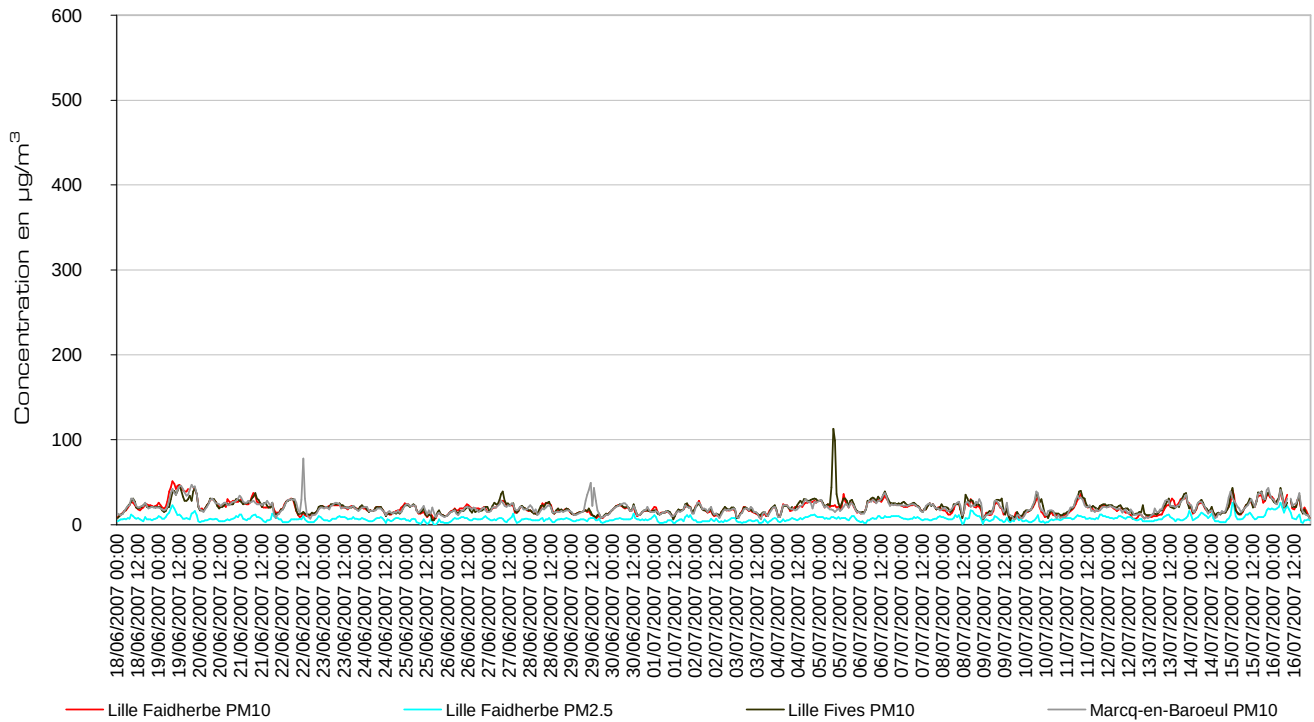
Poussières en suspension - Ps Phase I



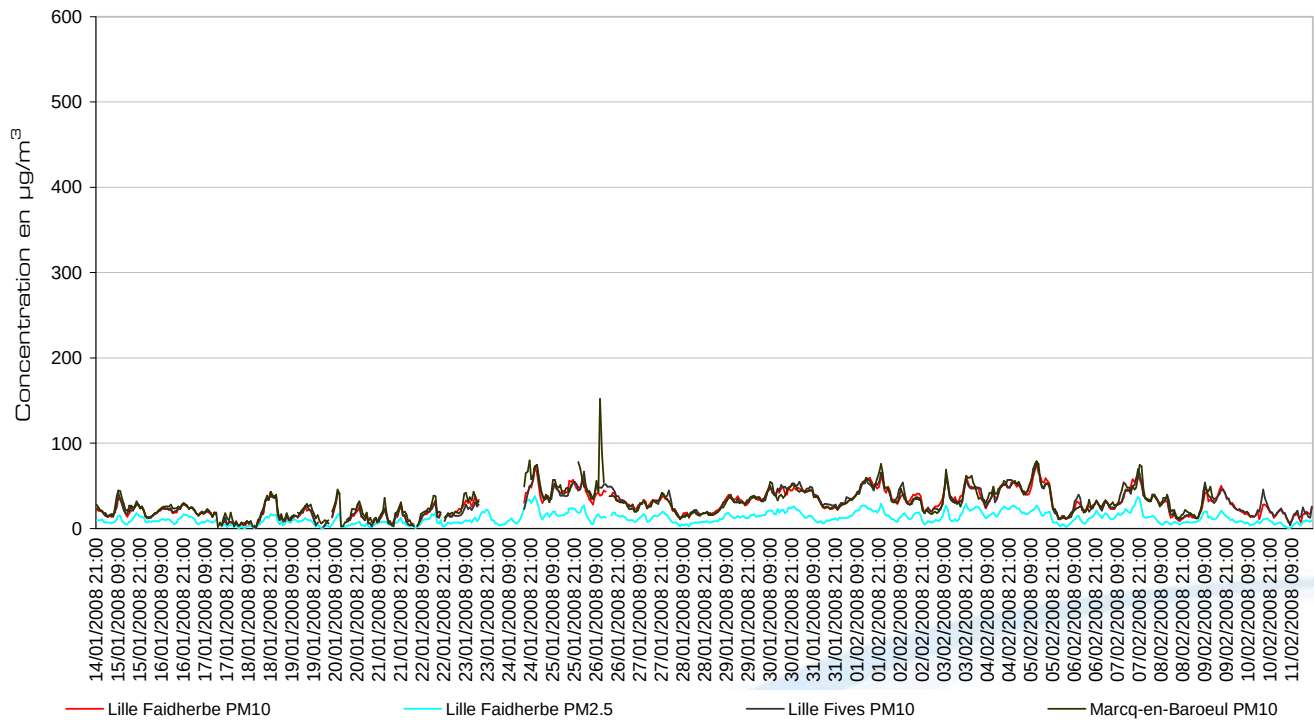
Poussières en suspension - Ps Phase II



Poussières en suspension - Ps Phase I

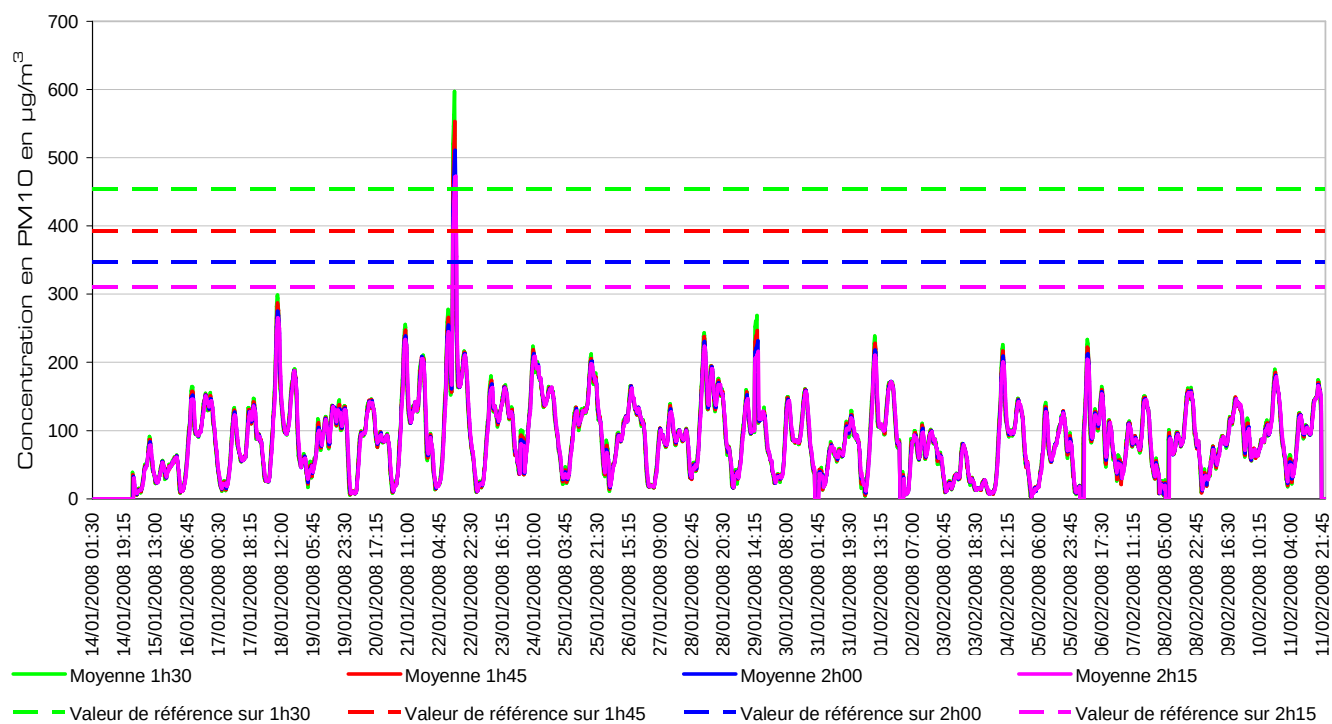


Poussières en suspension - Ps Phase II

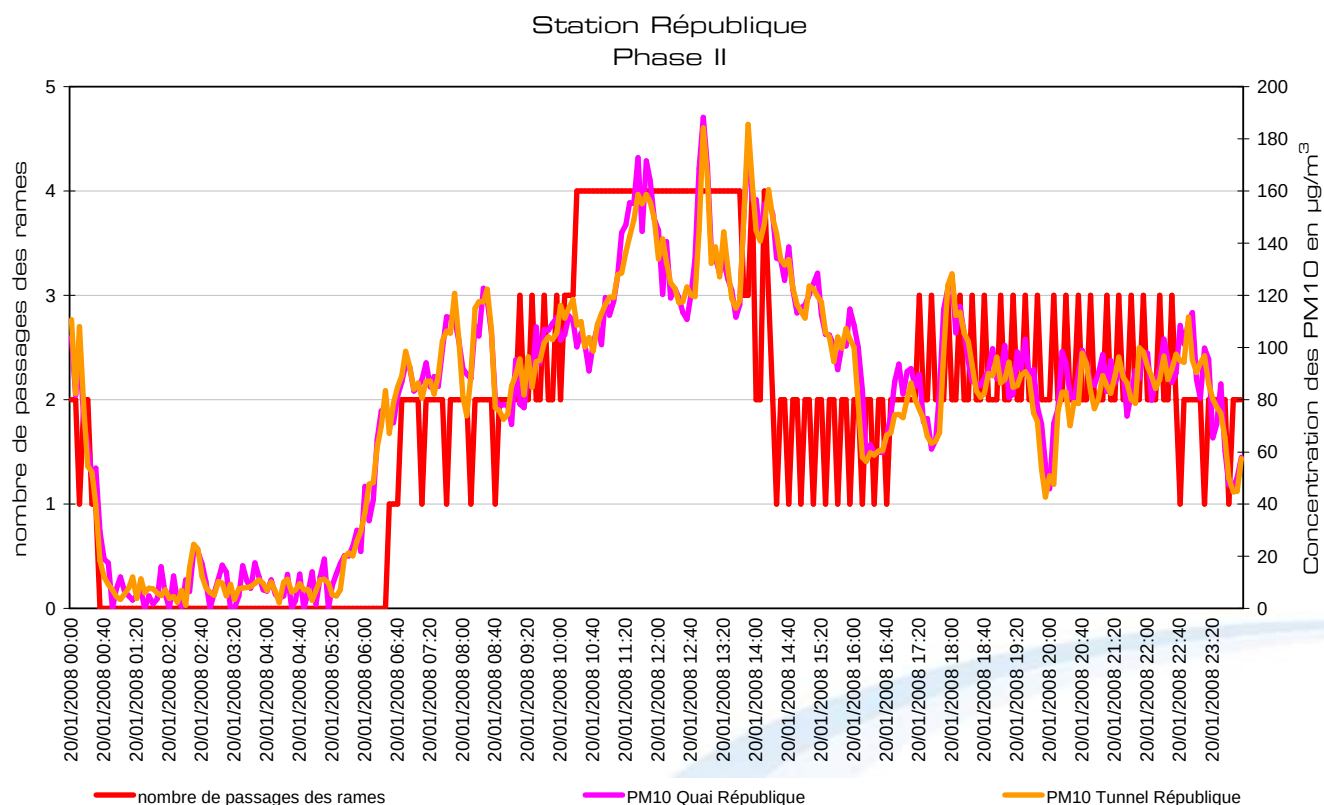
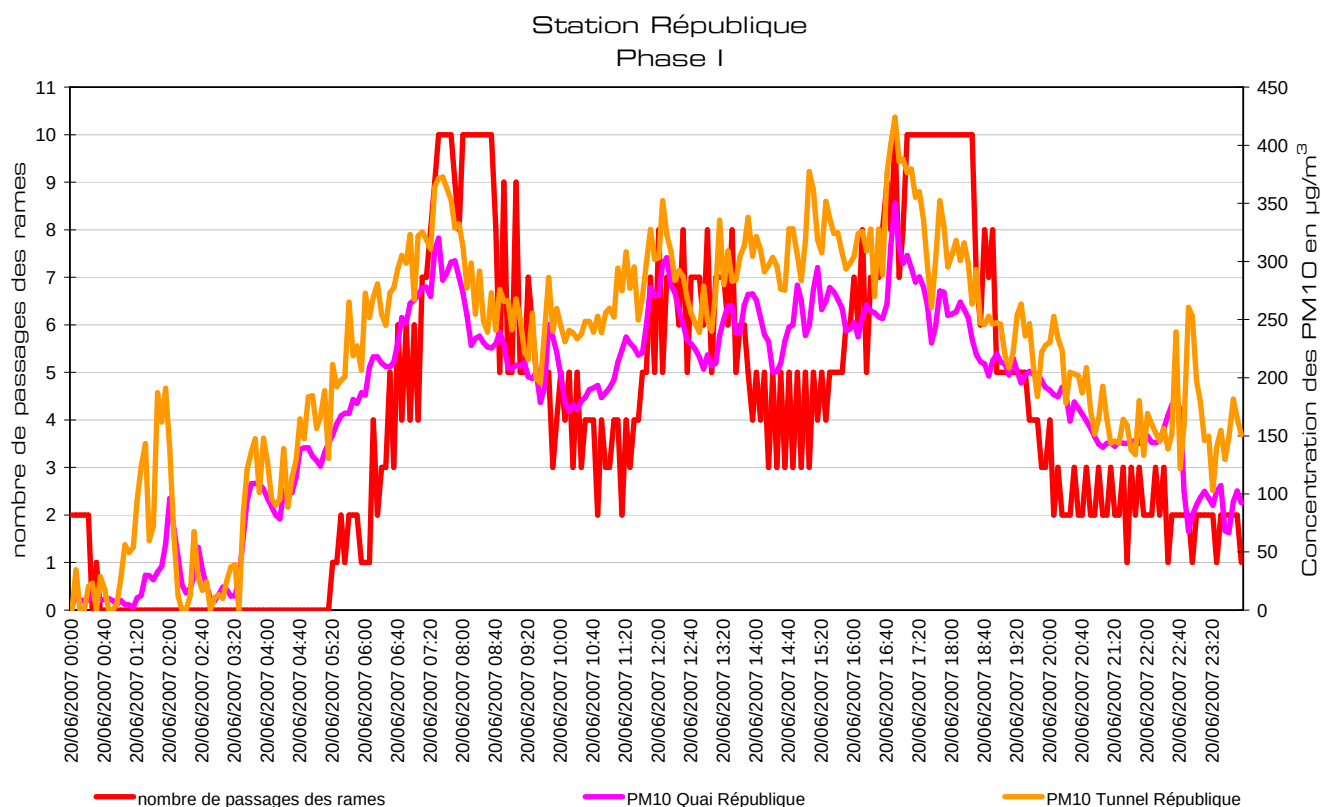


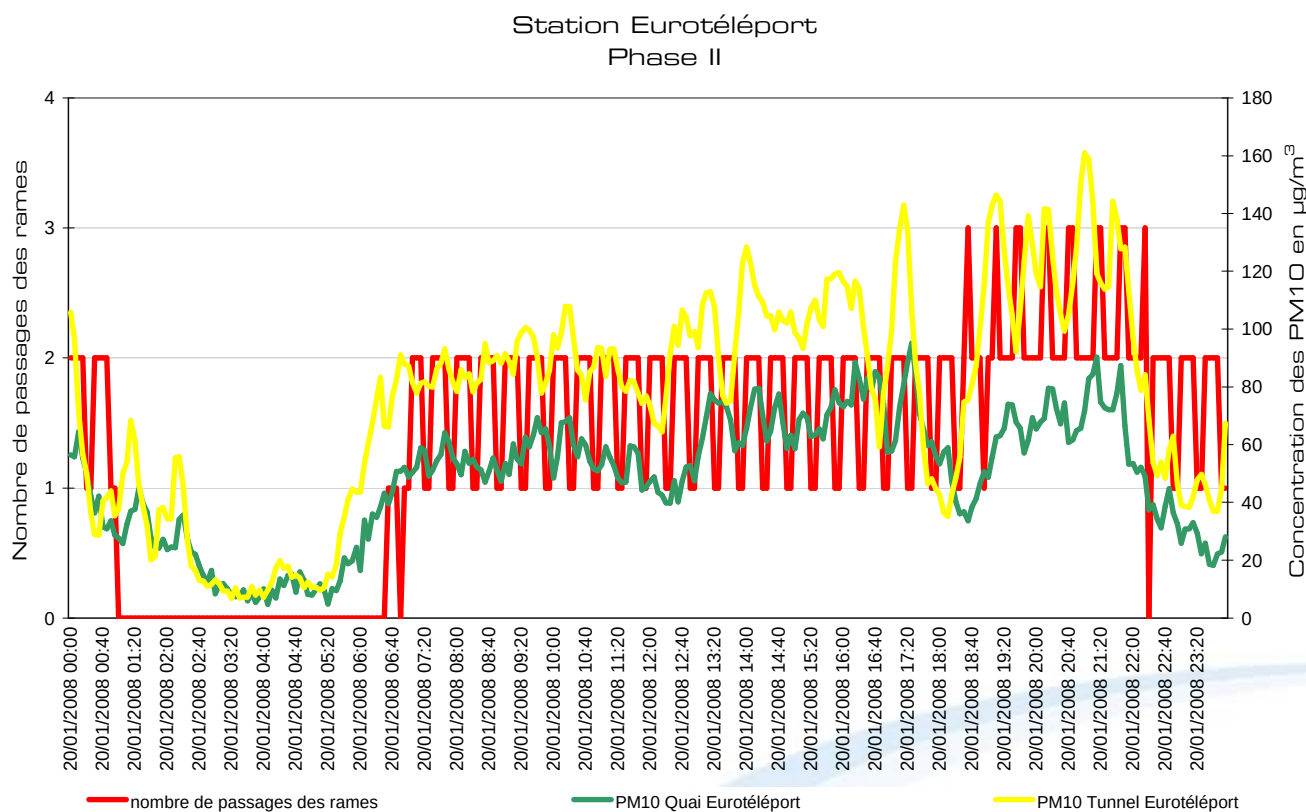
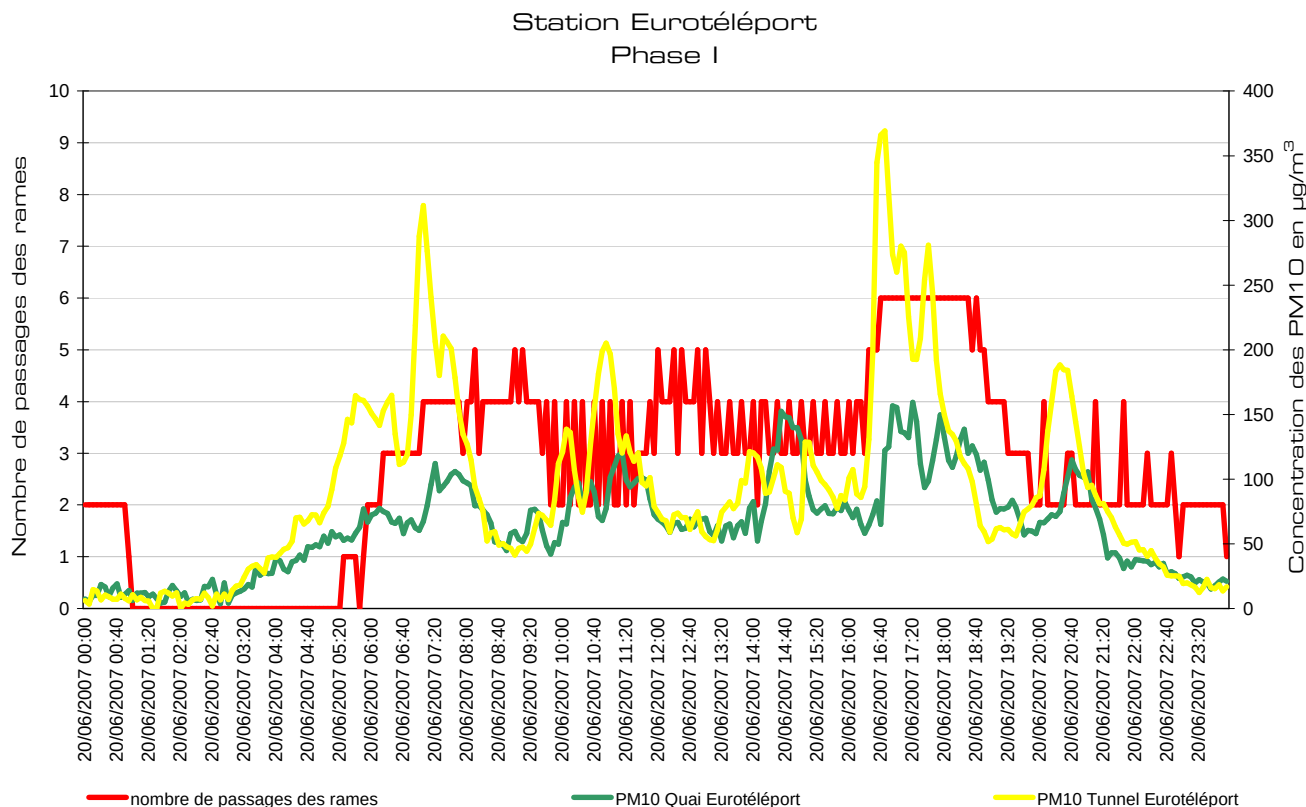
Concentrations en PM10 mesurées sur le quai République sur les temps d'exposition données par le CSHPF

Phase II : Poussières en suspension sur le quai République



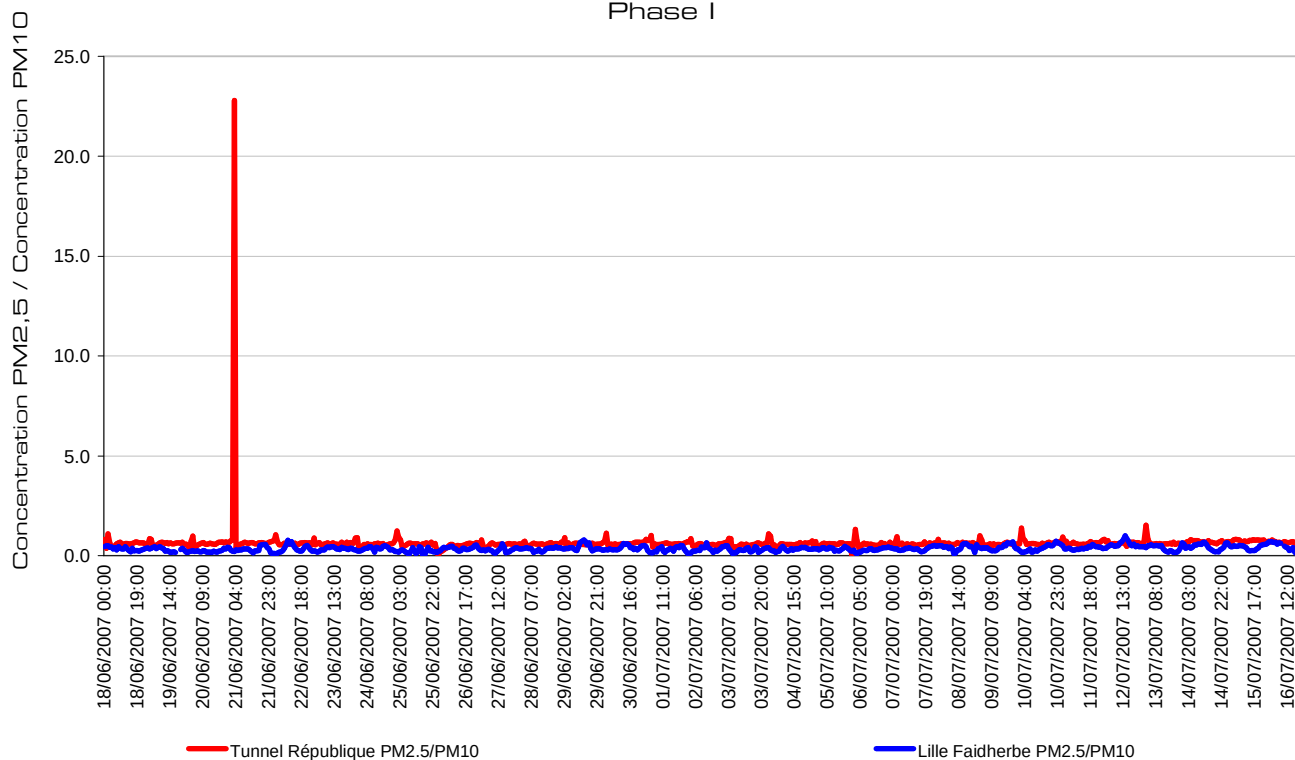
Influence du trafic métro



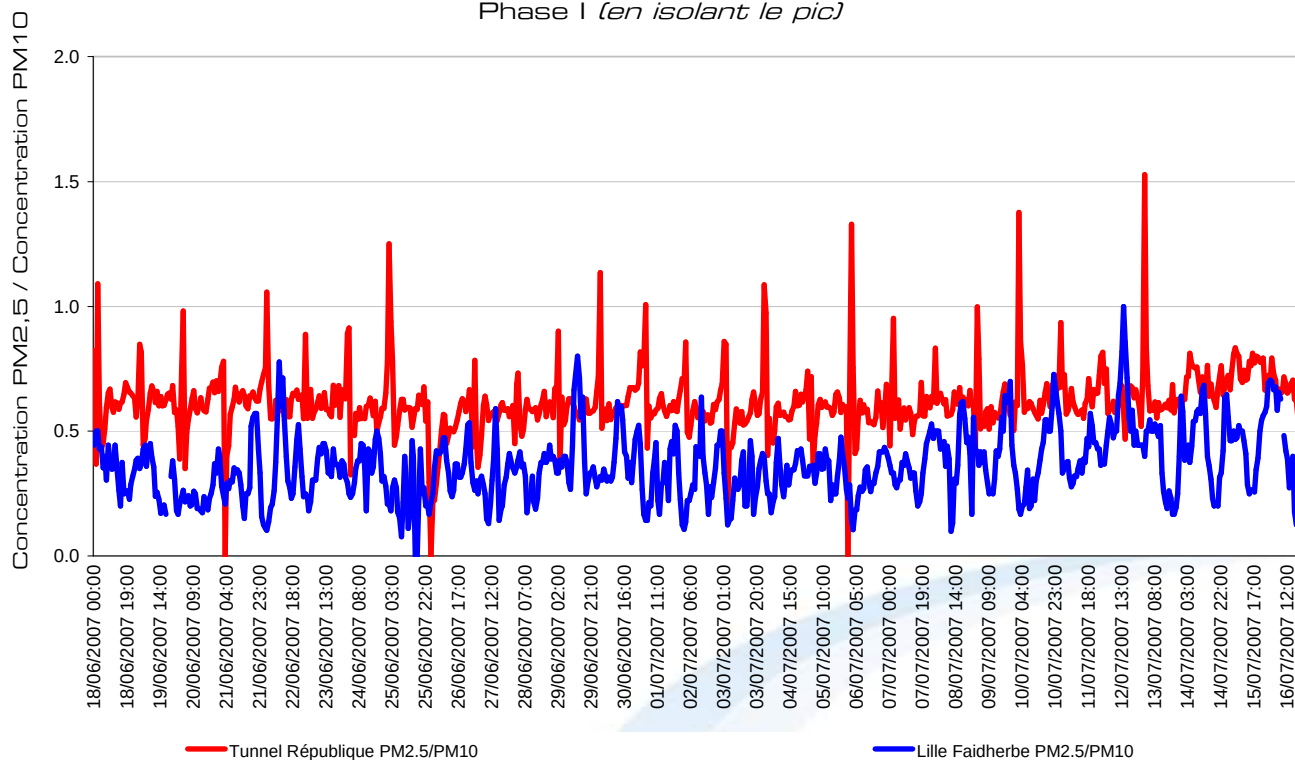


Etude de la répartition des tailles des particules émises dans le tunnel de Lille République

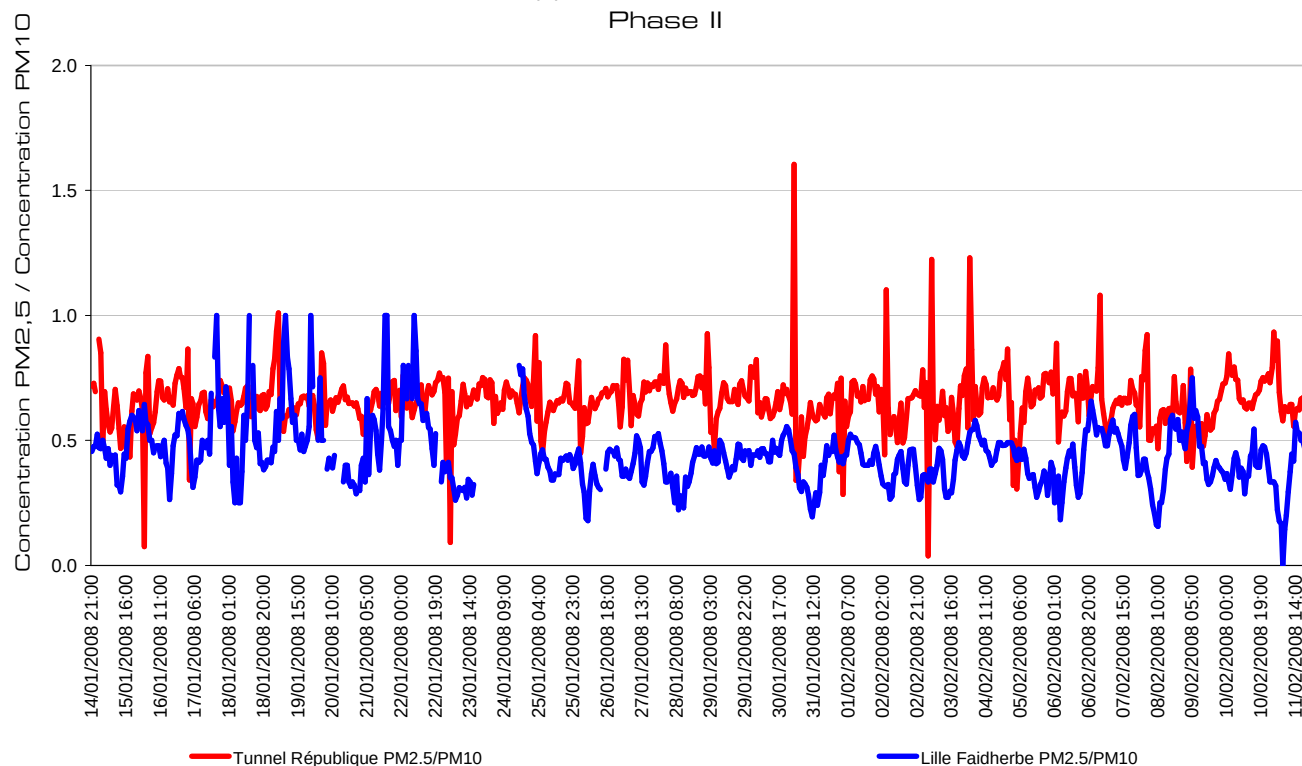
Rapport PM2.5/PM10
Phase I



Rapport PM2.5/PM10
Phase I *(en isolant le pic)*

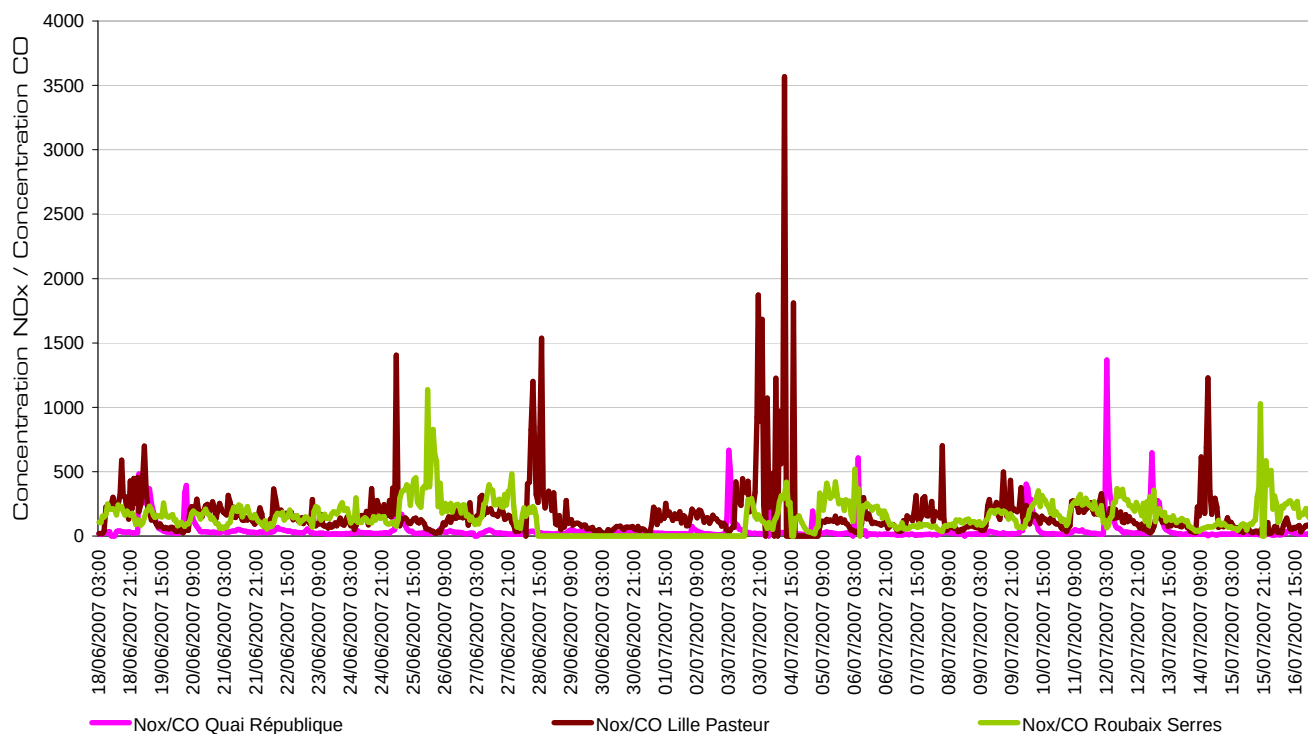


Rapport PM2.5/PM10 Phase II

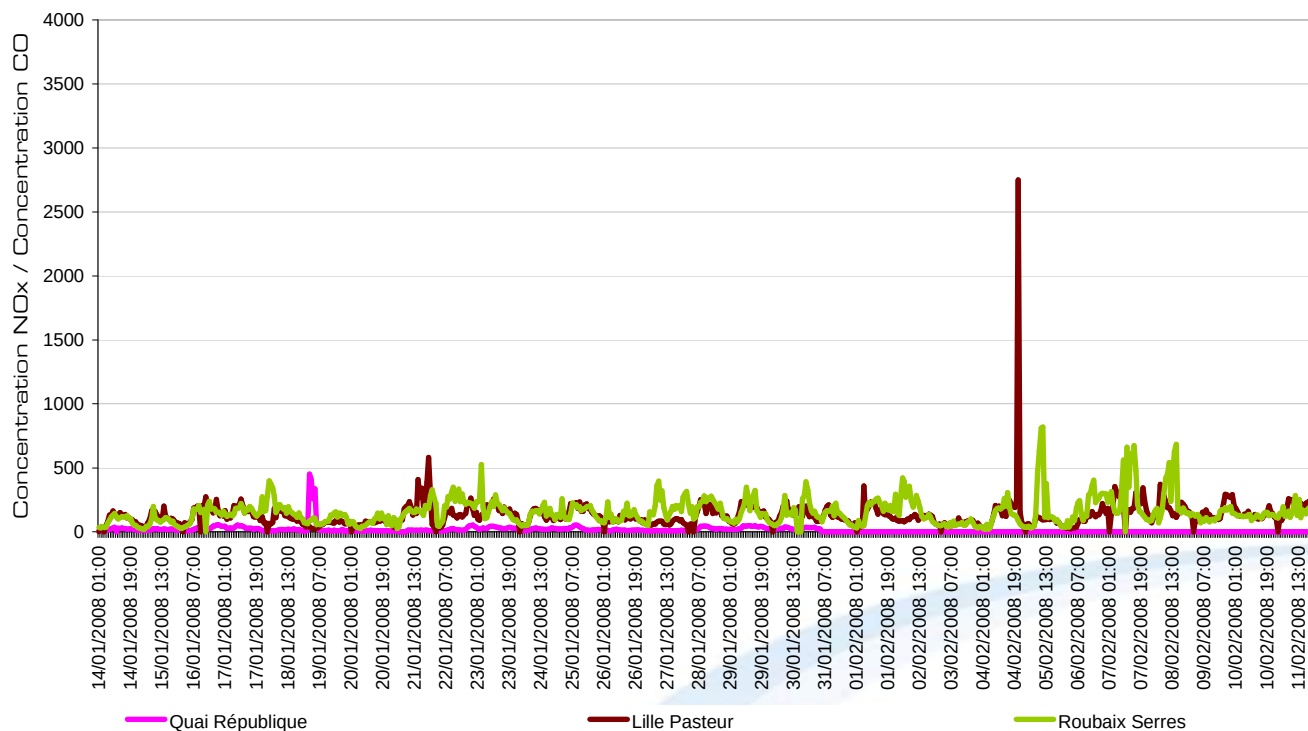


Mise en relation des niveaux de pollution avec le trafic ferroviaire

Rapport NOx/CO
Phase I



Rapport NOx/CO
Phase II



Evolution des concentrations lors des interruptions de lignes

Evolutions des teneurs en poussières en suspension lors de l'interruption de lignes le
11 Janvier 2008

