



**ETUDE PRELIMINAIRE
DE LA QUALITE DE L'AIR
DANS LE METRO LYONNAIS
(21 OCTOBRE - 6 NOVEMBRE 2002)**



INTRODUCTION	5
1 LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	7
1.1 POLLUANTS PROSPECTES	7
1.1.1 Les poussières ou particules en suspension (PM_{10} et $PM_{2,5}$)	7
1.1.2 Les oxydes d'azote (NO_x)	8
1.1.3 Le monoxyde de Carbone (CO)	8
1.2 EFFETS DES POLLUANTS SUR LA SANTE ET SUR L'ENVIRONNEMENT	9
1.2.1 Les particules en suspension	9
1.2.1.1 Santé	9
1.2.1.2 Environnement	10
1.2.2 Les oxydes d'azote (NO_x)	10
1.2.2.1 Santé	10
1.2.2.2 Environnement	10
1.2.3 Le monoxyde de Carbone (CO)	10
1.2.3.1 Santé	10
1.2.3.2 Environnement	10
1.3 LA REGLEMENTATION	11
1.3.1 La loi sur l'air	11
1.3.2 Les directives européennes	13
1.3.3 La surveillance de l'atmosphère des lieux de travail	15
1.3.4 La qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines	16
1.3.4.1 Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France	16
1.3.4.2 Application aux enceintes souterraines du métro lyonnais	17
2 METHODOLOGIE ADOPTÉE	19
2.1 PERIODES DE MESURE	19
2.1.1 En règle générale	19
2.1.2 Dans le cadre de l'étude	19
2.2 NOMBRE ET CHOIX DES SITES DE MESURES	19
2.3 POLLUANTS MESURES ET PARAMETRES D'INFLUENCE	19
2.3.1 En règle générale	19
2.3.2 Dans le cadre de l'étude	19
2.3.2.1 Sources d'émissions internes : problématique des poussières PM_{10} et $PM_{2,5}$	20
2.3.2.2 Climatologie et sources d'émissions externes (polluants gazeux)	20
2.3.2.3 Population concernée	20
3 PRÉSENTATION DES SITES DE MESURES	21
3.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU MÉTRO LYONNAIS	21
3.2 PRÉSENTATION DES SITES DE MESURES	22
3.2.1 Cabines laboratoires	22
3.2.1.1 Cabine 1 : « Gare de Vénissieux » (Métro D)	23
3.2.1.2 Cabine 2 : « Bellecour » (Métro D)	24
3.2.1.3 Cabine 3 : « Gare de Perrache » (Métro A)	25
3.2.1.4 Cabine 4 : « Foch » (Métro A)	26
3.2.2 Sites fixes de comparaison	27
3.2.2.1 Croix-Luizet	27
3.2.2.2 La Mulatière	27
3.2.2.3 Berthelot	27
PLAN RECAPITULATIF DES MESURES	29
PLAN GÉNÉRAL : EMBLEMMENT DES SITES DE MESURES	31
4 RÉSULTATS DES MESURES	33
4.1 EXPRESSION DES RESULTATS	33
4.1.1 Représentation et interprétation des mesures	33
4.1.2 Unités et statistiques employées	33
4.2 PARTICULES EN SUSPENSION	34
4.2.1 Analyse quantitative	34
4.2.1.1 Résultats des mesures de particules fines (PM_{10})	34
4.2.1.2 Analyse des résultats station par station	41
4.2.1.3 Comparaison vis-à-vis des réglementation ou recommandations :	42
4.2.1.4 Comparaison avec d'autres études :	44
4.2.1.5 Influence du trafic et de la fréquentation	44

4.2.1.6	Influence du vent extérieur	54
4.2.2	Analyse granulométrique	57
4.2.2.1	Présentation des résultats	57
4.2.2.2	Analyse des résultats	65
4.2.2.3	Rapport PM _{2,5} / PM ₁₀	65
4.2.3	Analyse qualitative (composition chimique)	66
4.3	NIVEAUX EN POLLUANTS GAZEUX ET TEMPERATURE	68
4.3.1	Les oxydes d'azote (NO _x)	68
4.3.1.1	Le monoxyde d'azote (NO)	68
4.3.1.2	Le dioxyde d'azote (NO ₂)	69
4.3.2	Le monoxyde de carbone (CO)	69
4.3.3	La température	70
4.4	MESURES RÉALISÉES PAR L'APPA	73
	CONCLUSION	75
	ANNEXES	77

INTRODUCTION

Afin de mieux connaître la qualité de l'air respiré par ses usagers, la **SLTC**¹ (**Société Lyonnaise de Transports en Commun**) a fait appel à **COPARLY**² (**COMité pour le contrôle de la Pollution Atmosphérique dans le Rhône et la région Lyonnaise**) pour réaliser courant 2002 une campagne de mesure dans l'enceinte du métro lyonnais.

Les orientations du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable intègrent aujourd'hui les « espaces clos ouverts au public » et COPARLY s'intéresse à ce titre à la qualité de l'air dans le métro, et notamment à la problématique des poussières aérosols (particules en suspension dans l'air).

De récentes études réalisées dans des métros, en France ou à l'étranger, montrent en effet que ces particules constituent une problématique particulière dans les enceintes souterraines, et les dernières études épidémiologiques montrent également l'importance de ces polluants par comparaison aux composés gazeux.

COPARLY a donc proposé de réaliser une étude préliminaire, avec pour objectif de mieux connaître les niveaux de concentration des particules fines présentes dans l'atmosphère du métro lyonnais et leur évolution journalière, avec des instruments de mesures implantés dans quatre stations, sur deux lignes différentes du réseau :

- Gare de Perrache (Métro A)
- Foch (Métro A)
- Bellecour (Métro A et D)
- Gare de Vénissieux (Métro D)

Des mesures de **particules fines, de taille inférieure à 10 µm (notées PM₁₀)**³, ont donc été réalisées en continu sur dix-sept jours, **du 21 octobre au 6 novembre 2002**, entrecoupés d'une période de vacances scolaires (Toussaint). Les concentrations ont été comparées entre elles, ainsi qu'avec les valeurs mesurées à l'extérieur durant la même période sur le réseau fixe de surveillance la qualité de l'air de COPARLY. Les niveaux enregistrés ont également été comparés avec les résultats trouvés dans la littérature, selon d'autres études réalisés dans des enceintes de métro, en France ou à l'étranger. Par ailleurs, l'aspect réglementaire a été étudié sur la base de l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, publié en 2001.

Afin de compléter ces mesures, COPARLY a équipé certains de ses analyseurs d'une tête de prélèvement permettant de mesurer les **particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm (PM_{2,5})**, pour étudier la répartition granulométrique des poussières. Des prélèvements sur filtres ont également été mis en place, afin d'être analysés par spectrométrie de masse et de connaître la composition chimique des poussières recueillies.

Concernant les polluants gazeux, des analyseurs d'**oxydes d'azote (NO et NO₂)** et de **monoxyde de carbone (CO)** ont été installés dans une des quatre stations de métro étudiées (« Bellecour »), et les niveaux observés ont pu être comparés vis-à-vis des concentrations mesurées quotidiennement en air ambiant sur le réseau de surveillance de COPARLY, et de la réglementation en vigueur.

Enfin, ce rapport présente des résultats de mesures réalisées par l'APPA (Association pour la prévention de la pollution atmosphérique) avec des systèmes de prélèvements transportables permettant d'évaluer l'exposition individuelle aux particules très fines (PM_{2,5}). Ces mesures devant permettre, par la suite, d'évaluer l'exposition des citoyens à ces poussières en fonction de leur trajet journalier et des différents modes de transports utilisés à l'échelle de l'agglomération.

¹ Délégué de l'exploitation du réseau TCL (Transports en Commun Lyonnais) pour le compte du SYTRAL (Syndicat Mixte des Transports en commun pour le Rhône et l'Agglomération Lyonnaise).

² Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

³ 1 µm (micromètre ou micron) = 10⁻⁶ m = 0,001 mm

1 LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

1.1 Polluants prospectés

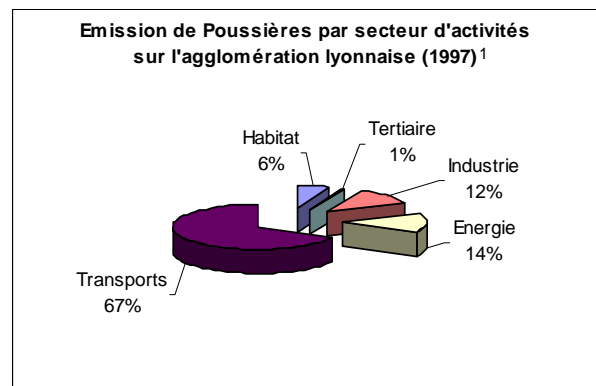
Les polluants prospectés dans le cadre de cette étude sont principalement les **poussières ou particules en suspension** dans l'atmosphère, ainsi que certains **polluants primaires** directement émis par les sources de pollution, dont certains sont impliqués dans la procédure d'alerte à la pollution atmosphérique ou, avec les poussières, dans le calcul de l'indice ATMO.

Les composés étudiés sont donc les suivants :

- **Les poussières** : particules en suspension, de taille inférieure à $10\ \mu\text{m}$ ⁽¹⁾ (particules fines ou « PM_{10} »), ou inférieure à $2,5\ \mu\text{m}$ (particules très fines ou « $\text{PM}_{2,5}$ »)
- **Les oxydes d'azote** : monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO_2)
- **Le monoxyde de carbone (CO)**

1.1.1 Les poussières ou particules en suspension (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$)

Dans l'atmosphère (air extérieur), les poussières en suspension peuvent provenir de certains procédés industriels (incinérations, carrières, cimenteries), des chauffages domestiques en hiver, mais elles sont plus majoritairement issues du trafic automobile (particules diesel, usures de pièces mécaniques et des pneumatiques...). Les particules les plus fines (diamètre inférieur à $0,5\ \mu\text{m}$) sont essentiellement émises par les véhicules diesel alors que les plus grosses proviennent plutôt de frottements mécaniques sur les chaussées ou d'effluents industriels.



Dans les espaces clos (air intérieur), en dehors de l'apport de poussières de l'air extérieur, les principales sources de particules sont le tabagisme, les activités de combustion et de cuisine, ou encore les procédés mécaniques impliquant des frottements ou usures de pièces, ainsi que la remise en suspension depuis les lieux de dépôt, comme c'est le cas en atmosphère de travail ou bien dans les réseaux ferroviaires suburbains (métro, RER,...).

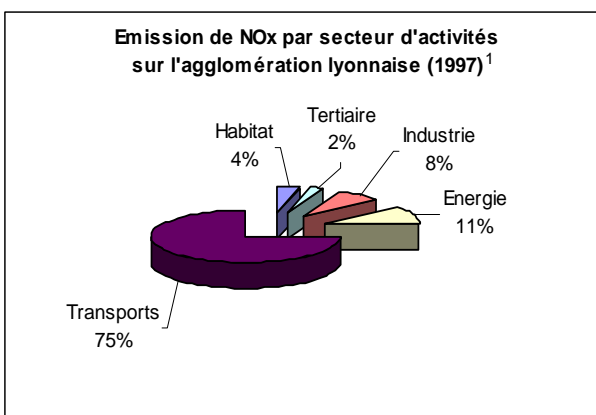
Les particules peuvent être étudiées par la méthode des « fumées noires » (la plus ancienne) ou par la méthode plus récente des « PM_{10} » (ou « $\text{PM}_{2,5}$ »), mesurant les particules de diamètre aérodynamique inférieur à $10\ \mu\text{m}$ (ou $2,5\ \mu\text{m}$).

¹ $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m} = 0,001\ \text{mm}$

1.1.2 Les oxydes d'azote (NOx)

Le terme oxydes d'azote désigne le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ces composés sont formés par oxydation de l'azote atmosphérique (N₂) lors des combustions (essentiellement à haute température) de carburants et combustibles fossiles.

Les oxydes d'azote, avec les composés organiques volatils, interviennent dans le processus de formation de la pollution photo-oxydante et de l'ozone dans la basse atmosphère.



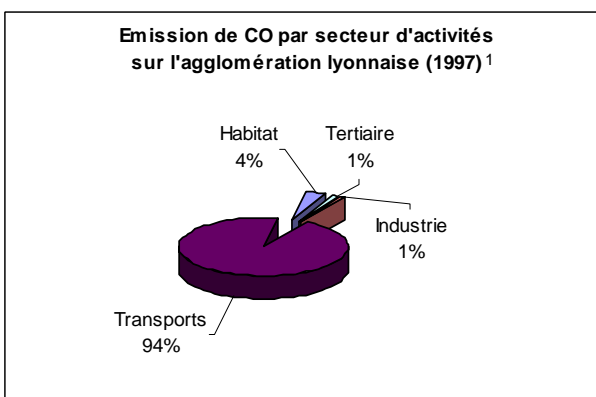
Le monoxyde d'azote, gaz incolore et inodore, est principalement émis par les véhicules à moteur thermique et se transforme rapidement par oxydation en dioxyde d'azote, gaz roux et odorant à forte concentration. La réaction est favorisée par le rayonnement Ultra Violet.

Dans l'atmosphère, les transports (routiers) représentent environ 75% des émissions d'oxydes d'azote¹. Bien que l'équipement des automobiles par des pots catalytiques favorise une diminution unitaire des émissions d'oxydes d'azote, les concentrations dans l'air ne diminuent guère compte tenu de l'âge du parc automobile et de l'augmentation constante du trafic.

Dans les espaces clos, les oxydes d'azote proviennent essentiellement de l'air extérieur (par ventilation), et des éventuelles combustions (chauffage, cuisine,...)

1.1.3 Le monoxyde de Carbone (CO)

Le monoxyde de carbone se forme dans des réactions de combustion incomplètes, en déficit d'oxygène. Il provient donc essentiellement des véhicules à moteur à explosion, ou d'installations de combustion défectueuses ou mal réglées. C'est un gaz inodore et incolore, et de ce fait, il présente un risque particulièrement important dans les espaces clos. En extérieur, le monoxyde de carbone affecte la qualité de l'air à proximité immédiate du trafic automobile, et dans des zones à faible ventilation.



¹ Le Grand Lyon – POLYEN 1997

1.2 Effets des polluants sur la santé et sur l'environnement

Dans une population donnée, tous les individus ne sont pas égaux face aux effets de la pollution. La sensibilité de chacun peut varier en fonction de l'âge, l'alimentation, les prédispositions génétiques, l'état de santé général.

D'autre part, l'effet des polluants n'est pas toujours complètement connu sur l'homme. Pour certains, il existe une limite d'exposition au-dessous de laquelle il n'y a pas d'effet comme pour le dioxyde de soufre (SO₂). Pour d'autres, il n'y a pas de seuil car certains effets peuvent apparaître, selon les personnes, dès les faibles niveaux d'exposition (par exemple le benzène). Il a été démontré que la combinaison de plusieurs polluants (comme le SO₂ et le NO₂) pouvait abaisser les seuils de certains effets sur la santé.

Au niveau individuel, le risque lié à la pollution de l'air est beaucoup plus faible que celui lié à une tabagie active. Dans ce sens, les recherches sur les effets de la pollution distinguent souvent les populations de « fumeurs » et de « non-fumeurs ».

Le niveau d'exposition d'un homme varie également en fonction du temps passé à l'extérieur, à l'intérieur, des possibilités d'entrée des polluants dans les espaces clos et du niveau de pollution généré dans l'air intérieur par les différentes sources (vapeurs de cuisine, peintures, matériaux de construction, frottements ou usures de pièces,...).

L'évaluation des risques dus aux effets de la pollution est nécessaire chez les populations à haut risque comme les nourrissons, les enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes et leur fœtus, les personnes souffrant de déficience respiratoire ou de mal-nutrition, ou les personnes malades. Ces personnes sont les premières touchées en cas de hausse de pollution.

L'influence de la pollution sur l'excès de mortalité est maintenant mieux connue sur l'homme. Certaines études sur l'impact de la santé en milieu urbain (notamment de l'Institut National de Veille Sanitaire¹) ont montré le lien entre pollution et mortalité. Ce lien est davantage marqué en ce qui concerne la mortalité due aux problèmes respiratoires et cardiovasculaires.

1.2.1 Les particules en suspension

1.2.1.1 Santé

L'action des particules est irritante et dépend de leurs diamètres. Les plus grosses particules (diamètre supérieur à 10 µm) sont retenues par les voies aériennes supérieures (muqueuses du nasopharynx). Entre 5 et 10 µm, elles restent au niveau des grosses voies aériennes (trachée, bronches). Les plus fines particules (diamètre inférieur à 5 µm) pénètrent les alvéoles pulmonaires et peuvent, surtout chez l'enfant, **irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire.**

Il existe une corrélation entre la teneur des particules et l'apparition de bronchites et de crises d'asthme. Les non-fumeurs peuvent percevoir des effets à partir de 200 µg.m⁻³ contre 100 µg.m⁻³ pour les fumeurs (muqueuses irritées). Les particules mesurées en routine sont en général inférieures à 10 µm (PM₁₀) ou à 2,5 µm (PM_{2,5}).

Des substances peuvent se fixer sur les particules (sulfates, nitrates, hydrocarbures, métaux lourds) dont certaines sont susceptibles d'accroître les risques de cancer comme les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

Enfin, les micro-particules diesel provoquent des cancers de façon certaine chez les animaux de laboratoire. Le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC, 1989) et l'agence américaine de l'environnement (US EPA, 1994) ont classé les émissions de diesel comme étant probablement cancérigènes (classe 2A du CIRC chez l'homme).

¹ Etude INVS réalisée entre mars 1997 et mars 1999 (Quénel, 1999)

1.2.1.2 Environnement

Les bâtiments subissent également les effets de la pollution avec notamment le **noircissement des façades dû aux poussières, et notamment aux particules diesel.**

1.2.2 Les oxydes d'azote (NOx)

1.2.2.1 Santé

Seul le **dioxyde d'azote est considéré comme toxique** aux concentrations habituellement rencontrées dans l'air ambiant. Il pénètre dans les fines ramifications de l'appareil respiratoire et peut, dès $200 \mu\text{g.m}^{-3}$, entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper réactivité bronchique chez les asthmatiques. Chez les enfants, il augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.

1.2.2.2 Environnement

Les oxydes d'azote contribuent également au **phénomène du dépérissement forestier.**

1.2.3 Le monoxyde de Carbone (CO)

1.2.3.1 Santé

Le monoxyde de carbone, en se fixant à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, peut conduire rapidement à un manque d'oxygénation des tissus, du système nerveux et du cœur. A fortes concentrations (en espace clos), il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. En milieu urbain les niveaux d'exposition sont plus faibles, même en proximité automobile où ils ont fortement diminué depuis l'introduction des pots catalytiques. Les concentrations mesurées ne dépassent généralement pas les objectifs de la qualité de l'air fixés par l'Organisation Mondiale de la Santé ($10.000 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 8h ou $30.000 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 1h).

1.2.3.2 Environnement

Sur les végétaux, le monoxyde de carbone peut induire une véritable "fièvre végétale", conduisant à la chute des feuilles, voire à la mort de la plante. Sur les animaux, de fortes concentrations peuvent conduire à l'asphyxie ou à la mort du sujet.

1.3 La réglementation

Les réglementations française et européenne vis-à-vis de la qualité de l'air dans l'air ambiant ont beaucoup évolué depuis 1996 avec notamment la parution des décrets d'application de la loi sur l'air de décembre 1996 (décret du 6 mai 1998, actualisé le 15 février 2002) et la sortie, le 22 avril 1999, d'une directive européenne fixant des valeurs limites en air ambiant pour le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les particules et le plomb.

A noter qu'il existe également des seuils réglementaires en atmosphère de travail qui, en France, sont fixés par le Ministère chargé du Travail. Ces valeurs limites d'exposition professionnelle aux poussières applicables en France sont présentées dans cette partie, à titre d'information.

Concernant la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, il n'existe à ce jour aucune réglementation spécifique. En France, un avis relatif à l'élaboration de valeurs guides, et plus particulièrement concernant les particules fines en suspension (PM₁₀), a été publié le 3 mai 2001 par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF). C'est sur la base de cet avis que sont présentées et discutées les teneurs en particules (PM₁₀) mesurées dans le cadre de cette étude, dans le métro lyonnais.

1.3.1 La loi sur l'air

Le 30 décembre 1996, le parlement français a adopté la **loi 96-1236 sur « l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie »**.

Cette loi s'appuie sur le « **droit reconnu à chacun de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé** ». Ce principe est assorti de l'obligation du concours de l'état et des collectivités territoriales pour « l'exercice du droit à l'information sur la qualité de l'air et ses effets sur la santé et l'environnement ».

Toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants devaient être dotées dès 1998 d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'air et l'ensemble du territoire national avant le 1^{er} janvier 2000.

La loi s'appuie notamment sur des outils de planification comme les Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA) ainsi que sur des mesures d'urgence en cas de pic de pollution (diminution du trafic, mise en place de pastilles vertes, circulation des véhicules aux plaques d'immatriculation paires ou impaires).

Des **objectifs de qualité de l'air**, des **valeurs limites** et des **seuils d'alerte** sont fixés et sont régulièrement réévalués pour prendre en compte les résultats des études médicales et épidémiologiques. Les définitions de ces trois termes sont données ci-dessous :

Objectif de qualité : *niveau 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, à atteindre dans une période donnée.*

Valeur limite : *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.*

Seuil d'alerte : *niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.*

OBJECTIFS DE QUALITE DE L'AIR (VALEURS GUIDES)		
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Base
Poussières (PM₁₀)	< 30	Moyenne annuelle (année civile ¹)
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 40	Moyenne annuelle (année civile)
Monoxyde de carbone (CO)	< 10 000 < 30 000	Maximum de la moyenne glissante sur 8h Moyenne horaire
Plomb (Pb)	< 0,25	Moyenne annuelle (année civile)

VALEURS LIMITES POUR LA PROTECTION DE LA SANTE HUMAINE				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Base et période	Marges de dépassements	Date à laquelle la valeur doit être respectée
Poussières (PM₁₀)	< 50	Percentile 90 des moyennes journalières sur l'année civile	De 50% en 2000 à 0% en 2005	1 ^{er} janvier 2005
	< 40	Moyenne annuelle (année civile)	De 20% en 2000 à 0% en 2005	1 ^{er} janvier 2005
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 200	Percentile 98 des moyennes horaires sur l'année civile (< 175 heures/an)		1 ^{er} janvier 2010
	< 200	Percentile 99,8 des moyennes horaires sur l'année civile (< 18 heures/an)	De 50% en 2000 à 0% en 2010	1 ^{er} janvier 2010
	< 40	Moyenne annuelle (année civile)	De 50% en 2000 à 0% en 2010	1 ^{er} janvier 2010
Plomb (Pb)	< 0,5	Moyenne annuelle (année civile)	Aucun ou de 200% en 2000 à 0% en 2010 (pour certains sites industriels)	1 ^{er} janvier 2002 ou 1 ^{er} janvier 2002 (sites industriels)

VALEURS LIMITES POUR LA PROTECTION DES ECOSYSTEMES		
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Base et Période
Oxydes d'azote (NOx)	< 30	Moyenne annuelle (année civile)

SEUILS DE RECOMMANDATION (POUR LE DEPARTEMENT DU RHONE ²)		
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Base (dans le Rhône et l'Ain)
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 200	Moyenne horaire sur au moins 2 capteurs
SEUILS D'ALERTE (POUR LE DEPARTEMENT DU RHONE ³)		
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Base (dans le Rhône et l'Ain)
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 400	Moyenne horaire sur au moins 2 capteurs

Valeurs guides, valeurs limites et seuils fixés par la réglementation française (loi sur l'air et décrets d'application) pour les polluants concernés dans cette étude

¹ Année civile : du 1^{er} janvier au 31 décembre / Année tropique : du 1^{er} avril au 31 mars

² par arrêté inter-préfectoral du Rhône et de l'Ain, fixant le nombre de capteurs nécessaires au déclenchement du seuil.

1.3.2 Les directives européennes

La réglementation française pour l'air ambiant s'appuie principalement sur des directives européennes.

Ces réglementations font intervenir la notion de valeur limite, soit une valeur à ne pas dépasser impérativement, ou la notion de valeur guide, soit une valeur de confort ou un objectif de qualité à atteindre.

Ces valeurs sont établies, notamment pour les particules et le dioxyde d'azote, à partir de calculs statistiques effectués sur une année. Certaines de ces valeurs ne doivent pas être dépassées plus d'un certain nombre de fois dans l'année (percentiles), et d'autres, en moyenne sur l'année.

La **directive 96/62/CE** du 27 septembre 1996 de la Communauté Européenne, concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant, fournit le cadre à la législation communautaire sur la qualité de l'air.

Les quatre principaux objectifs de cette directive sont les suivants :

- Définir et fixer les objectifs concernant la pollution de l'air ambiant dans la Communauté, afin d'éviter, de prévenir et de réduire les effets nocifs pour la santé humaine ou pour l'environnement dans son ensemble.
- Evaluer, sur la base de méthodes et de critères communs, la qualité de l'air ambiant dans les Etats membres.
- Disposer d'informations adéquates sur la qualité de l'air ambiant et faire en sorte que le public soit informé, entre autres par des seuils d'alerte.
- Maintenir la qualité de l'air ambiant lorsqu'elle est bonne et l'améliorer dans les autres cas.

La **directive 1999/30/CE** du 22 avril 1999, fixe des valeurs limites pour le dioxyde soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les particules (PM₁₀) et le plomb (Pb) dans l'air ambiant.

VALEUR LIMITE <u>HORAIRE</u> POUR LA PROTECTION DE LA SANTE HUMAINE				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période et Base	Marges de dépassements	Date à laquelle la valeur doit être respectée
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 200	Moyenne horaire. Ne pas dépasser plus de 18 fois/an	De 50% en 2000 à 0% en 2010	1 ^{er} janvier 2010
VALEUR LIMITE <u>JOURNALIERE</u> POUR LA PROTECTION DE LA SANTE HUMAINE				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période et Base	Marges de dépassements	Date à laquelle la valeur doit être respectée
Poussières (PM₁₀)	Phase 1 < 50	Moyenne sur 24h. Ne pas dépasser plus de 35 fois/an	De 50% en 2000 à 0% en 2005	1 ^{er} janvier 2005
	Phase 2 < 50	Moyenne sur 24h. Ne pas dépasser plus de 7 fois/an ¹	fixées ultérieurement	1 ^{er} janvier 2010
VALEUR LIMITE <u>ANNUELLE</u> POUR LA PROTECTION DE LA SANTE HUMAINE				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période et Base	Marges de dépassements	Date à laquelle la valeur doit être respectée
Poussières (PM₁₀)	Phase 1 < 40	Moyenne annuelle (année civile)	De 20% en 2000 à 0% en 2005	1 ^{er} janvier 2005
	Phase 2 < 20¹	Moyenne annuelle (année civile)	De 50% dès 2005 à 0% en 2010	1 ^{er} janvier 2010
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 40	Moyenne annuelle (année civile)	De 50% en 2000 à 0% en 2010	1 ^{er} janvier 2010
Plomb (Pb)	< 0,5	Moyenne annuelle (année civile)	De 100% en 2000 à 0% en 2005 ou 2010 (certains sites industrielles)	1er janvier 2005 ou 1er janvier 2010 (sites industrielles)
VALEUR LIMITE ANNUELLE POUR LA PROTECTION DES ECOSYSTEMES				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période / Base		Date à laquelle la valeur doit être respectée
Oxydes d'azote (NO_x)	< 30	Année civile		19 juillet 2001

SEUILS DE RECOMMANDATION				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période / Base		Date à laquelle la valeur doit être respectée
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 200	Moyenne horaire		19 juillet 2001
SEUILS D'ALERTE				
Polluants	Valeurs ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Période / Base		Date à laquelle la valeur doit être respectée
Dioxyde d'azote (NO₂)	< 400	Moyenne horaire ²		19 juillet 2001

Valeurs guides, valeurs limites et seuils fixés par les directives européennes pour les polluants concernés dans cette étude

¹ Valeur limite indicative, à réexaminer en 2005, à la lumière des informations acquises lors de la phase 1.

² Sur 3h consécutives

1.3.3 La surveillance de l'atmosphère des lieux de travail

Les normes fixant les valeurs limites et les méthodes d'échantillonnage en atmosphère de travail sont différentes de celles utilisées en air ambiant par les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air, telle que COPARLY.

Néanmoins et à titre d'information, quelques aspects de cette réglementation¹ sont présentées ci-dessous, notamment en ce qui concerne les valeurs limite pour la problématique des poussières :

« Certaines activités professionnelles exposent le travailleur à des substances en suspension dans l'atmosphère (gaz, vapeurs, aérosols...), qui peuvent être dommageables pour sa santé. Une exposition nulle à un polluant est pratiquement impossible à mettre en œuvre, en dehors de l'interdiction d'emploi du produit à l'origine de la pollution. Pour prévenir la survenue de pathologies d'origine professionnelle dues à l'exposition à ce polluant, il faut réduire le plus possible cette exposition et fixer une limite à celle-ci.

*On définit donc des niveaux de concentration dans l'atmosphère à ne pas dépasser. Ce sont les **valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)**. Elles sont fixées par le ministère chargé du travail, et quelques valeurs sont aussi recommandées par la Caisse nationale de l'assurance maladie (CNAM).*

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

Pour quelques 400 produits chimiques, les valeurs limites sont indicatives et doivent être considérées comme des objectifs minimaux. Pour quelques autres, elles sont contraignantes (poussières, amiante, benzène, chlorure de vinyle, plomb, quartz, ...).

Les valeurs limites ne sont pas définitives. Elles sont révisées périodiquement en fonction de l'état des connaissances. »

« Il existe en France deux types de valeurs limites :

*- **valeurs limites d'exposition à court terme (VLE)** : ce sont des valeurs plafonds mesurées **sur une durée maximale de 15 minutes**. Leur respect prévient les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.*

*- **valeurs limites de moyenne d'exposition (VME)** : mesurées ou estimées **sur la durée d'un poste de travail de 8 heures**, elles sont destinées à protéger les travailleurs des effets à long terme. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLE, lorsqu'elle existe.*

A noter que le respect des valeurs limites n'implique pas l'absence de risque. D'autre part, il faut se garder de juger de la toxicité d'un produit en se fondant sur la seule valeur limite fournie, car deux produits différents possédant la même valeur limite n'ont pas forcément la même toxicité générale. »

☞ **Valeurs limites pour les poussières dans les atmosphères des lieux de travail :**

*« Dans les locaux à pollution spécifique (où des substances dangereuses ou gênantes sont émises), **les concentrations moyennes (VME) en poussières totales² et alvéolaires³ de l'atmosphère inhalée par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg.m⁻³ d'air (soit respectivement 10 000 et 5 000 µg.m⁻³).***

La circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 précise que ces valeurs concernent les poussières réputées sans effet spécifique, c'est à dire qui ne sont pas en mesure de provoquer seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain d'autre effet que celui de surcharge. D'autres poussières font l'objet de VLEP particulières, telles que les silices cristallines, les amiantes (pour ce qui se rapporte à l'asbestose), les poussières de plomb, ou encore tous les aérosols très fins (fumées) comme ceux de soudage ou de décapage thermique. »

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

² Toutes les poussières mesurées (quel que soit leur diamètre aérodynamique)

³ Poussières dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 4 µm (PM₄)

1.3.4 La qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines

1.3.4.1 Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

Suite à plusieurs études menées en 1999 et 2000 sur les réseaux RATP et SNCF en Ile de France, mettant en évidence une problématique d'exposition aux particules dans les atmosphères souterraines des réseaux ferroviaires, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) a publié en 2001 deux avis¹ relatifs à l'établissement de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines (cf. annexe).

Le CSHPF estime notamment que « **la valeur limite journalière de PM₁₀ fixée dans l'air ambiant par la directive européenne 1999/30/CE² n'est pas directement applicable aux enceintes ferroviaires souterraines** dans lesquelles le temps passé par un citoyen ne représente qu'une fraction de sa journée, mais peut servir de référence à visée sanitaire pour une exposition journalière » et il « adopte, pour établir des **valeurs de référence**, une démarche basée sur la **notion d'exposition cumulée** des usagers qui pondère les teneurs atmosphériques particulières subies dans les différents environnements fréquentés, par le temps passé dans ces environnements au cours d'une journée ».

Il propose un mode de calcul (exposé ci-après) afin d'évaluer « **la contribution maximale de ces enceintes souterraines à l'exposition personnelle qui soit tolérable**, par référence à la valeur limite journalière de la directive européenne 1999/30/CE », et « en envisageant différents scénarios de temps de séjour de l'usager dans ces enceintes ».

Enfin, le Conseil souligne que « **les valeurs résultant de ce mode de calcul sont susceptibles d'être reconsidérées** à la lumière de nouvelles données sur la toxicité des particules, sur les niveaux d'exposition des citoyens, à l'extérieur et dans d'autres micro-environnements, ainsi que sur les durées de trajet dans les enceintes ferroviaires souterraines ».

☛ Valeurs de référence pour la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines :

« L'exposition atmosphérique aux PM₁₀ d'un individu qui passe un temps T dans un environnement caractérisé par une teneur ambiante C de PM₁₀ se définit par le produit (C x T). Son exposition atmosphérique E cumulée sur la journée correspond à la somme des expositions qu'il subit dans les différents environnements N qu'il fréquente :

$$E_{\text{jour}} = E_{\text{env1}} + E_{\text{env2}} + \dots + E_{\text{envN}}$$

En individualisant les enceintes ferroviaires souterraines (notées « sout ») au sein des autres environnements fréquentés par le citoyen, dont les teneurs particulières sont assimilées à celles issues des stations de mesure de la pollution urbaine de fond (noté « ext »), il vient :

$$E_{\text{jour}} = E_{\text{sout}} + E_{\text{ext}}$$

$$E_{\text{jour}} = (C_{\text{sout}} * T_{\text{sout}}) + (C_{\text{ext}} * T_{\text{ext}})$$

avec $T_{\text{sout}} + T_{\text{ext}} = 24$ heures

Si l'on considère qu'au cours de sa journée, le citoyen ne doit pas être exposé globalement à une teneur moyenne qui excède la valeur limite journalière C_{Lim} de la directive européenne, son exposition atmosphérique E cumulée sur 24 heures doit rester inférieure à la valeur ($C_{\text{Lim}} * 24$). On a donc :

$$E_{\text{jour}} < C_{\text{Lim}} * 24$$

Cette valeur C_{Lim} doit être respectée, y compris les jours où les concentrations extérieures particulières sont élevées. Sachant que la directive européenne autorise pour la période 2000 – 2005, 35 dépassements par an de la valeur C_{Lim} , soit environ 10% des jours de l'année, la valeur ambiante C_{ext} choisie correspondra au percentile 90 ($P90_{\text{ext}}$) de la distribution des teneurs ambiantes journalières de PM₁₀, [moyenne des percentiles 90 des valeurs journalières de PM₁₀ issues des stations urbaines de fond du réseau de surveillance de qualité de l'air].

La valeur de référence (C_{sout}) à préconiser dans les enceintes ferroviaires souterraines doit alors satisfaire à :

$$\boxed{(C_{\text{sout}} * T_{\text{sout}}) + [P90_{\text{ext}} * (24 - T_{\text{sout}})] < C_{\text{Lim}} * 24} \gg$$

¹ Deux compte-rendus de séance ont été publiés, le 5 avril 2001 et le 3 mai 2001.

² La directive européenne 1999/30/CE fixe la valeur limite de 50 µg.m⁻³, à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile en 2005 avec une marge de dépassement provisoirement autorisée, allant de 50% en 2000 à 0% en 2005 (cf. p.14).

La valeur de référence établie avec ce mode de calcul est donc fonction du temps de séjour des usagers dans les enceintes ferroviaires (T_{sout}), mais dépend également de l'année considérée, pour laquelle varient deux paramètres :

- la valeur limite à respecter pour l'exposition journalière aux poussières (C_{Lim}),
- et la moyenne des percentiles 90 des valeurs journalières ($P90_{\text{ext}}$).

Par ailleurs, le CSHPF estime que « le choix d'une **durée de deux heures** correspondant au percentile 90 des temps cumulés de déplacement aux heures de pointe du matin et du soir **sur le réseau ferré francilien** (parcours souterrains et aériens confondus) permettrait de conduire à une valeur de référence de la qualité de l'air permettant de protéger au moins 90% des usagers ».

En 2001, la valeur moyenne des percentiles 90 enregistrés sur les stations de fond urbaines et péri-urbaines du réseau AIRPARIF (Ile de France) était de : **$P90 = 33 \mu\text{g.m}^{-3}$** . Avec la valeur limite à respecter¹ **$C_{\text{Lim}} = 70 \mu\text{g.m}^{-3}$** , le calcul conduisait à une valeur de référence dans l'enceinte souterraine du métro (pour un temps de séjour moyen de deux heures) de : **$C_{\text{sout}} < 477 \mu\text{g.m}^{-3}$** .

A partir de 2005, la valeur limite à respecter pour l'exposition journalière aux poussières sera fixée à **$C_{\text{Lim}} = 50 \mu\text{g.m}^{-3}$** . En ce qui concerne l'exposition réelle journalière, le groupe de travail « qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines » du CSHPF a évalué² qu'en 2005, la moyenne des percentiles 90 serait de : **$P90 = 23 \mu\text{g.m}^{-3}$** . La valeur de référence résultante dans les enceintes souterraines préconisée par le CSHPF en 2005 est donc de : **$C_{\text{sout}} < 347 \mu\text{g.m}^{-3}$** .

Le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a publié un communiqué de presse le 4 mai 2001 (en annexe), se rendant l'écho des réflexions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France : « [...] le Conseil recommande [...] en particulier l'adoption d'une méthode pour calculer des valeurs de référence horaires pour les particules, s'inspirant des seuils recommandés par une directive européenne portant sur l'air ambiant extérieur. **Les valeurs de l'ordre de $480 \mu\text{g.m}^{-3}$ dès maintenant [en 2001] et de $350 \mu\text{g.m}^{-3}$ à terme [en 2005] sont proposées, sur la base d'une présence quotidienne maximale dans le métro de deux heures** ».

1.3.4.2 Application aux enceintes souterraines du métro lyonnais

COPARLY propose pour la présente étude réalisée en 2002 dans le métro lyonnais de réévaluer, toujours en se basant sur l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, les valeurs de référence préconisées.

En effet, le temps passé dans l'enceinte du métro lyonnais est généralement plus court que celui passé sur le réseau francilien : selon les statistiques de la SLTC en 2002, **le temps de séjour pour un usager du métro lyonnais est de 30 à 45 minutes en moyenne par jour**, réparties majoritairement sur les heures de pointes du matin (7h30-9h30) et du soir (16h30-18h30), **et 1h30 au maximum par jour**, avec des correspondances et des trajet supplémentaires à des heures plus creuses (12h-14h ou autre).

Par ailleurs, compte tenu de l'évolution de la valeur du percentile 90 mesurée entre 2000 et 2002 sur l'ensemble de l'agglomération lyonnaise³ (tableau ci-dessous), **il semble préférable de réévaluer la valeur de $23 \mu\text{g.m}^{-3}$ estimée par le CSHPF pour 2005.**

	2000 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	2001 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	2002 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	...	2005 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Valeur limite à respecter : C_{Lim} (moyenne sur 24h)	75 (50+50%)	70 (50+40%)	65 (50+30%)		50
Moyenne du percentile 90 : $P90_{\text{ext}}$ (moyenne sur 24h)	37	33	37		?
Valeurs de référence dans le métro C_{sout} (moyenne horaire) en fonction du temps de trajet T_{sout}	2000 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	2001 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	2002 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	...	2005 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
$T_{\text{sout}} = 45\text{min}$	1253	1217	933		?
$T_{\text{sout}} = 1\text{h}30$	645	625	485		?
$T_{\text{sout}} = 2\text{h}$	493	477	373		?

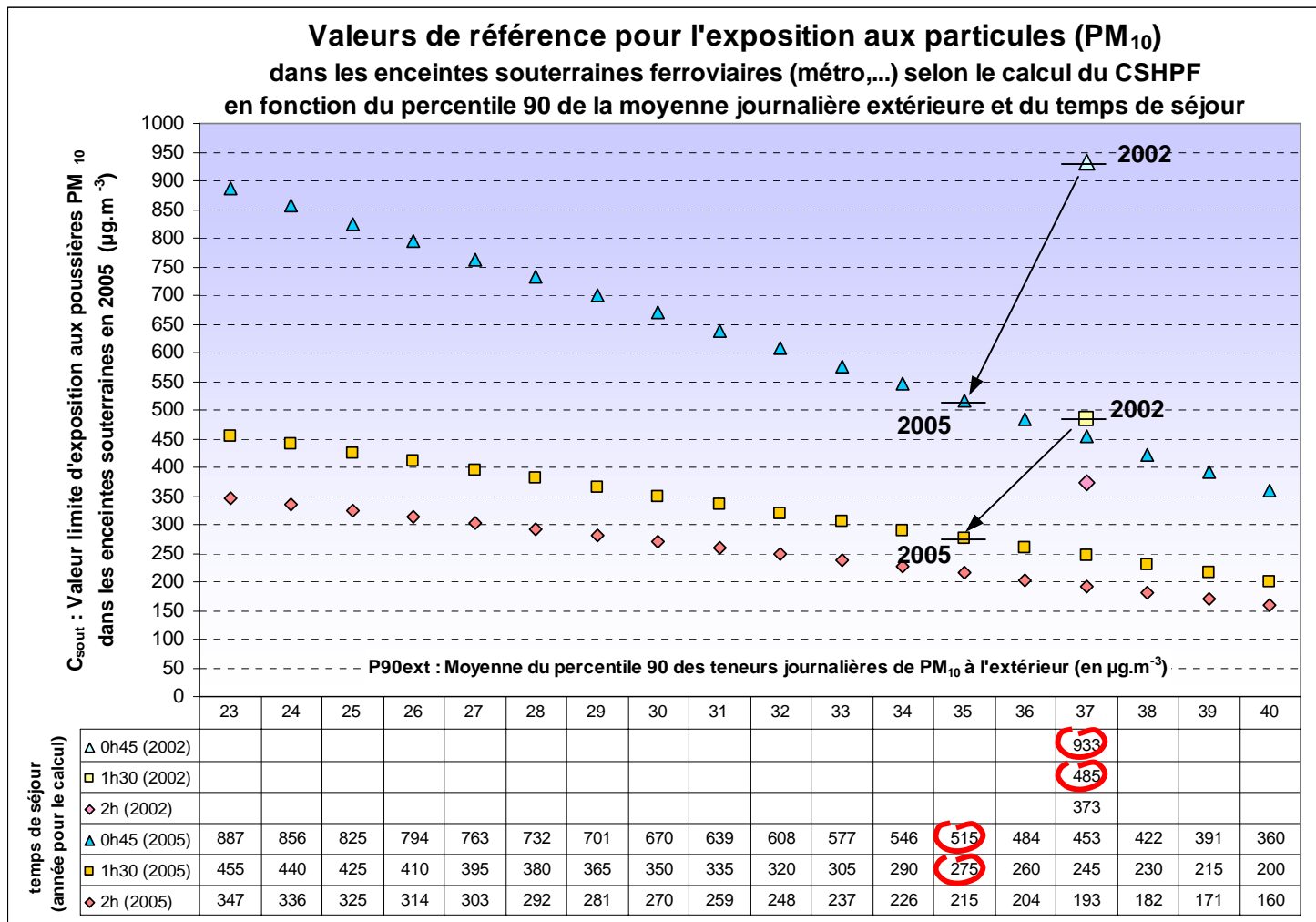
Valeurs de référence dans le métro lyonnais (moyennes horaires) pour trois temps de trajets.

¹ Valeur limite fixée par la directive européenne 1999/30/CE, en tenant compte des marges de dépassement.

² A partir des prévisions du réseau de surveillance AIRPARIF.

³ A noter qu'en Ile de France, en 2002, le réseau AIRPARIF a enregistré la valeur moyenne : $P90 = 35 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Le graphe suivant présente les calculs¹ pour la valeur de référence dans les enceintes souterraines ferroviaires en 2005, en fonction de la moyenne des percentiles 90, et pour les trois temps de trajet considérés, la valeur limite d'exposition en moyenne journalière restant fixée à partir de 2005 par la directive européenne à : $C_{Lim} = 50 \mu\text{g.m}^{-3}$:



☛ **Valeurs de référence pour la qualité de l'air dans le métro lyonnais :**

Au vu de tous ces éléments, COPARLY a jugé préférable dans cette étude de considérer volontairement le cas défavorable où la valeur moyenne des percentiles 90 ne diminuerait pas de façon notable en 2005², et d'estimer cette valeur à $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ (plutôt que $23 \mu\text{g.m}^{-3}$).

En conséquence, COPARLY propose de considérer deux valeurs de référence (en moyenne horaire) pour cette étude dans l'enceinte du métro lyonnais :

- L'une correspondant à un **temps de séjour moyen** ($\leq 0\text{h}45'$), avec au moins un aller-retour effectué en heures de pointes :
 - $C_{sout} \text{ moy} < 933 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2002
 - $C_{sout} \text{ moy} < 515 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2005
- L'autre correspondant à un **temps de séjour maximum** (1h30'), avec un aller-retour effectué aux heures de pointes et au moins un autre en heures creuses :
 - $C_{sout} \text{ max} < 485 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2002
 - $C_{sout} \text{ max} < 275 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2005

A noter que les valeurs de référence préconisées pour 2005 sont susceptibles d'être reconsidérées en fonction de l'évolution de la qualité de l'air extérieur.

¹ A partir du mode de calcul du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.

² N.B : valeur moyenne enregistrée en 2002 sur les stations urbaines et péri-urbaines du réseau AIRPARIF : $P90=36 \mu\text{g.m}^{-3}$.

2 METHODOLOGIE ADOPTÉE

2.1 Périodes de mesure

2.1.1 En règle générale

Le comportement des polluants atmosphériques locaux (transport et accumulation) est fortement lié aux conditions climatiques (pluviométrie, vent, température, ensoleillement).

Ainsi, selon la directive européenne du 22 avril 1999, les mesures doivent être **également réparties dans l'année avec un minimum de 8 semaines de mesures** pour être considérées comme représentatives de la qualité de l'air d'un site donné et permettre une comparaison avec les normes en vigueur.

2.1.2 Dans le cadre de l'étude

Le réseau souterrain du métro étant considéré comme un « espace clos ouvert au public », qui n'est pour l'instant soumis à aucune réglementation vis-à-vis de la qualité de l'air d'une part, et s'agissant d'autre part d'une étude préliminaire visant à connaître les niveaux de concentration des particules présentes dans l'atmosphère du métro lyonnais, seuls **dix-sept jours de mesures** ont été réalisées, **du 21 octobre au 6 novembre 2002**.

Afin d'étudier l'influence du trafic suburbain et de la fréquentation, ces dates ont été choisies pour être à cheval sur une période a priori de plus faible affluence : les **vacances scolaires** de la Toussaint, **entre le 24 octobre et le 3 novembre**.

2.2 Nombre et choix des sites de mesures

COPARLY a proposé d'étudier l'évolution des taux d'empoussièrement avec l'implantation de cabines équipées d'analyseurs dans quatre stations de métro, sur deux lignes différentes du réseau lyonnais :

- « **Gare de Perrache** » (Métro A)
- « **Foch** » (Métro A)
- « **Bellecour** » (Métro A et D)
- « **Gare de Vénissieux** » (Métro D)

Ce choix a été fait en fonction des possibilités d'implantation (hauteur, encombrement, alimentation électrique,...), des similitudes ou disparités dans les caractéristiques des stations (environnement, fréquentation,...), et également dans le souci d'actualiser une campagne de mesure réalisée par la SLTC, du 3 au 5 novembre 1998, dans les stations « Bellecour » et « Gare de Vénissieux », mais dont la trop courte période n'avait pas permis d'établir de conclusions.

Afin de comparer les mesures réalisées dans l'enceinte du métro avec des mesures de la qualité de l'air extérieur sur la même période, trois stations fixes du réseau de surveillance de COPARLY ont été choisies, avec des typologies différentes :

- « **Croix-Luizet** » (station de fond urbain)
- « **Berthelot** » (station de proximité trafic urbain)
- « **La Mulatière** » (station de proximité trafic autoroutier)

2.3 Polluants mesurés et paramètres d'influence

2.3.1 En règle générale

La qualité de l'air en un lieu donné dépend essentiellement de l'intensité d'émissions des sources de polluants provenant ou s'accumulant sur le secteur à étudier et de la capacité locale à disperser ou transformer ces émissions. Il est donc indispensable dans l'analyse des résultats de tenir compte des sources d'émissions (fixes ou mobiles), en même temps que de la climatologie ou de la topographie du lieu. De plus, pour évaluer le poids des mesures réalisées en terme de santé publique, il est nécessaire de tenir compte de la population concernée.

2.3.2 Dans le cadre de l'étude

Dans l'enceinte du métro, les variations climatiques ne sont pas aussi marquées qu'à l'extérieur, et les sources de pollution peuvent être d'origine interne (travaux, frottements et freinages,...) ou externe (pollution apportée de l'extérieur).

2.3.2.1 Sources d'émissions internes : problématique des poussières PM₁₀ et PM_{2,5}

D'après des études récentes réalisées dans des atmosphères souterraines telles que dans le métro, les taux élevés de particules mesurés dans ces enceintes seraient fortement liés au trafic ferroviaire, et notamment aux frottements sur les rails lors du roulement ou du freinage.

Les travaux peuvent également être à l'origine de forts taux de poussières dans le métro, mais avec des émissions plus faciles à localiser dans l'espace et dans le temps.

➤ **La concentration en particules fines (PM₁₀) a donc été mesurée en continu dans les quatre stations choisies**, avec les mêmes analyseurs que ceux utilisés sur le réseau de surveillance (type TEOM).

➤ Afin d'évaluer au mieux l'impact sanitaire, **l'aspect granulométrique a également été étudié dans les stations « Bellecour » et « Gare de Vénissieux », en distinguant les particules très fines (PM_{2,5}) parmi les particules fines (PM₁₀)**. Pour cela, les analyseurs de poussières (type TEOM) ont été équipés d'une tête de prélèvement spécifique permettant la mesure des poussières dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm (PM_{2,5}).

Dans ce même cadre, **des mesures ont été réalisées avec des systèmes de prélèvements individuels de particules très fines (PM_{2,5}) appartenant à l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA)**, qui a déjà réalisé plusieurs études pour évaluer l'exposition des citoyens aux polluants de l'air en fonction des différents micro-environnements rencontrés au cours de la journée. Ceci, afin de comparer et de caler leurs appareils, et de proposer une éventuelle campagne à l'échelle de l'agglomération pour étudier l'exposition de la population en fonction du mode de transport utilisé.

➤ Enfin, pour compléter ces mesures, COPARLY a proposé dans cette étude préliminaire de réaliser également **des analyses qualitatives de prélèvements de poussières sur filtres**, pour tenter de connaître la provenance des particules à partir de leur **composition chimique**. Trois préleveurs de particules sur filtres (type PARTISOL) ont été mis en place dans les deux stations de métro, ainsi que **dans la station de fond urbain « Croix-Luizet »**, spécialement équipée pour les besoins de cette étude. Les analyses de traces sur les filtres ont été réalisées par le **laboratoire agréé CARSO**, pour les métaux suivants :

- **Plomb, Arsenic, Cadmium, Nickel** (objets d'un suivi par la directive européenne)
- **Cuivre, Zinc, Etain, Chrome, Manganèse et Baryum** (choisis à partir d'une première analyse semi-quantitative par spectrométrie de masse)

2.3.2.2 Climatologie et sources d'émissions externes (polluants gazeux)

Outre les poussières, faisant l'objet principal de cette étude, d'autres paramètres ont été mesurés afin de comparer les concentrations rencontrées dans le métro aux niveaux mesurés quotidiennement à l'extérieur par le réseau fixe de COPARLY.

Afin donc d'évaluer **les niveaux en polluants gazeux dans l'enceinte du métro lyonnais**, la station « Bellecour » de la ligne D a été équipée d'analyseurs pour la mesure :

- des **oxydes d'azote (NO et NO₂)**, traceurs principaux de la pollution automobile (provenant de la surface)
- du **monoxyde de carbone (CO)**, permettant également d'évaluer la pollution venant de l'extérieur, mais ayant en plus le rôle de traceur du tabagisme

Par ailleurs, d'après d'autres études, la température paraît être un paramètre intéressant à mesurer, afin notamment d'évaluer le « confort » des usagers, ces derniers étant plus sensibles aux variations dans l'enceinte du métro qu'à l'extérieur. **La température a donc été enregistrée dans les quatre stations de métro étudiées.**

2.3.2.3 Population concernée

Le paramètre généralement utilisé pour analyser les données de pollution en terme de santé publique est la densité de population, calculée par commune ou par îlot, à partir des surfaces bâties.

Dans le cadre de cette étude spécifique, il paraît plus judicieux pour les stations de métro, de se référer aux valeurs de fréquentation (nombre d'usagers journalier, horaire,...). Ces données ont été fournies par la SLTC.

3 PRESENTATION DES SITES DE MESURES

3.1 Présentation générale du métro lyonnais

La ligne A en quelques chiffres :

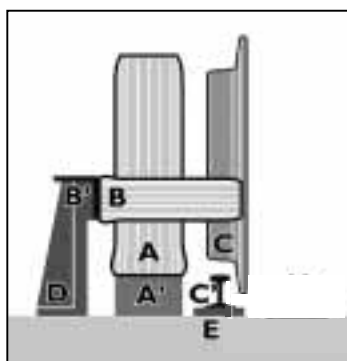
Construction et mise en service : 1975-1978
 Longueur : 8,2 km (hors accès aux ateliers)
 Nombre de stations : 13
 Fréquentation globale : environ 230 000 voyageurs par jour
 Temps de parcours minimum (arrêts inclus) : 17 minutes
 Intervalle théorique minimum (en période de pointe) : 2' 38"
 Nombre maximum de rames en circulation (en période de pointe) : 16

Type de métro : MPL 75 (Métro Pneu Lyon 1975)
 Composition : Motrice + Remorque + Motrice
 Capacité : 400 voyageurs
 Contrôle : avec conducteur, par pilotage automatique ou conduite manuelle
 Matériau du châssis : Chaudron autoportant (alliage aluminium)
 Roulement : pneumatique (caoutchouc)
 Frein dynamique : freinage électrique
 Frein mécanique : frein à sabot, semelle composite (composants divers sous forme de fibres liées avec une résine synthétique ; peut contenir des métaux lourds comme du cuivre, du manganèse ou du plomb)

La ligne D en quelques chiffres :

Construction et mise en service : 1989-1991
 Longueur : 13 km (hors accès aux ateliers)
 Nombre de stations : 15
 Fréquentation globale : environ 250 000 voyageurs par jour
 Temps de parcours minimum (arrêts inclus) : 24 minutes
 Intervalle théorique minimum (en période de pointe) : 1' 48"
 Nombre maximum de rames en circulation (en période de pointe) : 29

Type de métro : MPL85 (Métro Pneu Lyon 1985)
 Composition : Motrice + Motrice
 Capacité : 291 voyageurs
 Contrôle : sans conducteur, par pilotage automatique et informatique uniquement.
 Matériau du châssis : Chaudron autoportant (alliage aluminium)
 Roulement : pneumatique (caoutchouc)
 Frein dynamique : freinage électrique
 Frein mécanique : frein à disque, en fonte (composants principaux : fer et carbone ; peut contenir également des métaux lourds : Nickel, Chrome,...)



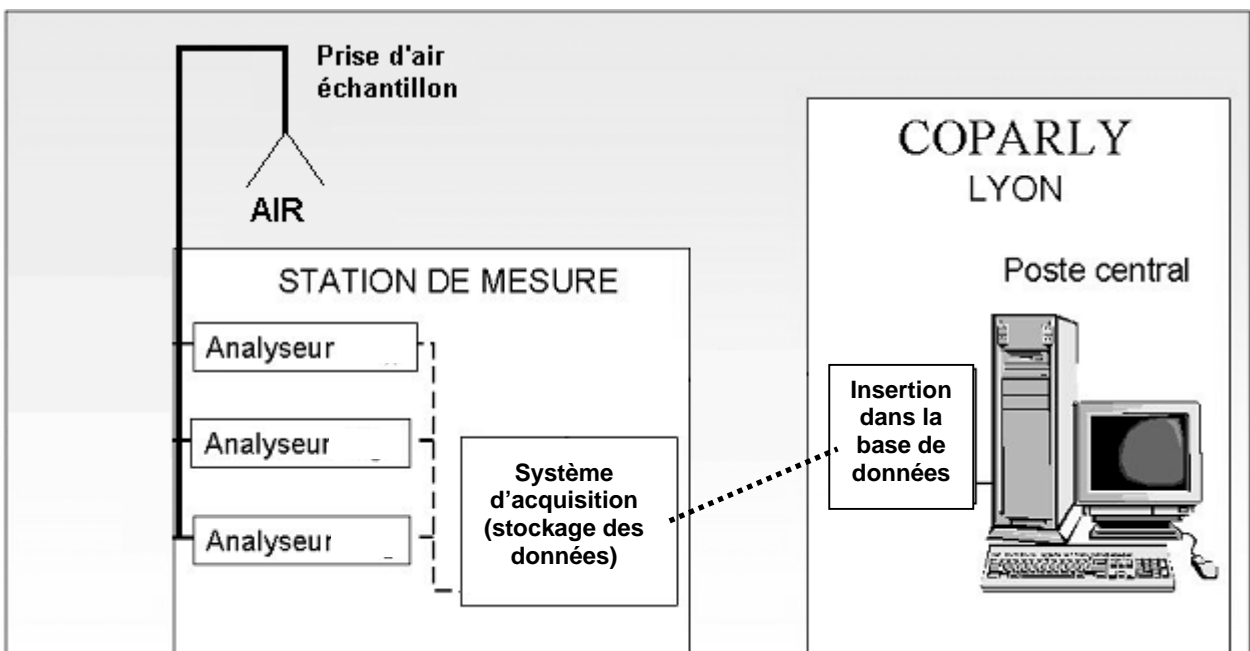
- A : Pneu principal (caoutchouc)
- A' : Piste de roulement (béton et métal)
- B : Roue de guidage (pneu horizontal pour guider la rame)
- B' : Barre de guidage (fournit également le courant nécessaire à la traction)
- C : Roue de sécurité (en cas de crevaison ou de dégonflement, et pour les changement d'aiguillage)
- C' : Rail de métal (voie ferrée ; retour du courant de traction)
- D : Isolateur de la barre de guidage
- E : Isolateur du rail

Schéma de principe du roulement pneumatique

3.2 Présentation des sites de mesures

3.2.1 Cabines laboratoires

Pour réaliser des contrôles ponctuels de la qualité de l'air dans le cadre d'une étude, COPARLY possède plusieurs cabines laboratoires, équipées du même type d'analyseur que ceux utilisés dans les stations fixes, pour une mesure automatique et continue de la qualité de l'air. Ces équipements sont climatisés en été et chauffés en hiver, afin de respecter les températures de consigne des appareils, et les analyseurs sont calibrés tous les 15 jours à l'aide de gaz étalons reliés à la référence du Laboratoire National d'Essais (LNE), pour une qualité de mesure identique à celle pratiquée sur le réseau fixe. L'ensemble nécessite donc un raccordement électrique (220V-15A), trouvé généralement à moins de 50m du lieu d'implantation. Les résultats de tous les analyseurs sont stockés dans une station d'acquisition, puis incorporés dans la base de données de COPARLY, manuellement (disquette) ou par le biais d'un modem téléphonique (optionnel).



3.2.1.1 Cabine 1 : « Gare de Vénissieux » (Métro D)

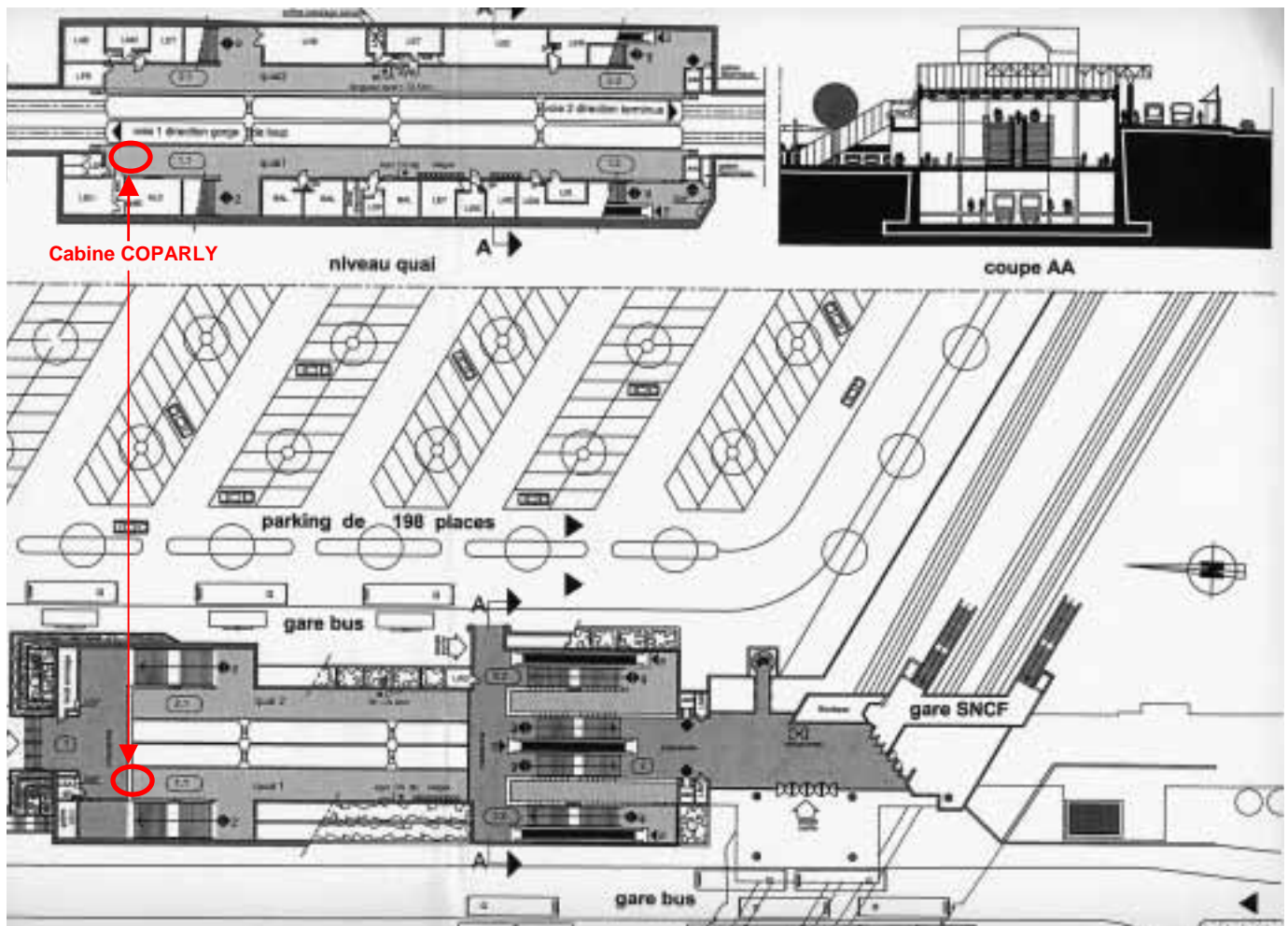
Emplacement : sur le quai de départ – direction « Gare de Vaise »

Typologie : Station de Métro Terminus - correspondance Gare SNF et routière

Fréquentation moyenne (ordre de grandeur) : 10 000 voyageurs / jour



Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance
Poussières en suspension très fines (PM _{2,5})	TEOM	Microbalance
Composition chimique des poussières	PARTISOL	Prélèvement sur filtres et analyse par spectrométrie de masse



3.2.1.2 Cabine 2 : « Bellecour » (Métro D)

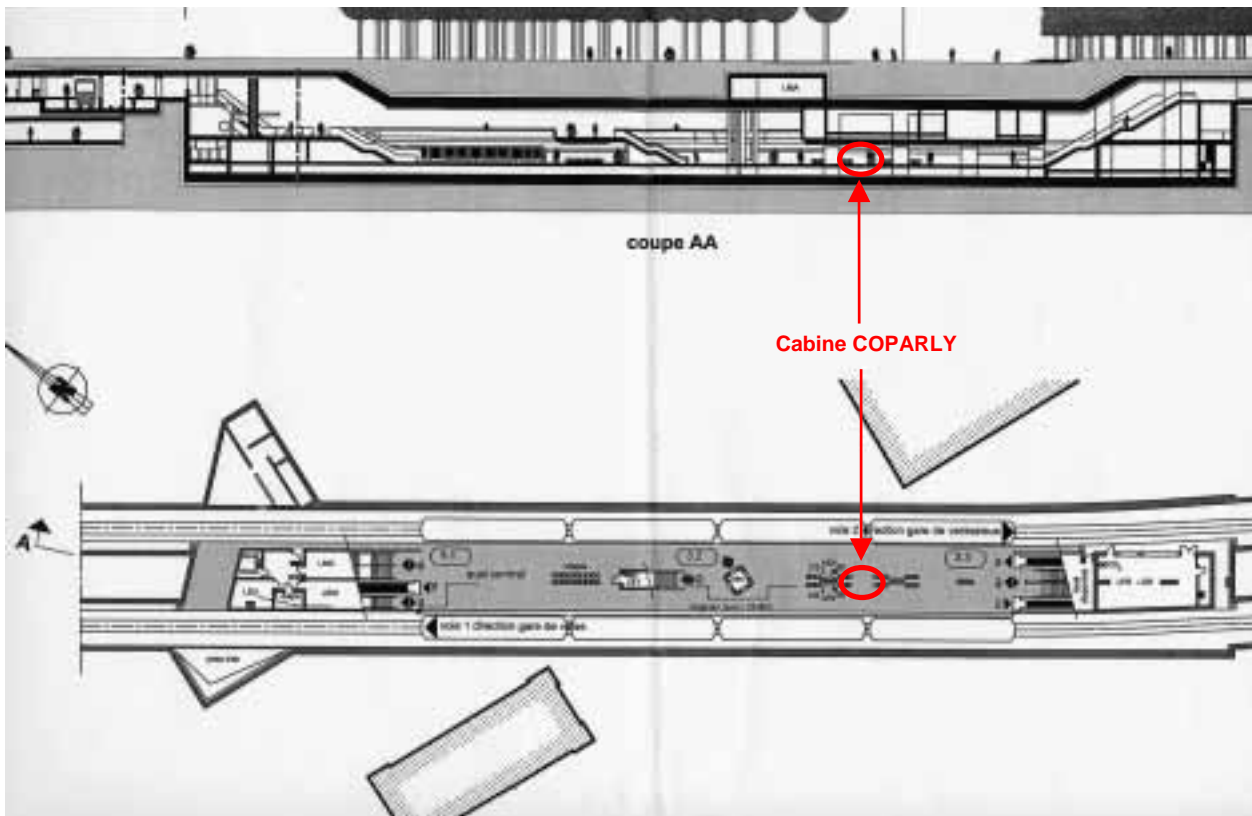
Emplacement : sur le quai du métro D (1 seul quai pour les 2 directions, entre le passage des rames)

Typologie : Station de Métro Echangeur – correspondance ligne A

Fréquentation moyenne (ordre de grandeur) : 50 000 voyageurs / jour



Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance
Poussières en suspension très fines (PM _{2,5})	TEOM	Microbalance
Composition chimique des poussières	PARTISOL	Prélèvement sur filtres et analyse par spectrométrie de masse
Monoxyde et dioxyde d'azote (NO-NO ₂)	AC31M	Chimiluminescence
Monoxyde de carbone (CO)	CO11M	Corrélation Infra-Rouge



3.2.1.3 Cabine 3 : « Gare de Perrache » (Métro A)

Emplacement : Terminus « Perrache » - sur le quai d'arrivée ligne A et Tramway

Typologie : Station de Métro Terminus - correspondance Tramway T1 ou T2+ Gare SNCF et routière

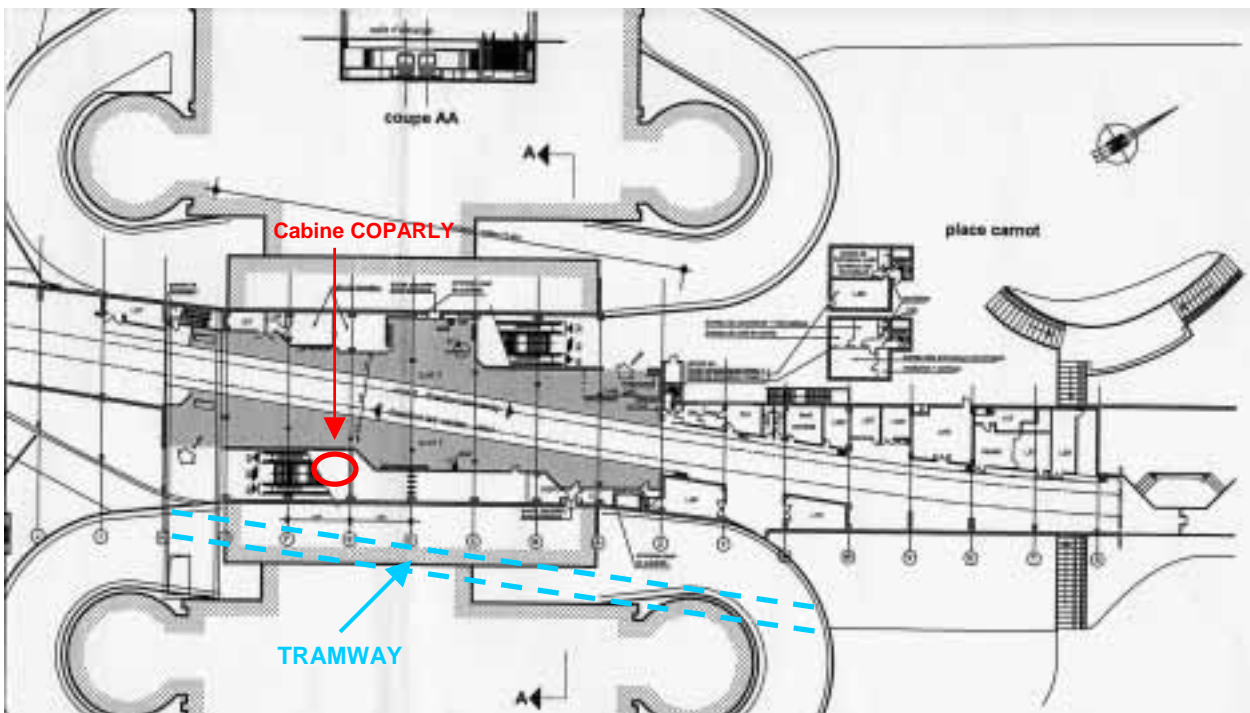
Fréquentation moyenne (ordre de grandeur) : 20 000 voyageurs / jour



A gauche : quai terminus du métro - A droite : quai terminus du Tramway (ouverture vers l'extérieur)



Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance



3.2.1.4 Cabine 4 : « Foch » (Métro A)

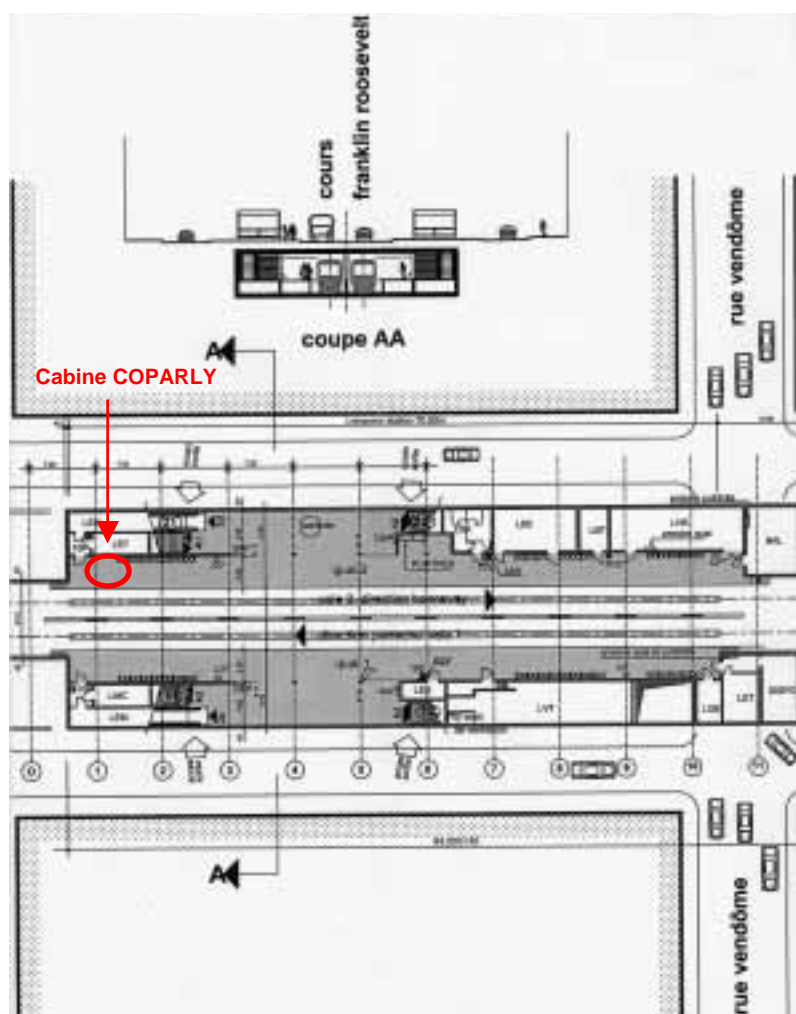
Emplacement : sur le quai – direction « L.Bonnevay »

Typologie : Station de Métro

Fréquentation moyenne (ordre de grandeur) : 10 000 voyageurs / jour



Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance



3.2.2 Sites fixes de comparaison

Afin d'évaluer les données enregistrées sur les sites temporaires du métro vis-à-vis de la qualité de l'air extérieur, une comparaison a été effectuée avec des sites fixes du réseau de COPARLY.

Les sites choisis pour cette étude comparative sont :

3.2.2.1 Croix-Luizet

Emplacement : Villeurbanne - Groupe scolaire Jean Moulin; rue A. Brinon

Typologie : site urbain de fond

Densité de population : 6 400 hab.km⁻²

Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance
Poussières en suspension très fines (PM _{2,5})	TEOM	Microbalance
Composition chimique des poussières	PARTISOL	Prélèvement sur filtres et spectrométrie de masse
Monoxyde et dioxyde d'azote (NO-NO ₂)	AC31M	Chimiluminescence
Dioxyde de soufre (SO ₂)	AF21M	Fluorescence UltraViolet
Ozone (O ₃)	O341M	Photométrie Ultra Violet



3.2.2.2 La Mulatière

Emplacement : La Mulatière - 25 ter, Quai Pierre Sémard

Typologie : site de proximité trafic autoroutier

Densité de population : 2 700 hab.km⁻²

Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance
Poussières en suspension très fines (PM _{2,5})	TEOM	Microbalance
Monoxyde et dioxyde d'azote (NO-NO ₂)	AC31M	Chimiluminescence
Monoxyde de carbone (CO)	CO11M	Corrélation Infra-Rouge



3.2.2.3 Berthelot

Emplacement : Lyon 7 - Musée de la Résistance, Avenue Berthelot

Typologie : site de proximité trafic urbain

Densité de population : 11 600 hab.km⁻²

Polluants mesurés	Analyseur	Technique de mesure
Poussières en suspension fines (PM ₁₀)	TEOM	Microbalance
Monoxyde et dioxyde d'azote (NO-NO ₂)	AC31M	Chimiluminescence
Monoxyde de carbone (CO)	CO11M	Corrélation Infra-Rouge
Dioxyde de soufre (SO ₂)	AF21M	Fluorescence UltraViolet



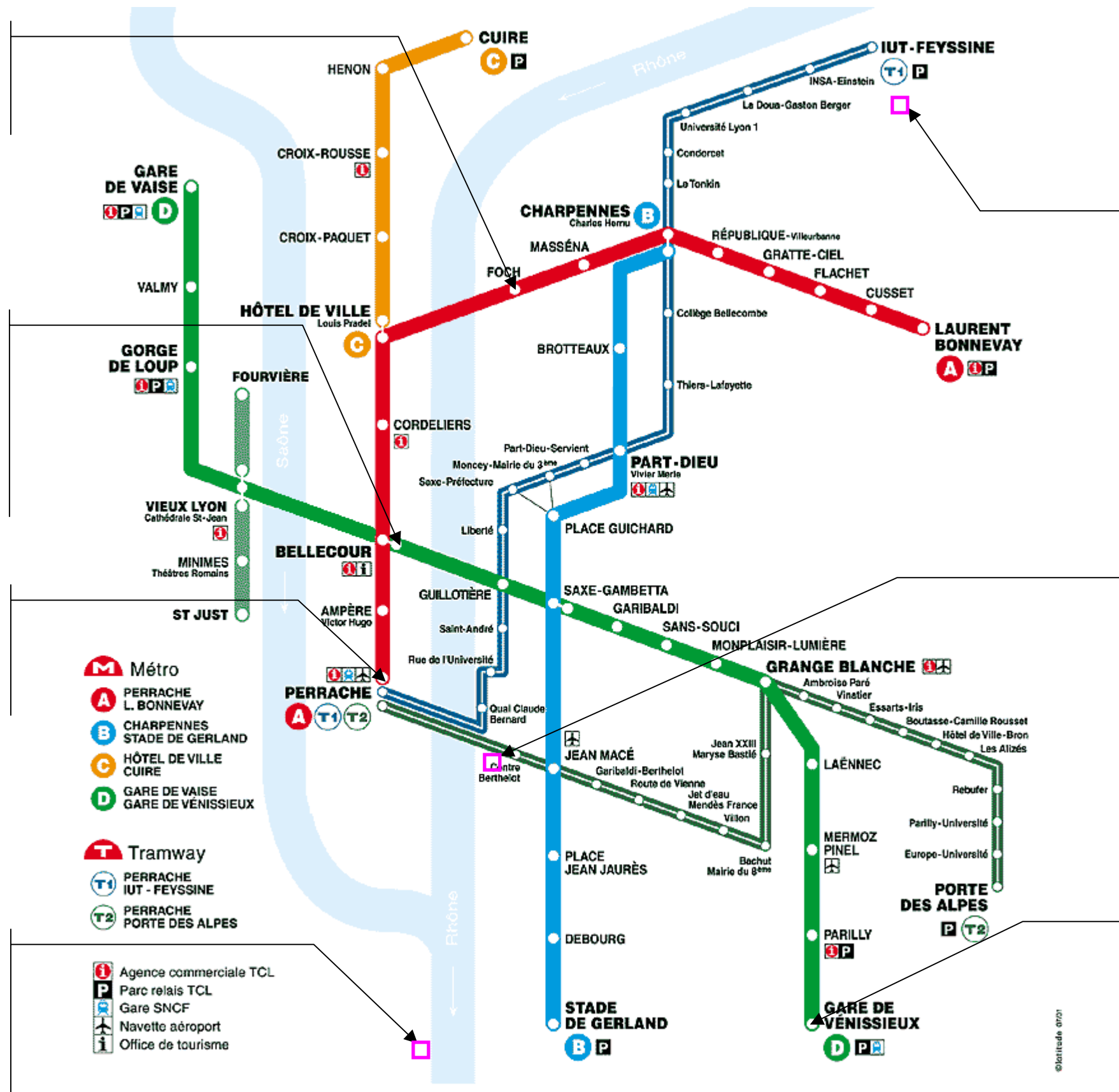
PLAN RECAPITULATIF DES MESURES

FOCH
 (Cabine 4 - Métro A)
 Emplacement : quais (dir° L.Bonnevay)
 Fréquentation : 10 000 voyageurs/jour
 Polluants mesurés : PM₁₀

BELLECOUR
 (Cabine 2 - Métro D)
 Emplacement : quais (dir° Gare de Vaise ou Gare de Vénissieux)
 Fréquentation : 50 000 voyageurs/jour
 Polluants mesurés : PM₁₀
 PM_{2,5}
 filtres (PARTISOL)
 NO,NO₂
 CO

PERRACHE
 (Cabine 3 - Métro A)
 Emplacement : quais (Terminus Métro et Tramway)
 Fréquentation : 20 000 voyageurs/jour
 Polluants mesurés : PM₁₀

LA MULATIERE
 (Station fixe)
 Typologie : proximité trafic autoroute
 Densité de population : 2 700 hab.km⁻²
 Polluants mesurés : PM₁₀
 PM_{2,5}
 NO,NO₂
 CO

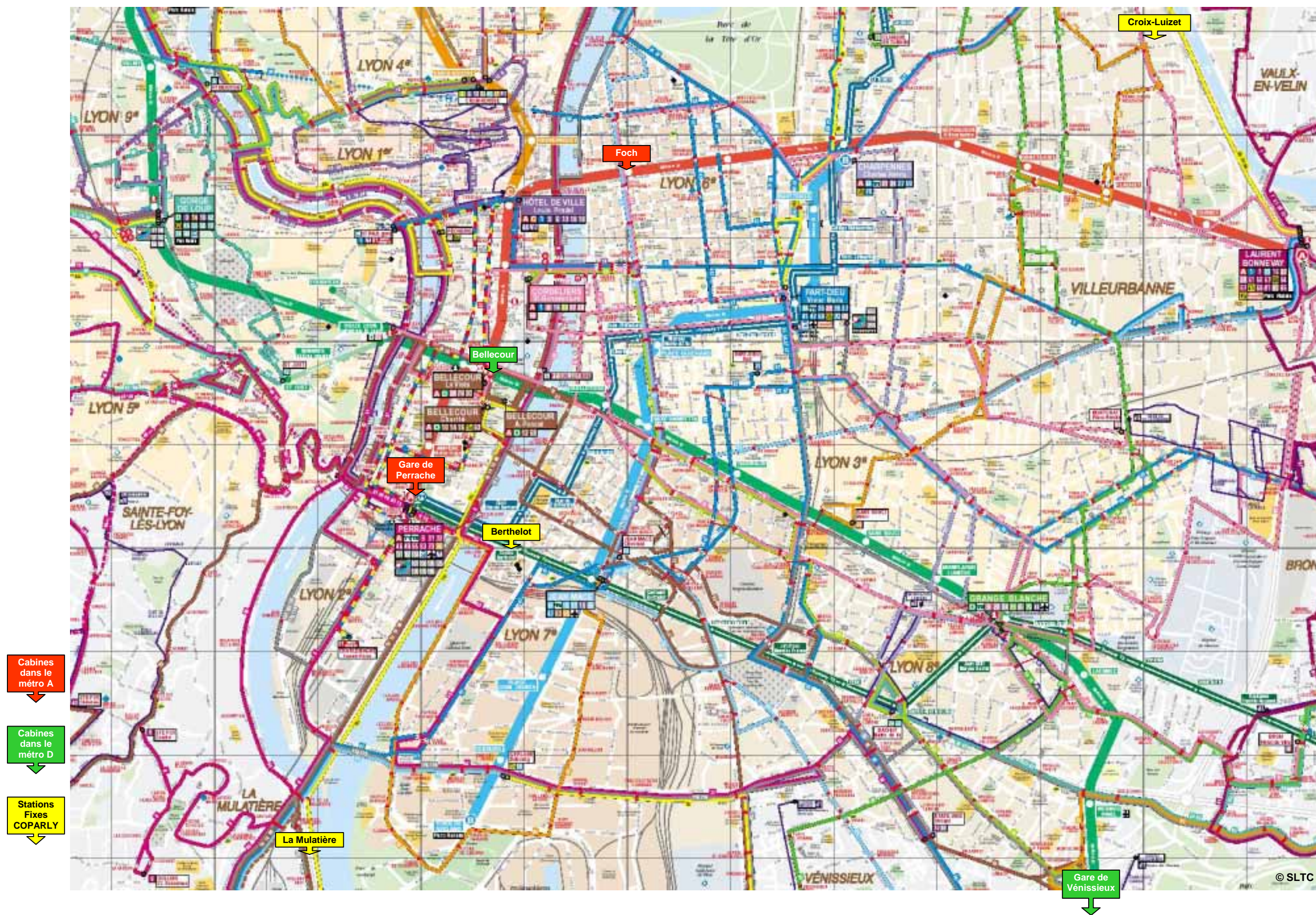


CROIX-LUIZET
 (Station fixe)
 Typologie : fond urbain
 Densité de population : 6 400 hab.km⁻²
 Polluants mesurés : PM₁₀
 PM_{2,5}
 filtres (PARTISOL)
 NO,NO₂
 O₃
 SO₂

BERTHELOT
 (Station fixe)
 Typologie : proximité trafic urbain
 Densité de population : 11 600 hab.km⁻²
 Polluants mesurés : PM₁₀
 NO,NO₂
 CO
 SO₂

GARE DE VENISSIEUX
 (Cabine 1 - Métro D)
 Emplacement : quais (dir° Gare de Vaise)
 Fréquentation : 10 000 voyageurs/jour
 Polluants mesurés : PM₁₀
 PM_{2,5}
 filtres (PARTISOL)

PLAN GENERAL : EMPLACEMENT DES SITES DE MESURES



4 RESULTATS DES MESURES

4.1 Expression des résultats

4.1.1 Représentation et interprétation des mesures

Il est rappelé que COPARLY travaille selon un système qualité basé sur le référentiel COFRAC et ISO 9002. A ce titre, toute disposition prise pour le système assurance qualité est applicable pour la présente étude, comme la maintenance du parc d'appareil de mesure par le service technique, ou l'élaboration et le suivi de la campagne par le service étude.

Ainsi, les données des moyens mobiles sont validées selon les mêmes principes que celles des stations fixes de COPARLY, repose sur deux niveaux de validation :

- une première validation « technique » des données, tenant compte systématiquement des constats de maintenance, de calibrage et de défaut des appareils de mesure
- une deuxième validation de type « environnementale », avec une comparaison des mesures selon la proximité et/ou la typologie des sites.

4.1.2 Unités et statistiques employées

Une surveillance de la qualité de l'air vise à mesurer la concentration des polluants gazeux ou particulaires dans l'air ambiant. Cette concentration s'exprime en unité de masse par unité de volume d'air prélevé ramenée aux conditions normales de température et de pression. Les unités les plus couramment utilisées sont le **microgramme par mètre cube ($\mu\text{g.m}^{-3}$)**, soit le millionième de gramme par mètre cube.

L'analyse des résultats fait appel à différents paramètres statistiques dépendant des choix faits dans les textes réglementaires et permettant d'appréhender les effets de pointe ou les effets chroniques.

- **Moyenne horaire** = *moyenne arithmétique des valeurs quart-horaires mesurées par l'analyseur*
Une moyenne horaire est valide si au moins 3 valeurs quart-horaires (75%) qui la composent le sont.
- **Moyenne journalière** = *moyenne arithmétique des valeurs horaires de 0 à 23 heures*
Une moyenne journalière est valide si au moins 18 valeurs horaires (75%) qui la composent le sont.
- **Ecart-type** = *Ecart-type de la moyenne horaire ou journalière*
L'écart-type permet de connaître la façon dont les valeurs fluctuent autour de la moyenne (alternance de pointes de pollution et de valeurs faibles).
- **Percentile 50 (P50 ou médiane)** = *valeur dépassée par 50% des données de la série statistique.*
- **Percentile 90** = *valeur dépassée par 10% des données de la série statistique.*
Les percentiles 50 et 90 sont souvent utilisés dans la détermination des valeurs guides ou des valeurs limites.
- **Percentile 98 (P98)** = *valeur dépassée par seulement 2% des données de la série statistique*
Le percentile 98, comme la valeur maximale, est un indice du taux de pointe de pollution.

4.2 Particules en suspension

4.2.1 Analyse quantitative

4.2.1.1 Résultats des mesures de particules fines (PM₁₀)

Les mesures réalisées en continu du lundi 21 octobre au mercredi 6 novembre 2002 ont permis d'étudier l'évolution de la concentration en particules fines (PM₁₀), pour différentes échelles de temps, sur deux lignes du métro lyonnais (lignes A et D, à roulement pneumatique).

Les graphes présentés dans les pages suivantes montrent l'évolution des moyennes horaires et journalières, ainsi que les profils moyens journaliers dans les quatre stations de métro étudiées (« Gare de Vénissieux », « Bellecour », Gare de Perrache » et « Foch »).

Les résultats de mesure sont comparés à deux stations du réseau fixe de surveillance de la qualité de l'air extérieur : une station urbaine de fond (Croix-Luizet), et une station à proximité d'un trafic autoroutier (La Mulatière), présentant généralement les niveaux les plus élevés sur le réseau fixe de COPARLY (cf. « Méthodologie adoptée » p.19).

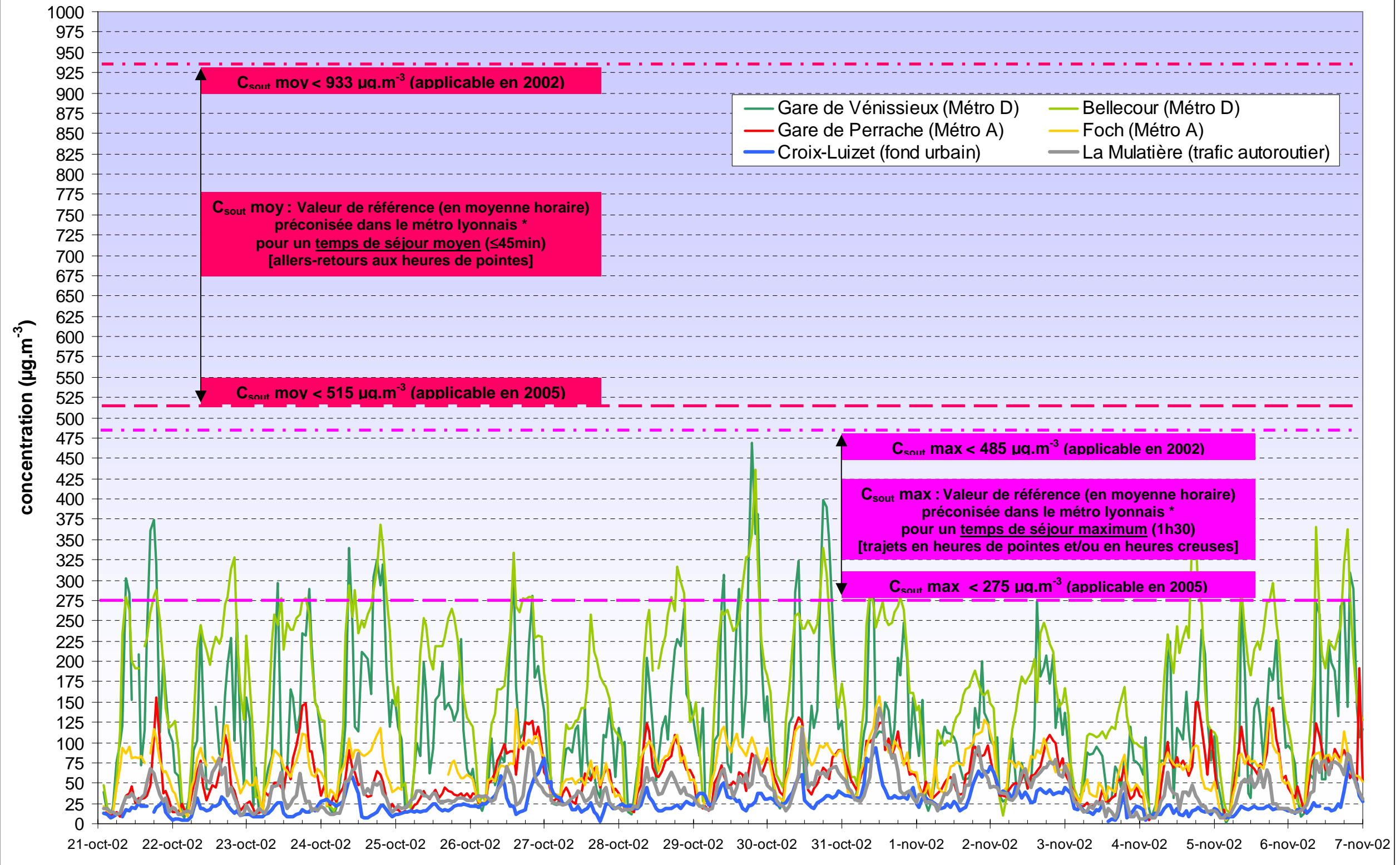
Par ailleurs, **les valeurs limites en air ambiant (moyennes journalières)** fixées par les réglementations française et européenne, ainsi que **les valeurs de référence (moyennes horaires) retenues pour la qualité de l'air dans les enceintes souterraines ferroviaires**, établies à partir de l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, sont indiquées en pointillés (cf. chapitre « La réglementation » p.11).

Les tableaux ci-dessous résument les principales valeurs statistiques calculées à partir de ces données sur l'ensemble de la période d'étude, ainsi que les maxima en quart-horaire :

Station	Mesure	Unité	Moyenne	Ecart type	Médiane des mesures horaires	P98 des mesures horaires	P90 des moyennes journalières
Gare de Vénissieux (Métro D)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	123	85	107	339	160
Bellecour (Métro D)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	171	89	173	339	197
Gare de Perrache (Métro A)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	58	32	52	131	72
Foch (Métro A)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	67	28	69	121	90
Croix-Luizet (fond urbain)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	25	15	22	68	38
La Mulatière (trafic autoroutier)	Poussières PM ₁₀	µg.m ⁻³	39	22	35	93	53

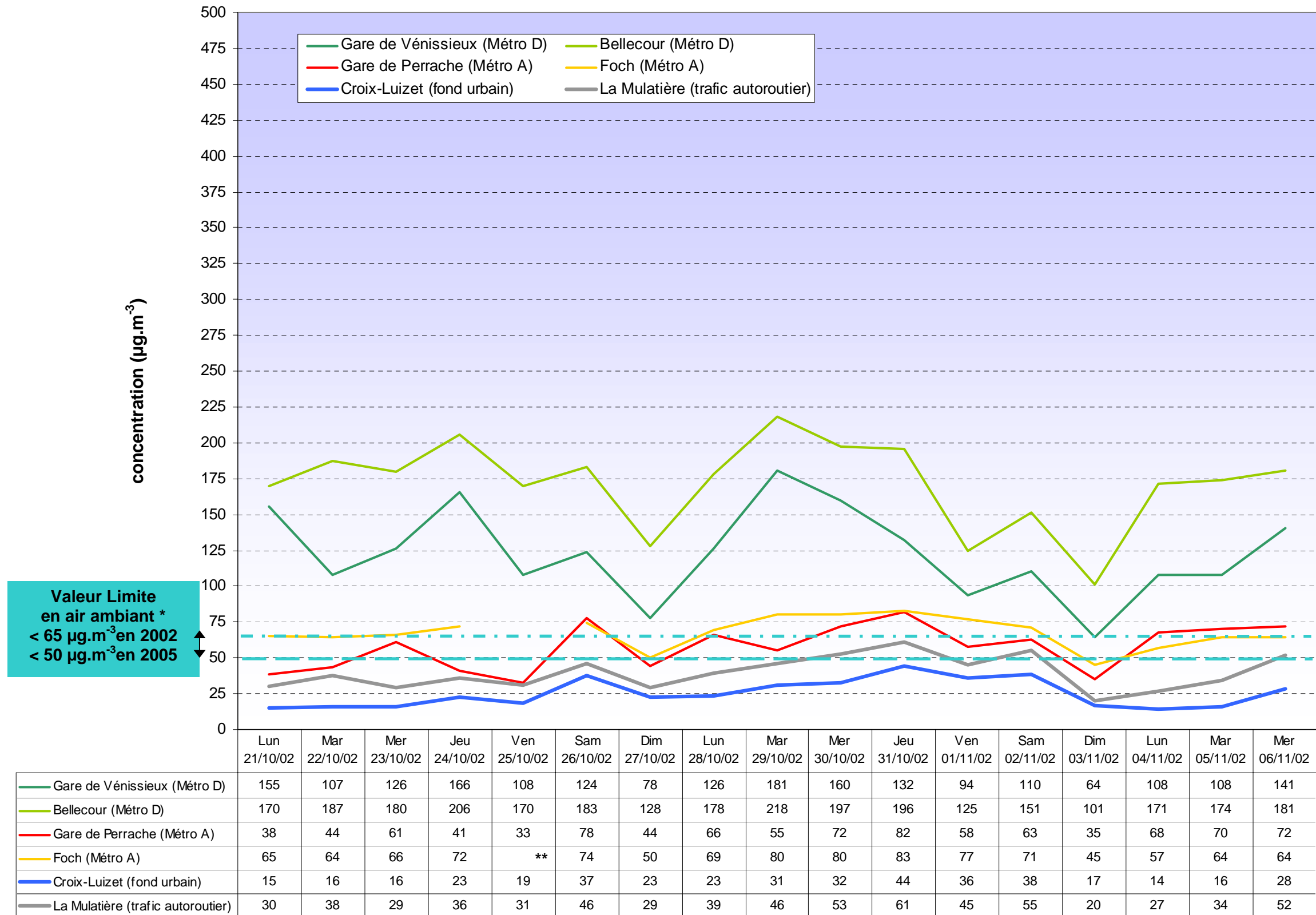
Station	Unité	Date du Minimum Horaire	Valeur du Minimum Horaire	Date du Maximum Horaire	Valeur du Maximum Horaire	Date du Maximum Quart-Horaire	Valeur du Maximum Quart-Horaire	Date du maximum journalier	Valeur du Maximum journalier
Gare de Vénissieux (Métro D)	µg.m ⁻³	05/11/2002 04:00	2	29/10/2002 19:00	469	24/10/2002 20:00	558	29/10/02	181
Bellecour (Métro D)	µg.m ⁻³	02/11/2002 04:00	10	29/10/2002 20:00	436	29/10/2002 19:30	481	29/10/02	218
Gare de Perrache (Métro A)	µg.m ⁻³	04/11/2002 03:00	5	06/11/2002 23:00	192	06/11/2002 22:45	307	31/10/02	82
Foch (Métro A)	µg.m ⁻³	05/11/2002 04:00	5	31/10/2002 12:00	157	26/10/2002 14:45	193	31/10/02	83
Croix-Luizet (fond urbain)	µg.m ⁻³	21/10/2002 04:00	0	31/10/2002 11:00	93	31/10/2002 10:30	105	31/10/02	44
La Mulatière (trafic autoroutier)	µg.m ⁻³	04/11/2002 00:00	6	31/10/2002 12:00	143	31/10/2002 11:30	154	31/10/02	61

Poussières (PM₁₀) - Données horaires



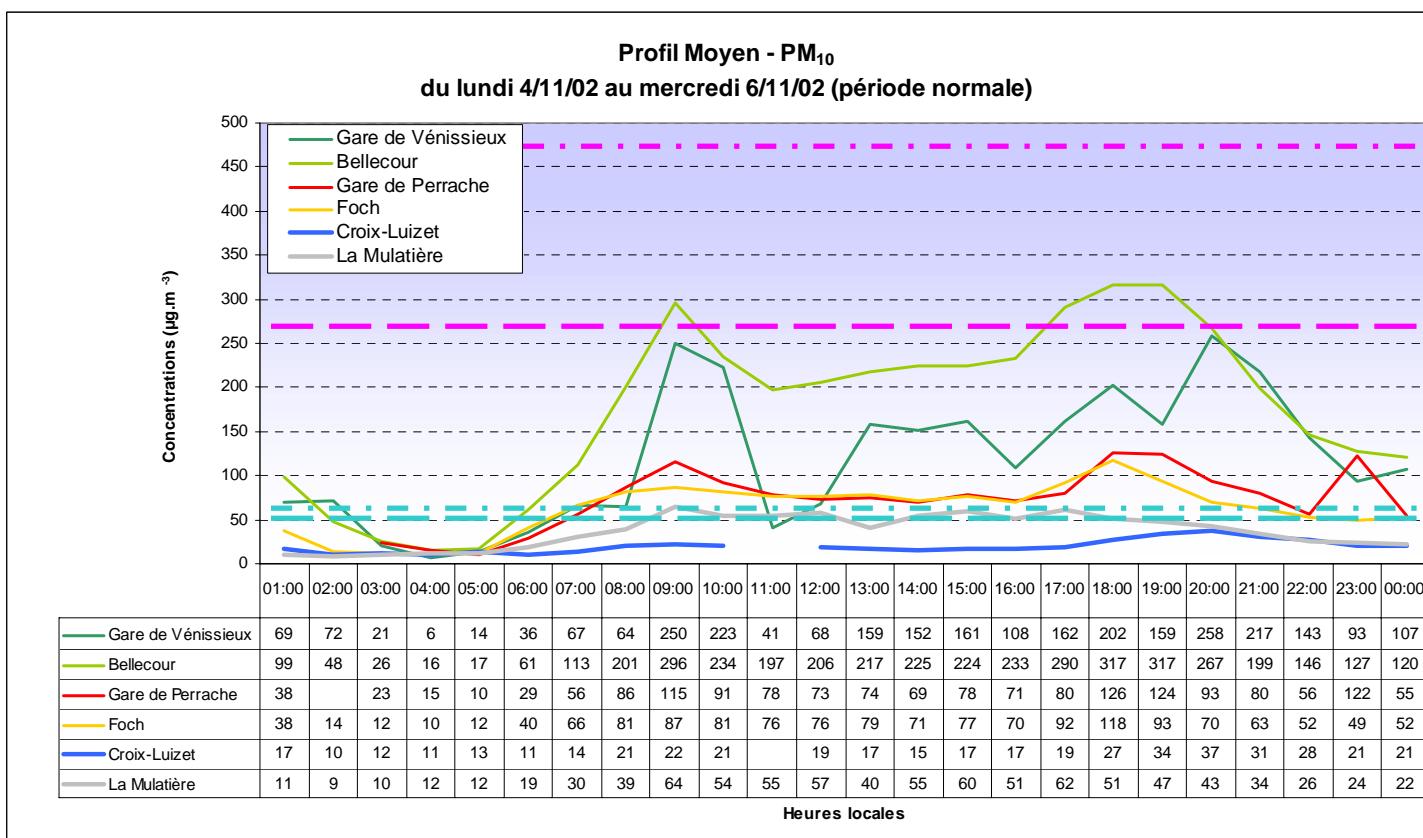
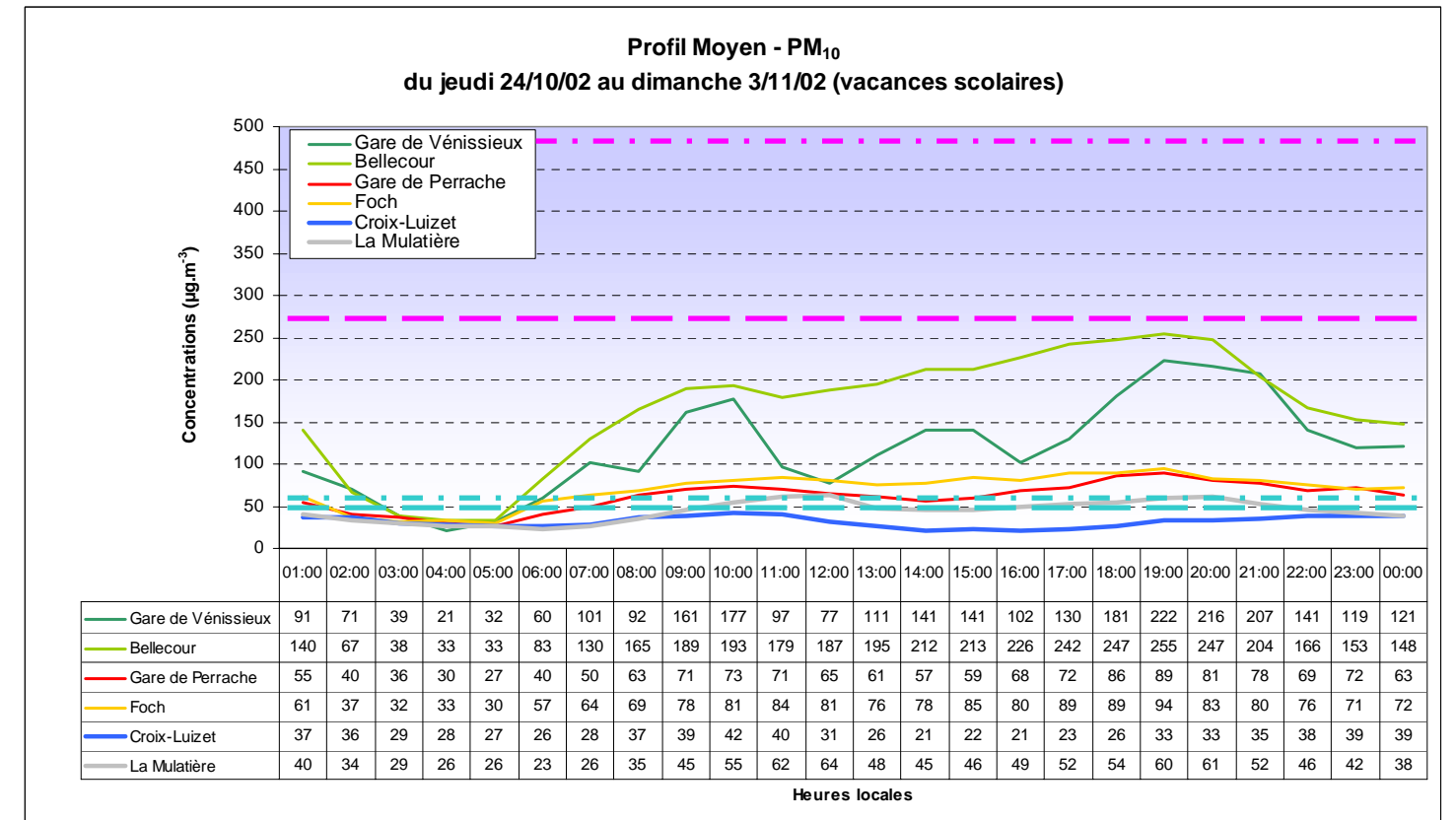
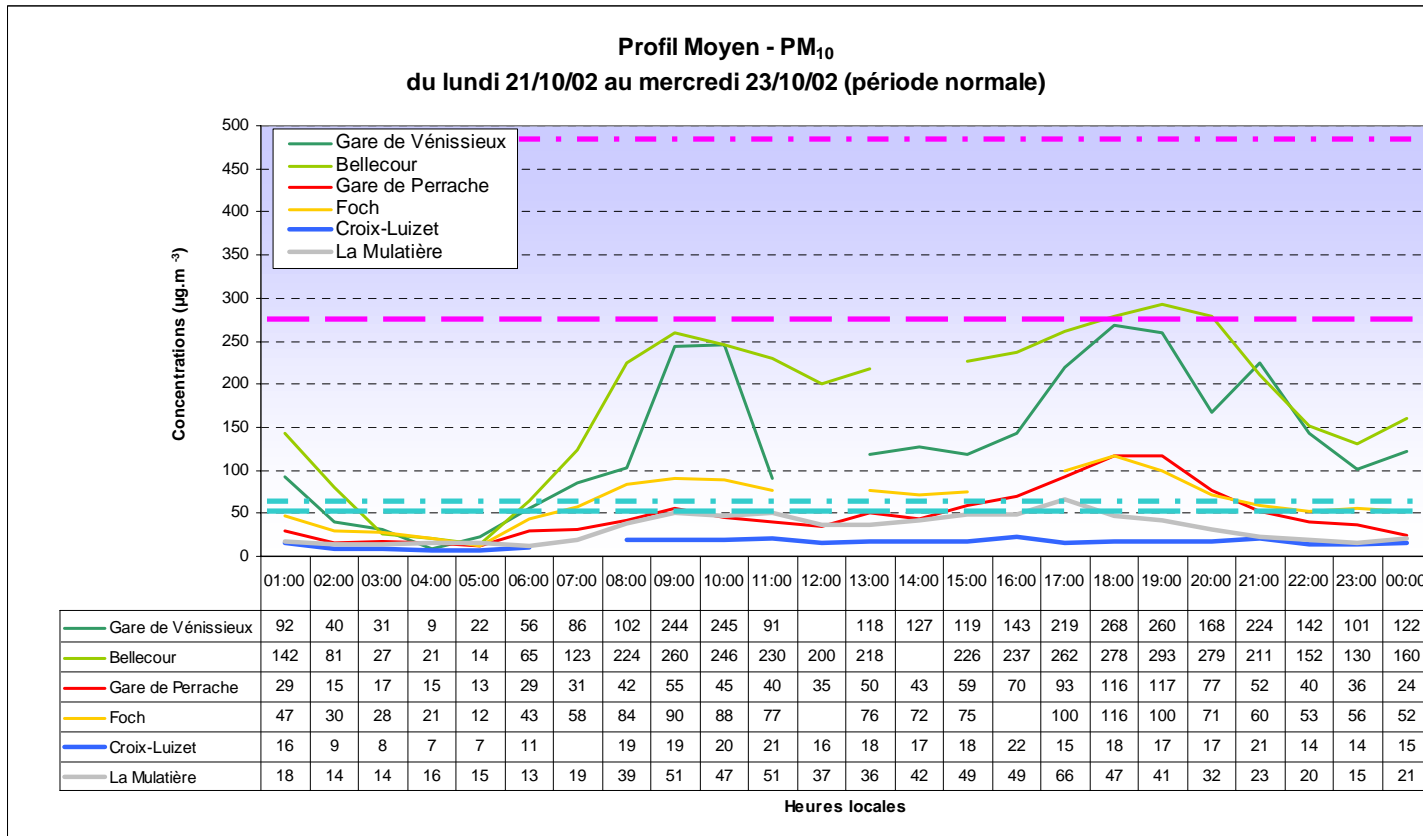
* Valeurs calculées sur la base de l'avis, publié en 2001, du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (cf. § 1.3.4)

Poussières (PM₁₀) - Moyennes journalières (24h)



* Percentile 90 des moyennes journalières - Décret du ministère français n°2002-213 et Directive européenne 1999/30/CE

** Rappel : une moyenne statistique est valide si au moins 75 % des valeurs qui la composent le sont.



Rappel : une moyenne statistique est valide si au moins 75 % des valeurs qui la composent le sont.

4.2.1.2 Analyse des résultats station par station

Les mesures dans leur ensemble montrent que les niveaux de poussières (PM₁₀) dans le métro sont plus élevés qu'à l'extérieur, ce qui est commun aux résultats de plusieurs études réalisées dans des enceintes ferroviaires. **Les taux de particules mesurés dans le métro durant la période d'étude sont en moyenne de 2,5 à 7 fois plus importants que les niveaux de fond urbain, et entre 1,5 et 4 fois plus élevés que les niveaux enregistrés en proximité de trafic autoroutier.**

☞ « Gare de Vénissieux » (Métro D)

Les niveaux de poussières (PM₁₀) enregistrés dans cette station sont relativement élevés : la moyenne de 123 µg.m⁻³ sur l'ensemble de la période est 5 fois supérieure au fond urbain et 3 fois plus élevée qu'en proximité de trafic autoroutier.

L'évolution des concentrations au cours de la journée montre des pointes plus marquées le matin et le soir aux heures usuelles pour se rendre au travail, ainsi qu'une hausse entre 12h et 14h (ceci se traduit également par une valeur de la médiane¹ plus faible que la moyenne). La nuit, après l'exploitation de la ligne D (vers 01h00 du matin), les niveaux retombent petit à petit et se situent à peu près au même niveau de fond qu'à l'extérieur, généralement inférieur à 20 µg.m⁻³, sur la plage horaire 03h00-05h00 du matin. Les liens avec l'augmentation de la fréquence des rames de métro et de la fréquentation des voyageurs sont étudiés dans le paragraphe suivant (§ 4.2.1.5)).

Durant la période de vacances scolaires (du 24/10 au 03/11), les concentrations aux heures d'affluence diminuent légèrement dans la station, alors qu'elles augmentent légèrement à l'extérieur. Néanmoins, les valeurs moyennes journalières ne diminuent pas (seule réelle diminution les dimanche et le vendredi 25/10), et le maximum est atteint le mardi 29/10/02.

Les maxima des concentrations ont été enregistrés aux heures de pointes, entre 8h00 et 9h00 le matin, et entre 18h et 20h le soir, avec des valeurs horaires fortes fluctuant en moyenne autour de 250, voire 300 µg.m⁻³ (maximum mesuré : 469 µg.m⁻³), et des valeurs quart-horaires maximales ayant atteint 558 µg.m⁻³.

☞ « Bellecour » (Métro D)

Cette station présente les plus forts taux de particules, avec une moyenne sur l'ensemble de la période de 171 µg.m⁻³, 7 fois plus importante que celle mesurée en fond urbain et 4 fois plus qu'à proximité de l'autoroute. A noter qu'il s'agit d'une station de correspondance entre les lignes A et D.

Les mesures dans cette station montrent également une hausse sensible aux heures de pointes du matin et du soir, mais de façon moins marquée que « Gare de Vénissieux », car les niveaux sont également élevés le reste de la journée (le plus souvent supérieurs à 200 µg.m⁻³). La nuit, les concentrations redescendent néanmoins vers les mêmes niveaux de fond qu'à l'extérieur, également sur la plage horaire 03h00-05h00 du matin.

Le profil moyen calculé sur la période des vacances scolaires montre une légère diminution des concentrations le matin et le soir, mais pas de baisse sensible l'après-midi. Les moyennes journalières suivent pratiquement la même évolution que « Gare de Vénissieux », avec des concentrations supérieures de 25 à 50 µg.m⁻³.

Les valeurs vraiment maximales de la station « Bellecour » sont également enregistrées aux heures de pointes, le matin et le soir, avec des valeurs fortes souvent semblables ou supérieures à celles mesurées « Gare de Vénissieux », mais des maxima horaire (436 µg.m⁻³) et quart-horaire (481 µg.m⁻³) légèrement inférieurs.

☞ « Gare de Perrache » (Métro A)

Les niveaux mesurés « Gare de Perrache », sur la ligne A, sont les plus faibles des quatre stations étudiées, avec une moyenne de 58 µg.m⁻³. Ceci peut peut-être s'expliquer par la configuration de la station, avec une semi-ouverture vers l'extérieur sur le quai (correspondance de plein pied avec le Tramway), pouvant favoriser la ventilation du lieu (voir § 4.2.1.6). Néanmoins, les taux sont en moyenne 2,5 fois plus élevés que les niveaux de fond urbain, et 1,5 fois supérieurs qu'en proximité immédiate de l'autoroute.

Les différents graphes montrent des hausses plus marquées le matin (8-9h) et le soir (18-19h), aux heures de forte affluence. Les concentrations retombent durant la nuit, après l'arrêt d'exploitation de la ligne (vers 00h00, soit une heure plus tôt que la ligne D), pour atteindre des niveaux très proches de ceux mesurés à l'extérieur, comme sur les stations de la ligne D, mais sur une plage horaire logiquement augmentée d'une heure (02h00-05h00).

¹ valeur dépassée par la moitié des valeurs sur l'ensemble de la période

Durant la période de vacances scolaires, les niveaux semblent être plus homogènes sur l'ensemble de la journée (aplanissement de la courbe), mais les moyennes journalières n'accusent pas de baisse significative. Au contraire, les deux maxima se situent dans cette période, dont un le samedi 28/10.

Les maxima de $192 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne horaire et $307 \mu\text{g.m}^{-3}$ en mesure quart-horaire, enregistrés le 06/11/02 (le dernier jour de l'étude, respectivement à 23h00 et 22h45) ne sont pas représentatifs de l'ensemble de la période de mesure, et pourraient être dus à un phénomène très localisé. Les maxima horaires dans cette station se situent plutôt entre 125 et $150 \mu\text{g.m}^{-3}$.

☞ « Foch » (Métro A)

Les niveaux enregistrés dans cette station sont très similaires à ceux mesurés dans la station de la même ligne « Gare de Perrache ». Les taux de poussières enregistrés sont également en moyenne 2,5 fois plus élevés que les niveaux de fond urbain, et environ 1,5 fois supérieurs à ceux du trafic automobile dense, avec une moyenne sur l'ensemble de la période de $67 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Cette moyenne est légèrement plus élevée que « Gare de Perrache », mais les fluctuations horaires et journalières sont relativement proches, avec des pointes enregistrées aux mêmes heures le matin et le soir, et un comportement similaire durant les vacances scolaires.

Sur l'ensemble de la période, les niveaux dans les deux stations semblent suivre à peu près la même évolution, avec une répartition peut-être plus homogène en journée à « Foch » que « Gare de Perrache », mais des maxima horaires très proches.

4.2.1.3 Comparaison vis-à-vis des réglementation ou recommandations :

☞ Valeurs limites en air ambiant (extérieur)

Sur l'ensemble des dix-sept jours de mesure, la **valeur limite du percentile 90 des moyennes journalières de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (applicable en 2005)** a été respectée sur le site extérieur de fond urbain « Croix-Luizet », mais elle a été dépassée quatre fois sur le site à proximité du trafic autoroutier « La Mulatière ». Sur ce dernier site, la **valeur limite de $65 \mu\text{g.m}^{-3}$ (applicable en 2002)** a été approchée une seule fois ($61 \mu\text{g.m}^{-3}$), mais jamais atteinte ou dépassée.

A noter que ces deux seuils réglementaires pour l'air ambiant ont été dépassés pratiquement chaque jour dans les quatre stations de métro étudiées, mais tout en rappelant que, selon l'avis du CSHPF, ces valeurs ne sont pas directement applicables à des mesures effectuées dans des enceintes souterraines telles que celles du métro (cf. § 1.3.4).

Sur l'ensemble de l'année 2002, la moyenne des concentrations mesurées sur le site « Croix-Luizet » est de $23 \mu\text{g.m}^{-3}$, et respecte donc la **valeur limite (moyenne annuelle) de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$** ainsi que la **valeur guide (moyenne annuelle) de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$** . Sur le site de proximité trafic « La Mulatière » par contre, la moyenne annuelle de $42 \mu\text{g.m}^{-3}$ en 2002 dépasse ces deux valeurs. La trop courte période de mesure ne permet pas d'effectuer la même comparaison avec les moyennes calculées dans les stations de métro, bien que celles-ci dépassent toutes également les deux valeurs de référence.

☞ Valeurs limites en atmosphère de travail

Concernant la réglementation qui s'applique dans le cadre de la profession, à des travailleurs en bonne santé, **les valeurs limites fixées par le Ministère du Travail ont été largement respectées dans les quatre stations étudiées du métro lyonnais, sur l'ensemble de la période de mesure**, à savoir une concentration moyenne évaluée sur une période de 8 heures, inférieure à $10\,000 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les poussières totales¹ ou $5\,000 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les poussières alvéolaires² (cf. § 1.3.3).

☞ Valeurs de référence dans les enceintes souterraines ferroviaires

Pour rappel, les **valeurs de référence (moyennes horaires)** retenues par COPARLY pour la qualité de l'air dans l'enceinte du métro lyonnais ont été calculées à partir de l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (avec une hypothèse légèrement plus pessimiste en ce qui concerne les concentrations extérieures des poussières sur l'agglomération lyonnaise en 2005, cf. § 1.3.4.2), pour s'appliquer à l'ensemble de la population y compris les personnes sensibles :

- Pour un **temps de séjour moyen** ($\leq 0\text{h}45'$; allers-retours en heures de pointes) :

$C_{\text{sout}} \text{ moy} < 933 \mu\text{g.m}^{-3}$, applicable en 2002

$C_{\text{sout}} \text{ moy} < 515 \mu\text{g.m}^{-3}$, applicable en 2005

- Pour un **temps de séjour maximum** (1h30' ; en heures de pointes et/ou en heures creuses) :

$C_{\text{sout}} \text{ max} < 485 \mu\text{g.m}^{-3}$, applicable en 2002

$C_{\text{sout}} \text{ max} < 275 \mu\text{g.m}^{-3}$, applicable en 2005

¹ Particules de diamètre aérodynamique quelconque

² Particules de diamètre aérodynamique $< 4 \mu\text{m}$

Sur l'ensemble des dix-sept jours de mesure, aucune concentration n'a dépassé le seuil « $C_{\text{sout moy}}$ » en moyenne horaire, calculé pour un temps de séjour moyen dans le métro lyonnais, que ce soit pour son application en 2002 ou 2005.

Toutes les valeurs mesurées sur l'ensemble de la période sont nettement inférieures au seuil de $933 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2002, et seule une concentration horaire a été enregistrée dans les deux stations de la ligne D avec une valeur se rapprochant du seuil de $515 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2005.

Concernant la valeur moyenne horaire de référence « $C_{\text{sout max}}$ » calculée pour un temps de séjour maximum dans le métro lyonnais, sur plus de 400 heures de mesures, le seuil de $485 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2002 a été approché une seule fois (sans dépassement) dans les deux stations de la ligne D, « Gare de Vénissieux » et « Bellecour ».

En revanche, la valeur de $275 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2005 a été dépassée plusieurs fois dans ces deux mêmes stations, même si ce seuil a été calculé avec l'hypothèse pessimiste d'une non-amélioration de la qualité de l'air extérieur sur l'agglomération lyonnaise, avec une estimation du percentile 90 moyen en 2005 de $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ (au lieu de $23 \mu\text{g.m}^{-3}$ prévu par le CSHPF).

Les nombres et périodes de dépassement enregistrés sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Dépassements du seuil de $275 \mu\text{g.m}^{-3}$ applicable en 2005 (valeur de référence pour un temps de séjour maximal)							
Station	Nombre de dépassements	Date début	Durée	Station	Nombre de dépassements	Date début	Durée
Gare de Vénissieux (Métro D)	31	21/10/2002 10:00	02h00	Bellecour (Métro D)	45	21/10/2002 09:00	01h00
		21/10/2002 17:00	03h00			21/10/2002 18:00	02h00
		23/10/2002 10:00	01h00			22/10/2002 18:00	03h00
		23/10/2002 20:00	01h00			23/10/2002 11:00	01h00
		24/10/2002 09:00	01h00			23/10/2002 18:00	02h00
		24/10/2002 17:00	04h00			24/10/2002 09:00	01h00
		26/10/2002 14:00	01h00			24/10/2002 11:00	01h00
		26/10/2002 20:00	01h00			24/10/2002 17:00	05h00
		29/10/2002 10:00	01h00			26/10/2002 14:00	01h00
		29/10/2002 15:00	01h00			26/10/2002 17:00	04h00
		29/10/2002 18:00	04h00			28/10/2002 17:00	01h00
		30/10/2002 09:00	02h00			28/10/2002 19:00	03h00
		30/10/2002 18:00	03h00			29/10/2002 16:00	06h00
		31/10/2002 09:00	02h00			30/10/2002 17:00	03h00
		05/11/2002 09:00	01h00			31/10/2002 09:00	01h00
		06/11/2002 18:00	01h00			31/10/2002 19:00	01h00
		06/11/2002 20:00	02h00			04/11/2002 17:00	03h00
						05/11/2002 09:00	01h00
						05/11/2002 19:00	01h00
		06/11/2002 09:00	01h00				
		06/11/2002 18:00	03h00				
Gare de Perrache (Métro A)	0			Foch (Métro A)	0		

A noter que les dépassements se sont produits en majorité en heures de pointes, sur une durée moyenne de 1h50 en « Gare de Vénissieux » et de 2h10 à « Bellecour ».

Le seuil a été dépassé 31 heures (soit environ 7,5 % du temps total) dans la station « Gare de Vénissieux », et 45 heures dans la station « Bellecour » (soit environ 11% du temps total).

Aucun dépassement de cette valeur de référence n'a été mesuré sur l'ensemble de la période, dans les deux stations de la ligne A « Gare de Perrache » et « Foch ».

4.2.1.4 Comparaison avec d'autres études :

Même si les concentrations en poussières (PM₁₀) mesurées dans le métro lyonnais paraissent élevées, les niveaux rencontrés sont tout à fait comparables avec ceux d'autres études récentes réalisées dans le métro, en France ou à l'étranger, qui rapportent des taux 4 à 8 fois plus élevés que les mesures en fond urbain et dont voici quelques valeurs :

Ville	Année	Valeurs moyennes (en µg.m ⁻³)	Valeurs max. horaires (en µg.m ⁻³)
Métro de Londres	1998	245-565	
	1999	669	
Métro de Berlin	1995-96	141 - 153	
	1998	139 (hiver) 151 (été)	
Métro de Séoul	1999	109 - 138 (halls) 147 - 189 (quais)	
Métro de Paris	1995-97	500 (ligne 5 - type «fer»)	1200 (ligne 5 - type «fer»)
	1999	85 (ligne 4 - type «pneu») 134 (ligne 1 - type «pneu») 350 (ligne 7 - type «fer»)	499 (ligne 4 - type «pneu») 403 (ligne 1 - type «pneu»)
		2000	102 (ligne 4 - type «pneu») 139 (ligne 1 - type «pneu») 70 (ligne 9 - type «fer» freinage : semelle de bois)
Métro de Lyon	1998 ¹	110 - 136 (ligne D - type «pneu» frein à disque)	482 (ligne D - type «pneu» freinage : disque en fonte)
	2002 ²	123 - 171 (ligne D - type «pneu» freinage : disque) 58 - 67 (ligne A - type «pneu» freinage : semelle composite)	469 (ligne D - type «pneu» freinage : disque) 192 (ligne A - type «pneu» freinage : semelle composite)

Mesures de poussières (PM₁₀) rencontrées dans la littérature, en France et à l'étranger.

4.2.1.5 Influence du trafic et de la fréquentation

Les rames de métro en circulation sont les premières évoquées dans la recherche des sources d'émission de particules, en lien avec les frottements sur les rails (accélération et freinages) ou l'usure des pièces mécaniques.

Dans un deuxième temps, les usagers peuvent être impliqués dans l'empoussièrisme du métro, avec les particules apportées de l'extérieur, le tabagisme, mais surtout, la remise en suspension sur leur passage des particules fines et très fines déposées au sol.

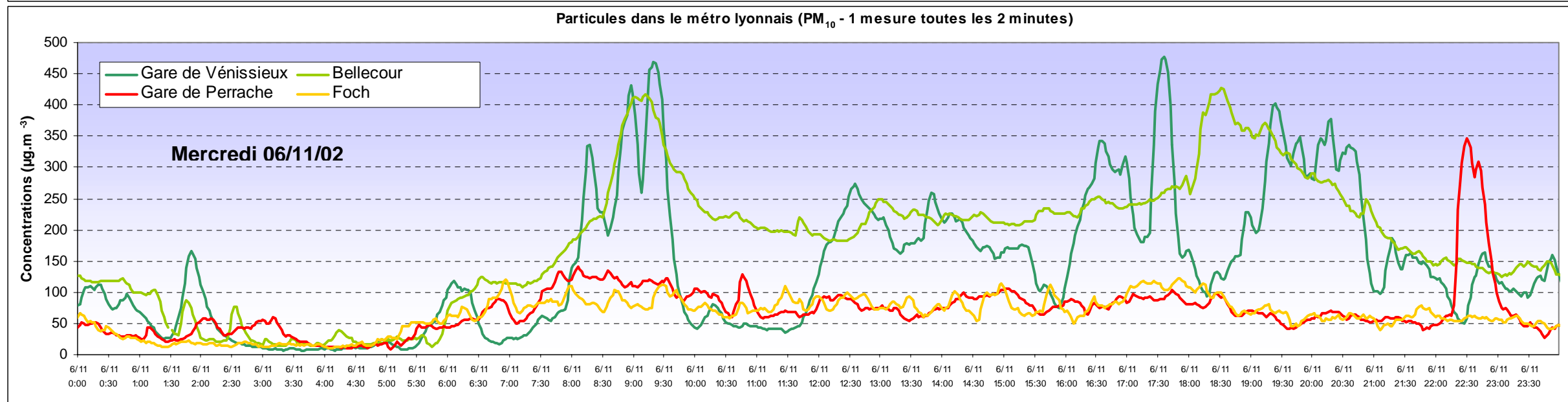
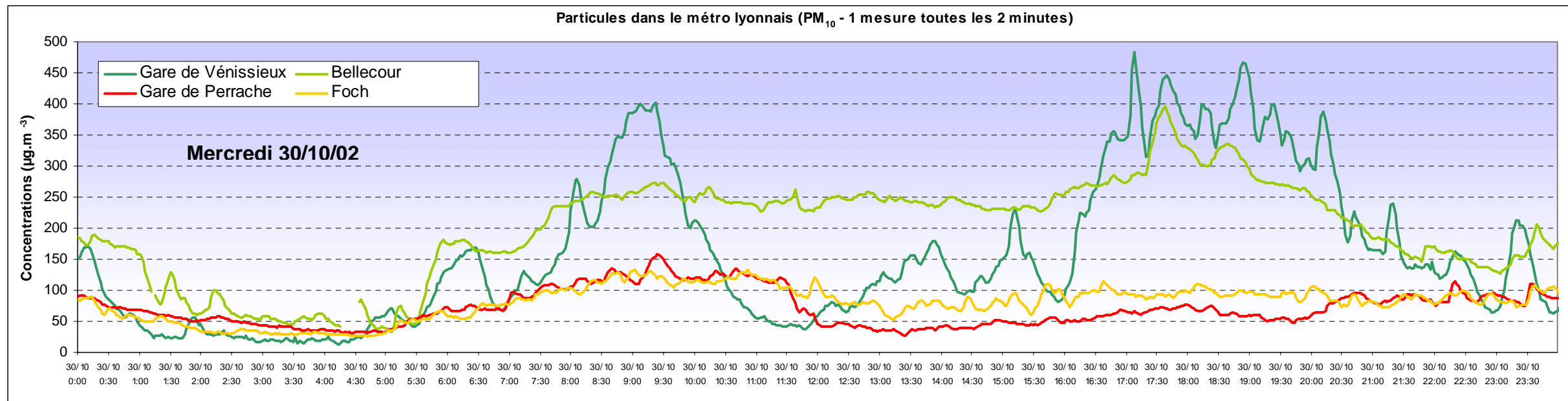
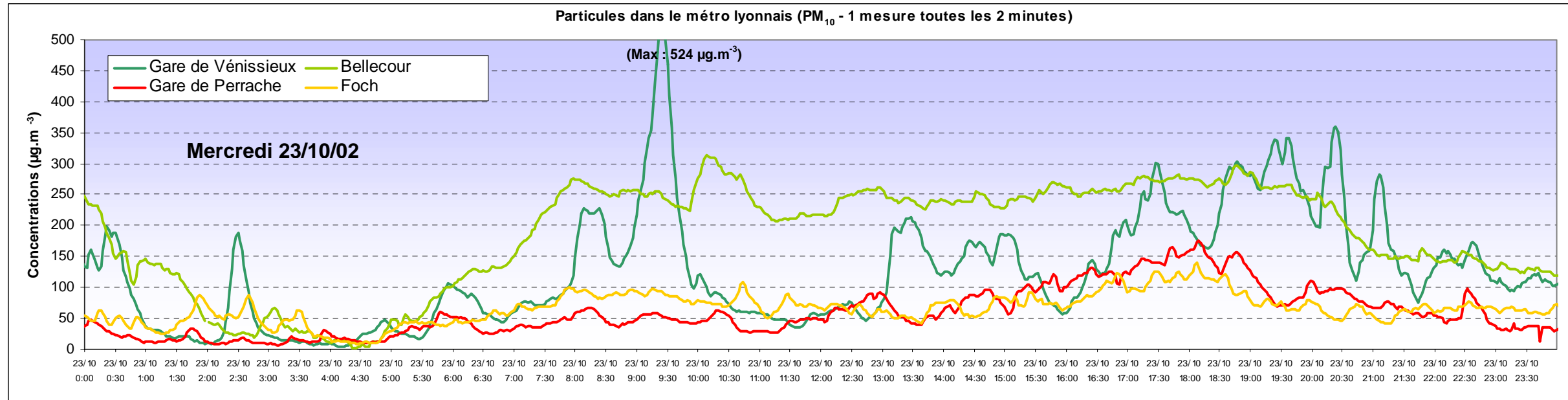
A partir du mardi 22 octobre, le pas de temps pour l'acquisition des mesures de particules a été modifié (2 minutes au lieu de 15 minutes), pour être de l'ordre de la fréquence du métro aux heures de pointes, afin d'étudier l'influence de ce dernier.

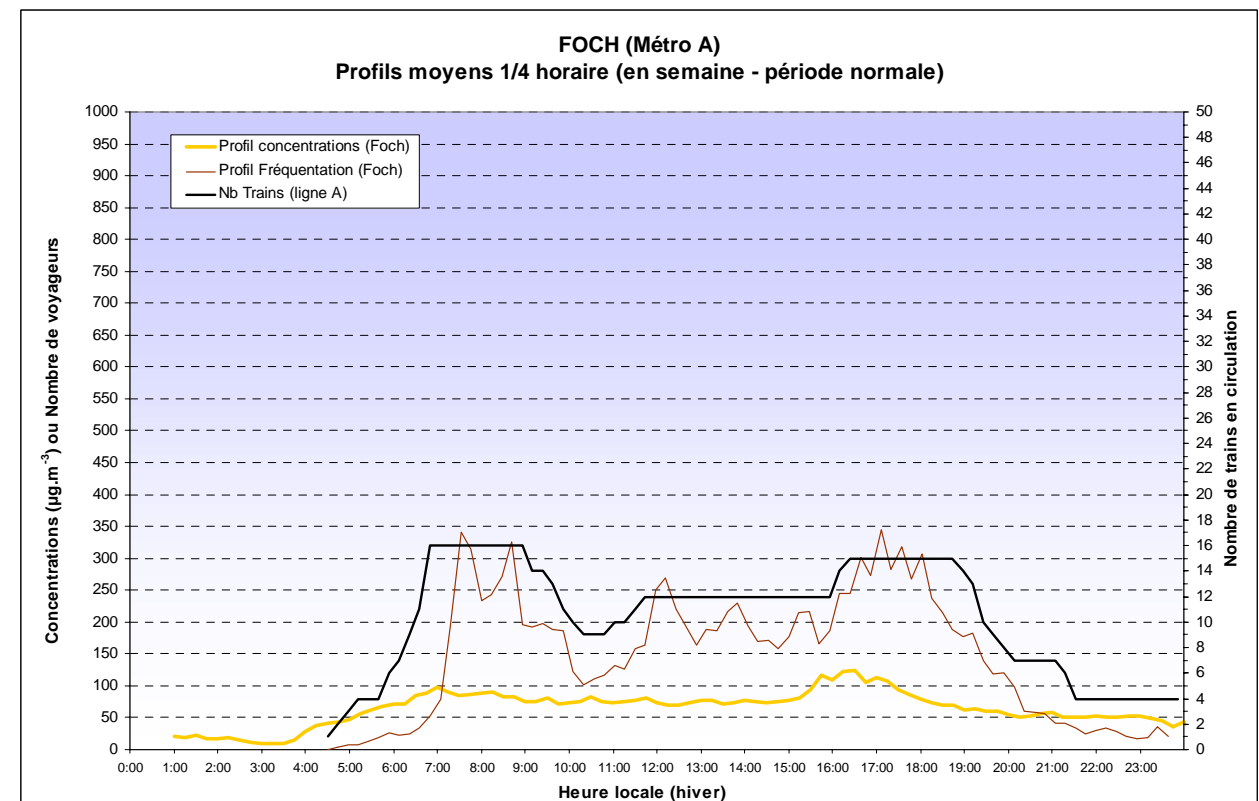
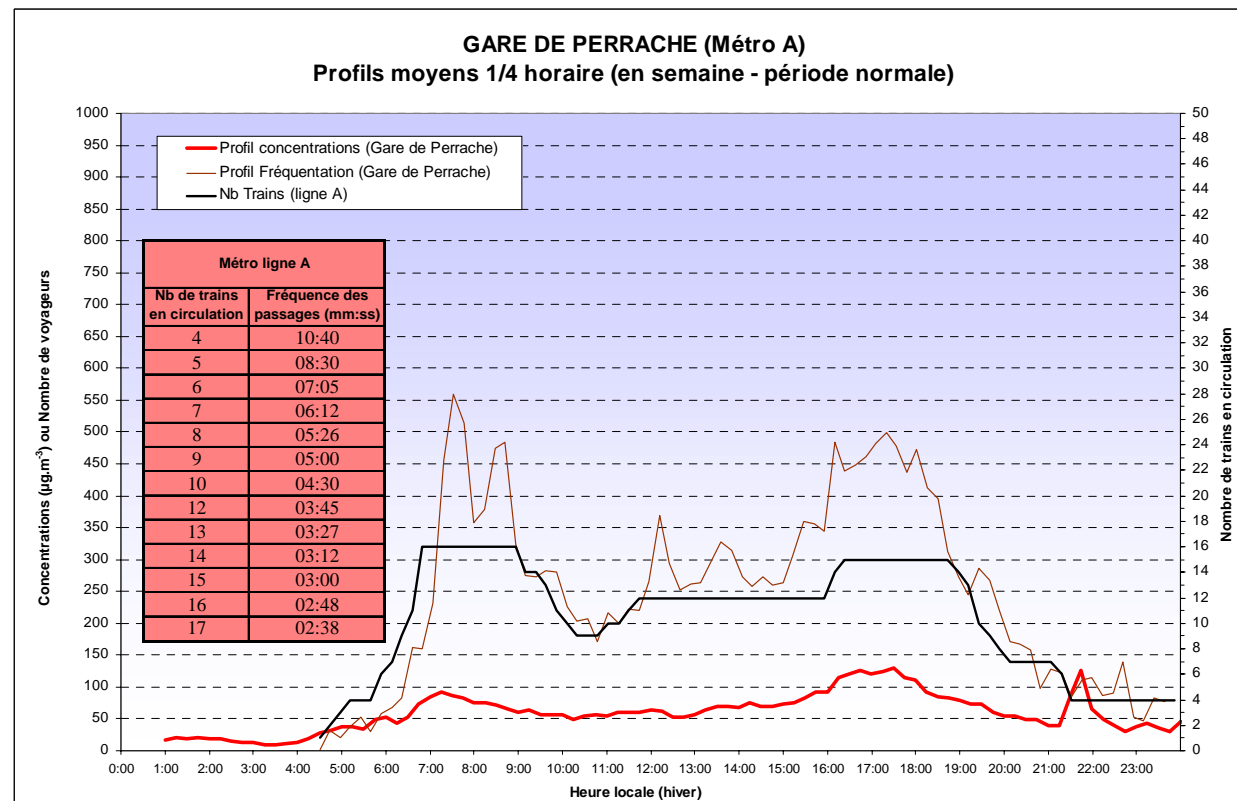
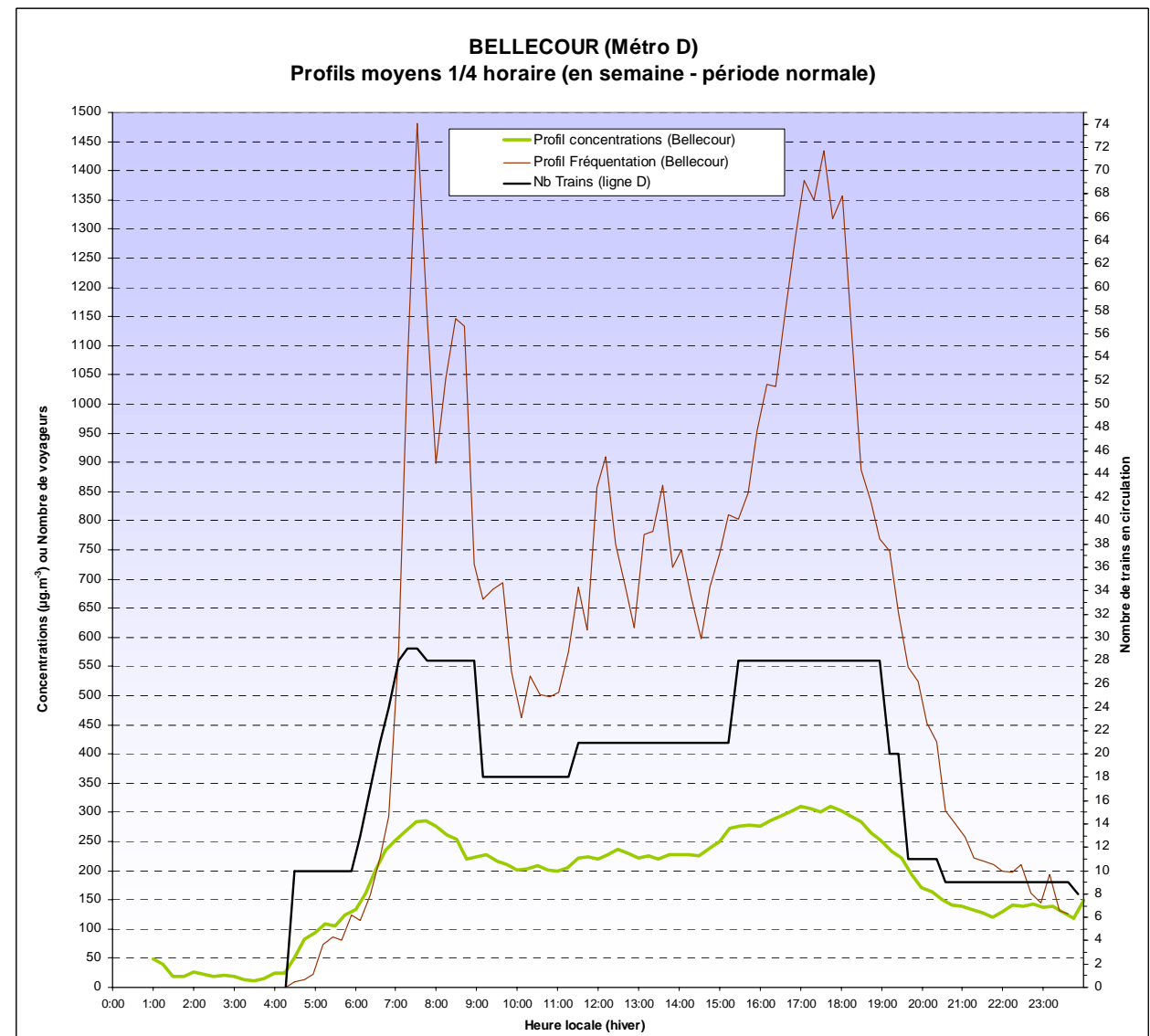
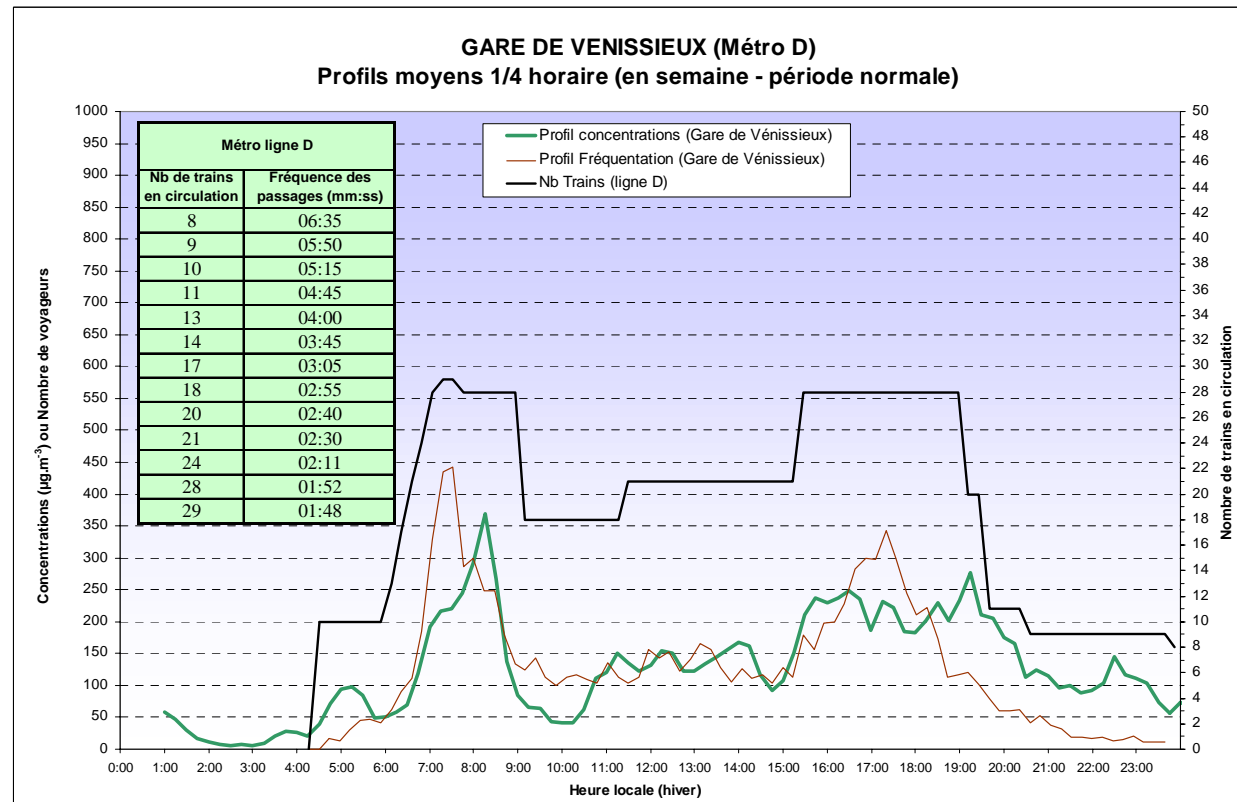
Les trois premiers graphes représentent les valeurs de concentrations en particules fines (PM₁₀) mesurées dans le métro sur ce pas de temps de deux minutes, pour trois journées comparables : le mercredi 23/10, mercredi 30/10 et mercredi 6/11.

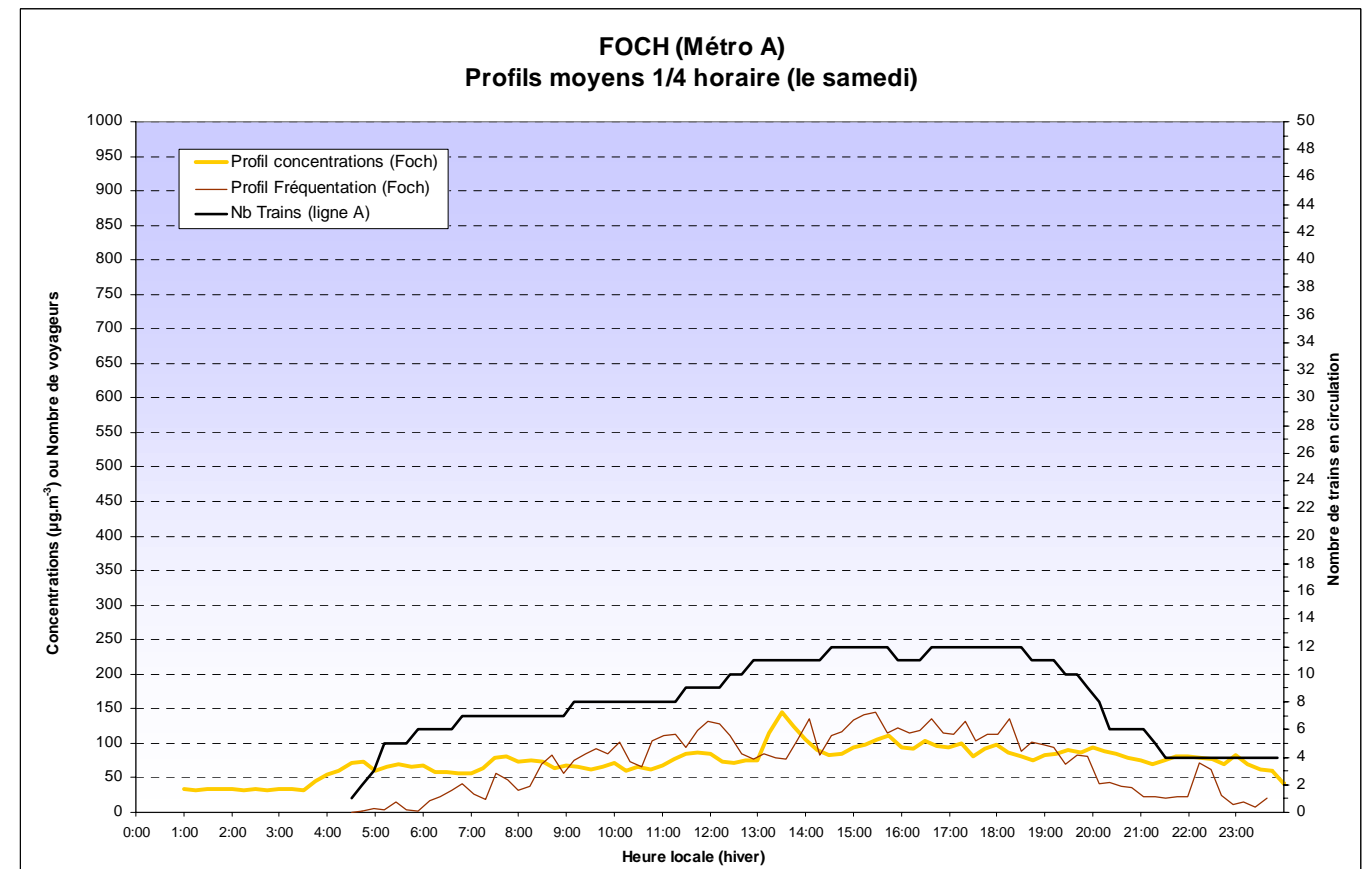
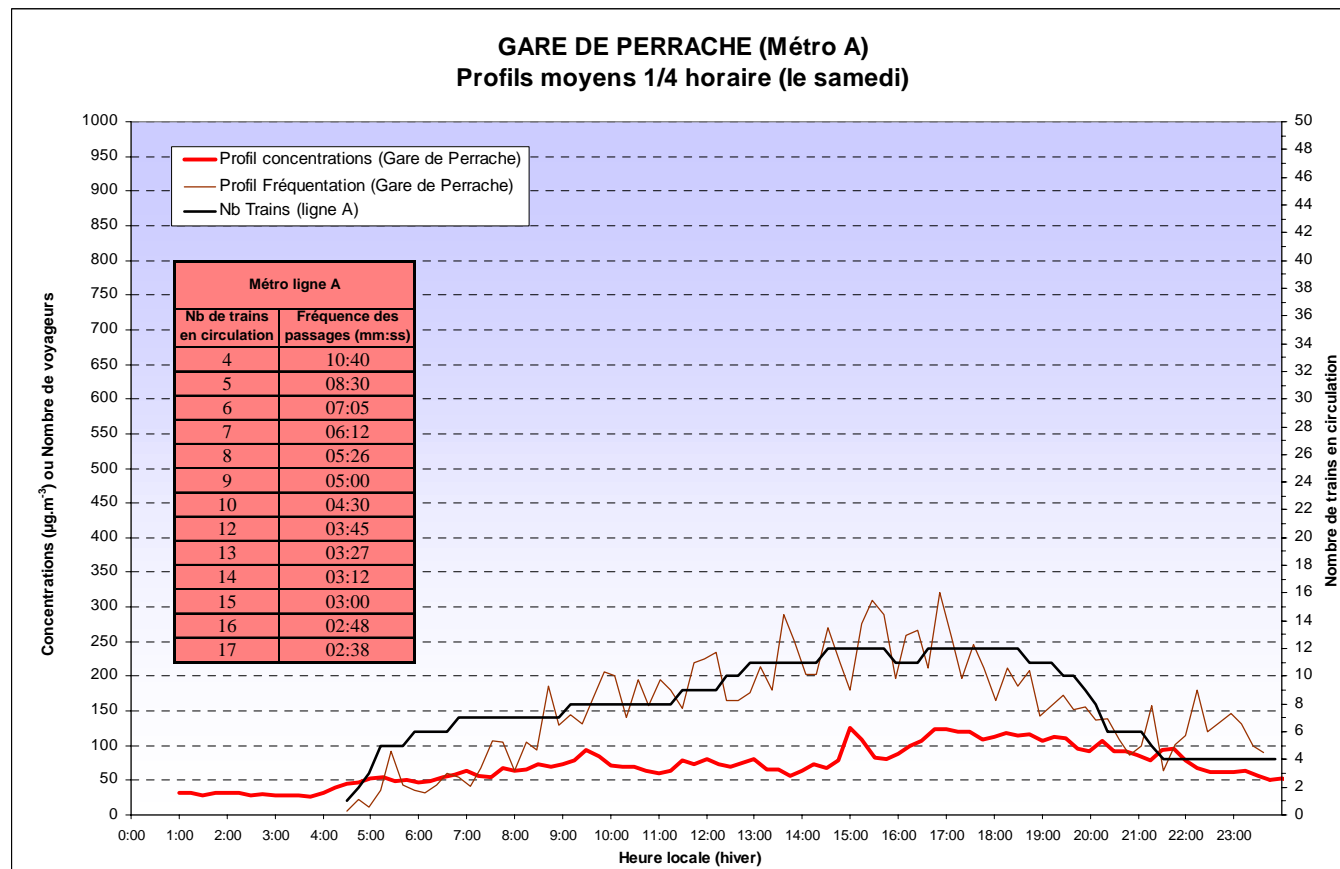
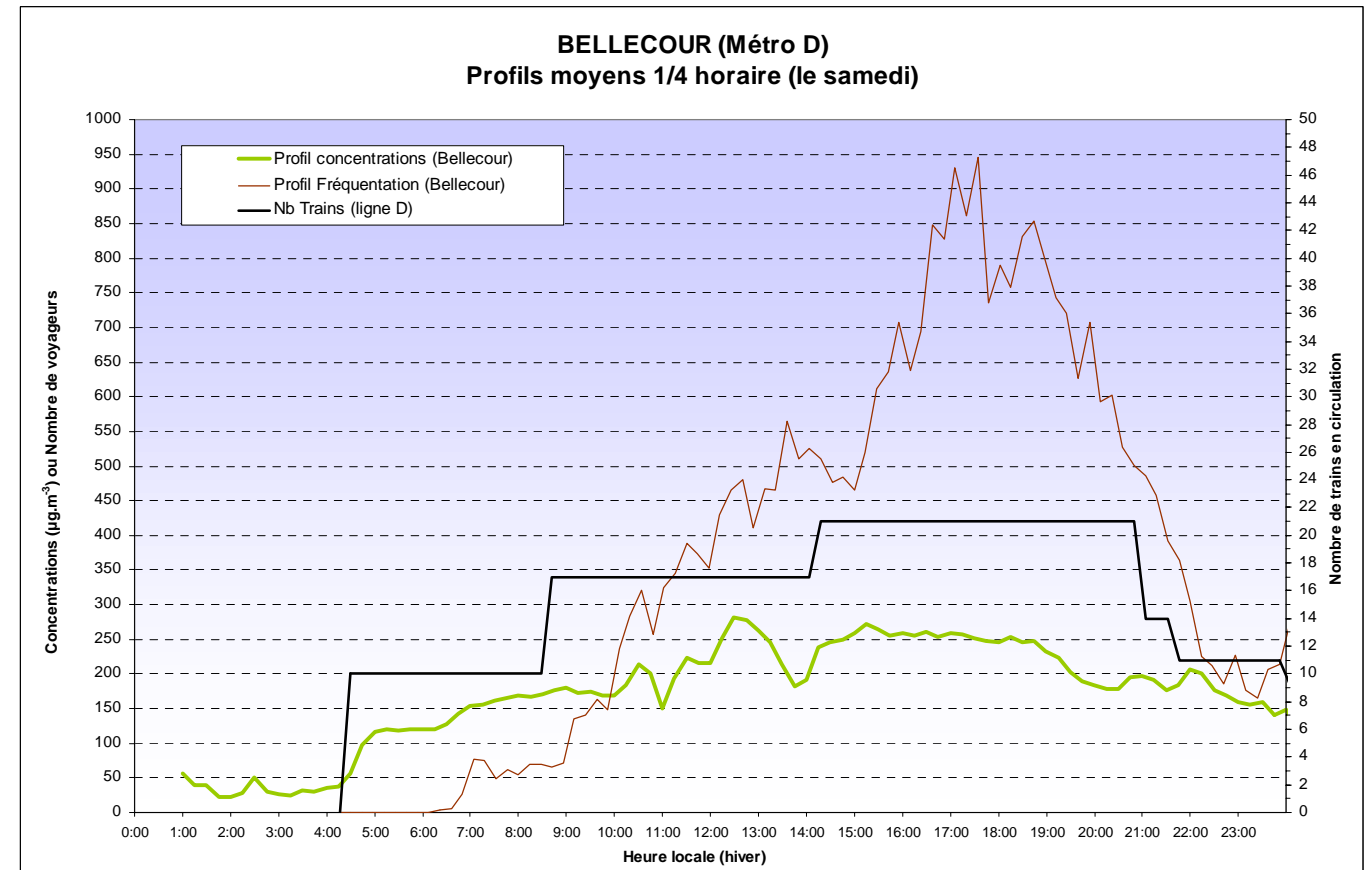
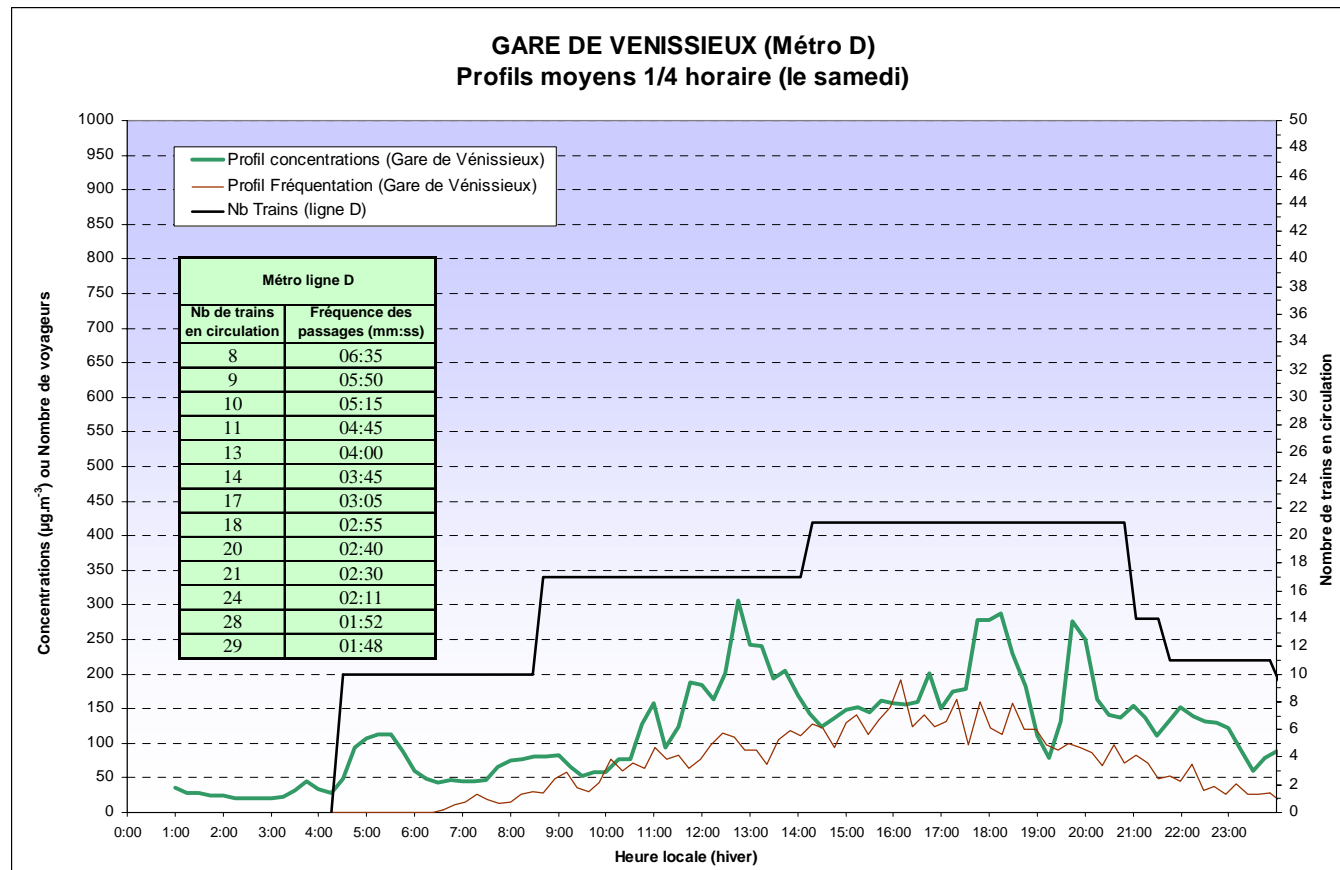
Par ailleurs, les mesures ont été corrélées à la fréquentation des stations (nombre de voyageurs), ainsi qu'avec le nombre de rames de métro en circulation (proportionnel à la fréquence de passage). A partir des données fournies par la SLTC, les profils moyens ¼ horaire ont été étudiés pour différents journées types : en semaine (période normale), le samedi et le dimanche. L'étude pour une journée type en période scolaire n'a pas pu être menée en l'absence des données de fréquentation.

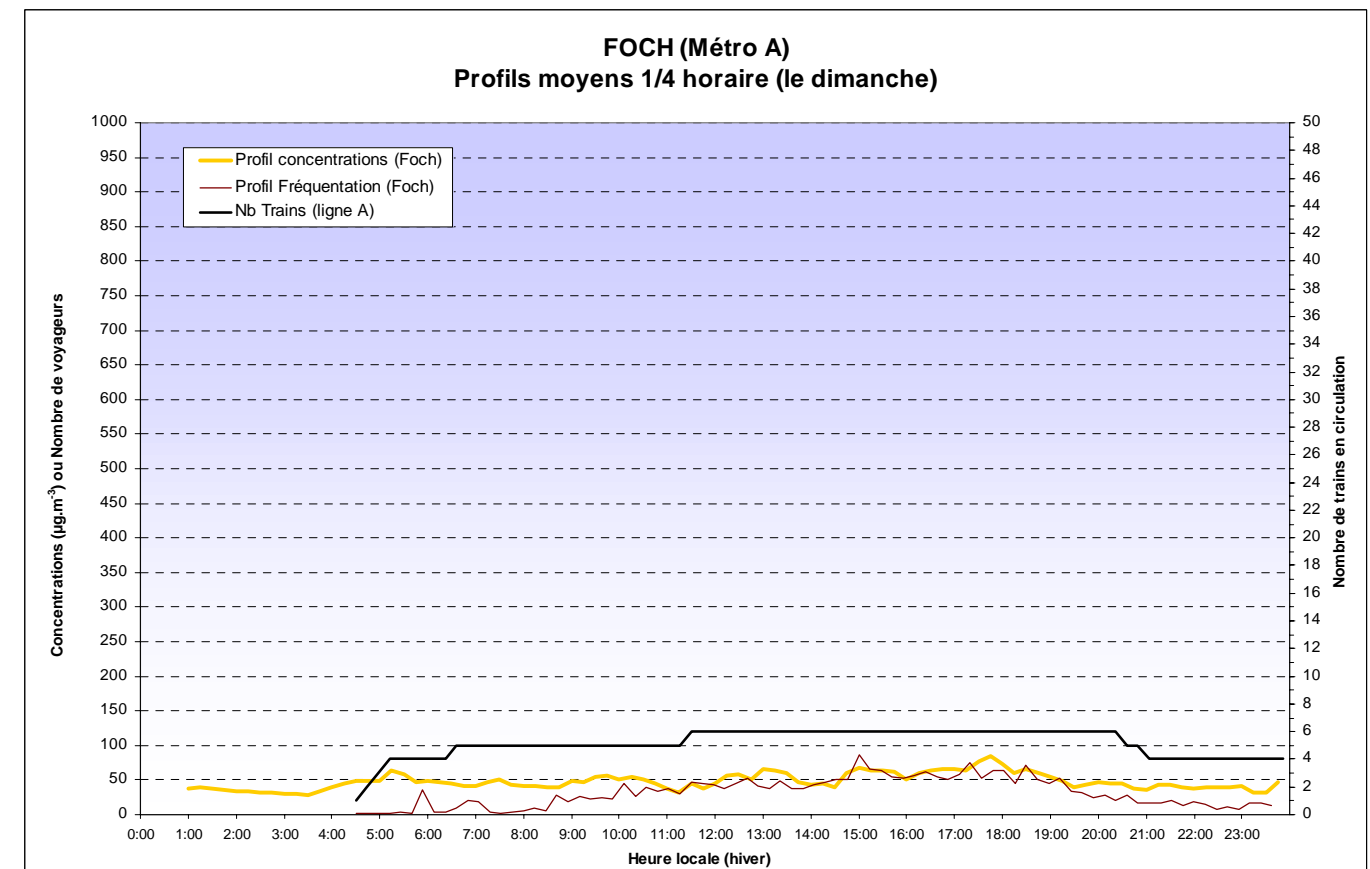
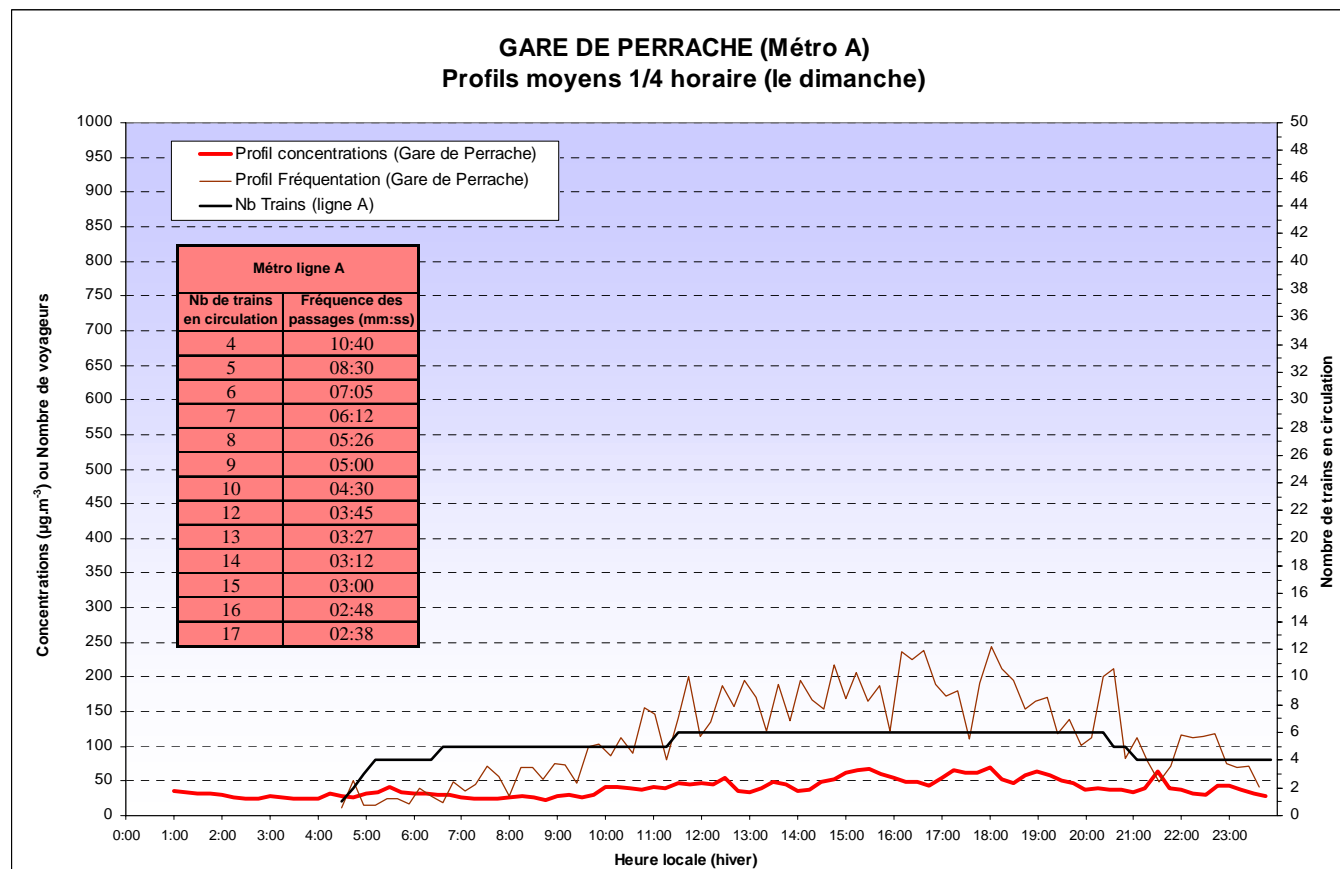
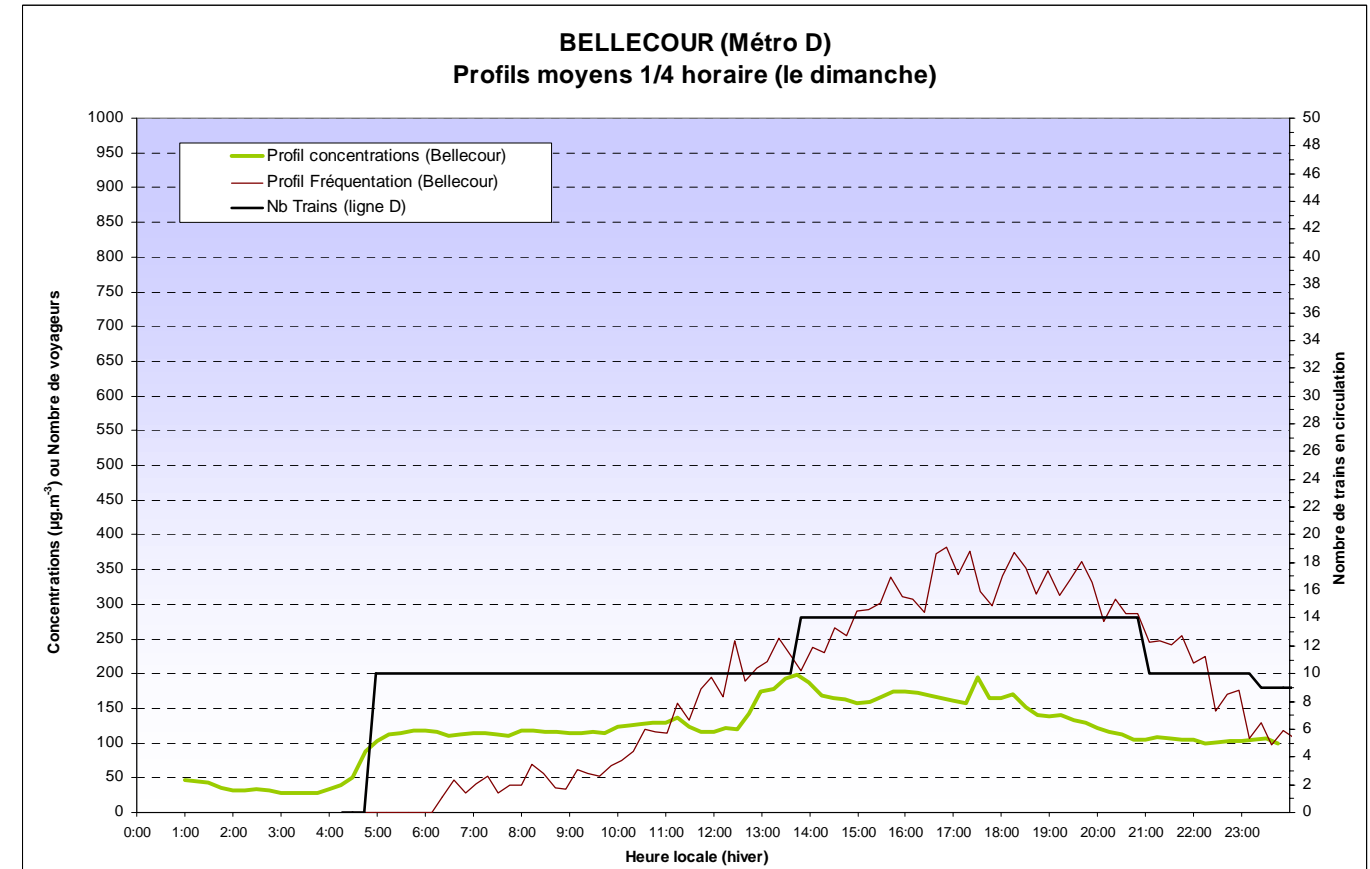
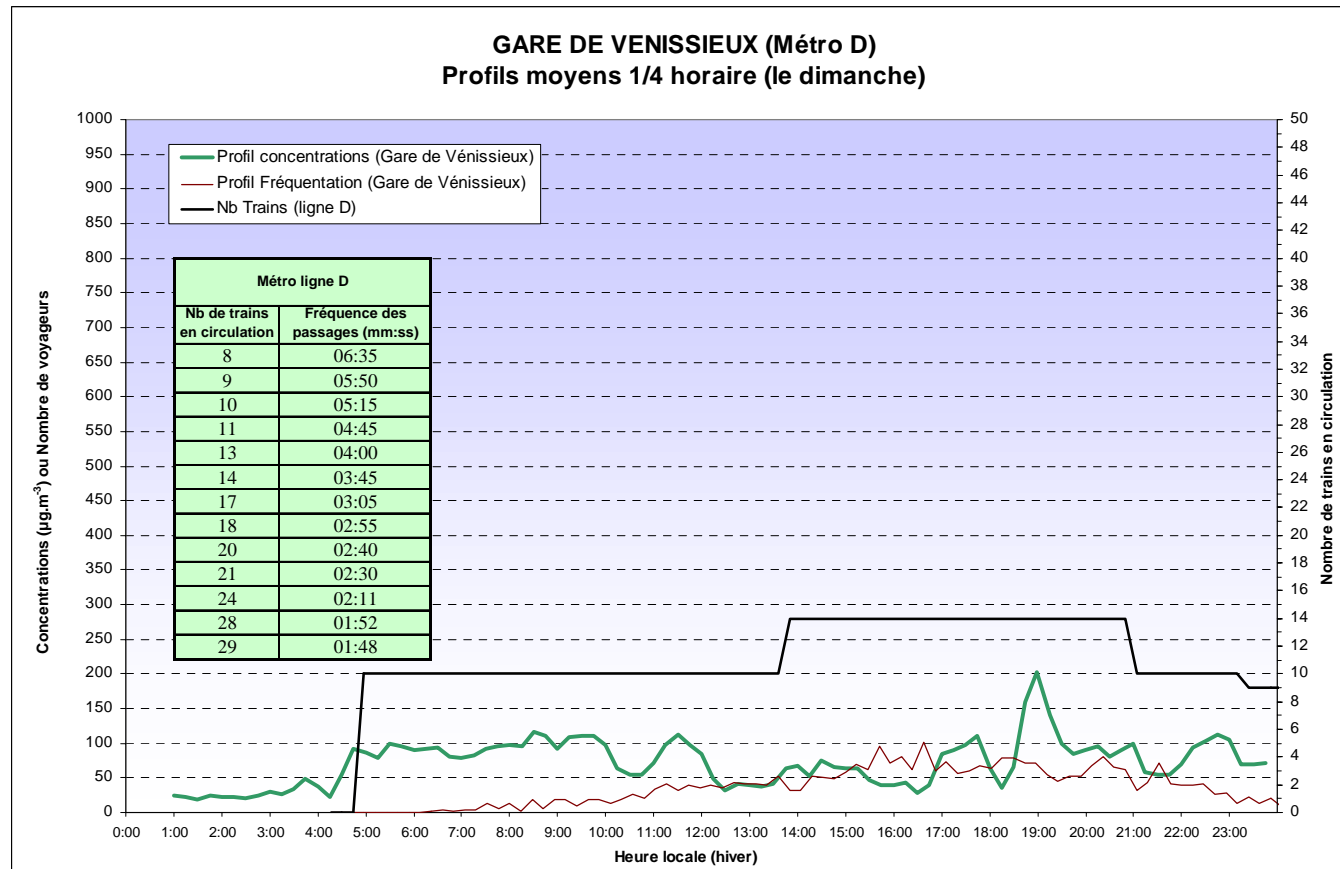
¹ Mesures réalisées par la SLTC du 3 au 5 novembre 1998

² Mesures réalisées par COPARLY du 21 octobre au 6 novembre 2002 (présent rapport)









☞ Analyse des mesures toutes les 2 minutes :

Sur les deux lignes de métro étudiées, les mesures avec un pas de temps de 2 minutes montrent que les concentrations peuvent varier sensiblement sur une durée inférieure au quart d'heure (4 à 6 minutes), ce qui est plus particulièrement visible dans les stations « Gare de Vénissieux » (ligne D) et « Foch » (ligne A).

Pour autant, il n'y a pas de lien évident avec la fréquence de passage des rames de métro en station, d'autant plus qu'il existe, sur les deux lignes étudiées, des différences d'amplitude de fluctuations entre les deux stations d'une même ligne : « Gare de Vénissieux » par rapport à « Bellecour » (ligne D), et « Foch » par rapport à « Gare de Perrache » (ligne A). A noter tout de même que ces fluctuations sont moins importantes, voire parfois inexistantes, la nuit en l'absence de trafic.

L'explication de la fréquence et de l'amplitude des fluctuations observées ne peut pas être liée au système de ventilation puisque, sur l'ensemble des tunnels du métro lyonnais, la ventilation est passive (renouvellement d'air par les bouches d'aération et les ouvertures d'accès au métro). En revanche, il est probable que l'emplacement de la cabine, et donc de la tête de prélèvement du capteur, influence le phénomène. En effet, ces fluctuations sont plus fréquentes et plus amplifiées dans les stations « Gare de Vénissieux » et « Foch », où les cabines étaient implantées en début de quai, soumises donc à de grandes variations de flux d'air ou des phénomènes de piston. Contrairement à la station « Bellecour », où les capteurs étaient implantés au milieu du quai, lui-même situé entre les deux voies de circulation des rames de métro, et « Gare de Perrache », où l'effet de piston de la station terminus a pu être atténué par l'emplacement un peu excentré et plus ventilé de la cabine (cf. « présentation des sites de mesure » § 3.2).

☞ Analyse des données vis-à-vis du trafic et de la fréquentation :

L'étude des profils moyens sur des journées types montre que les niveaux d'empoussièrement sont bien liés à l'augmentation de la fréquence du métro (nombre de rames en circulation), plutôt qu'à la fréquentation des voyageurs.

Ceci est particulièrement visible dans la station « Bellecour », où le nombre d'usagers est en moyenne 5 fois plus important que « Gare de Vénissieux », mais où les niveaux de concentrations sont du même ordre de grandeur. La différence de profil, avec des valeurs pratiquement constantes sur l'ensemble de la journée à « Bellecour », peut s'expliquer par un apport supplémentaire de poussières dû à la présence du métro A (station de correspondance).

A noter également que les concentrations en poussières commencent à augmenter le matin dès la mise en route du métro, avant l'arrivée d'un flux conséquent de voyageurs (voir les profils du samedi ou du dimanche).

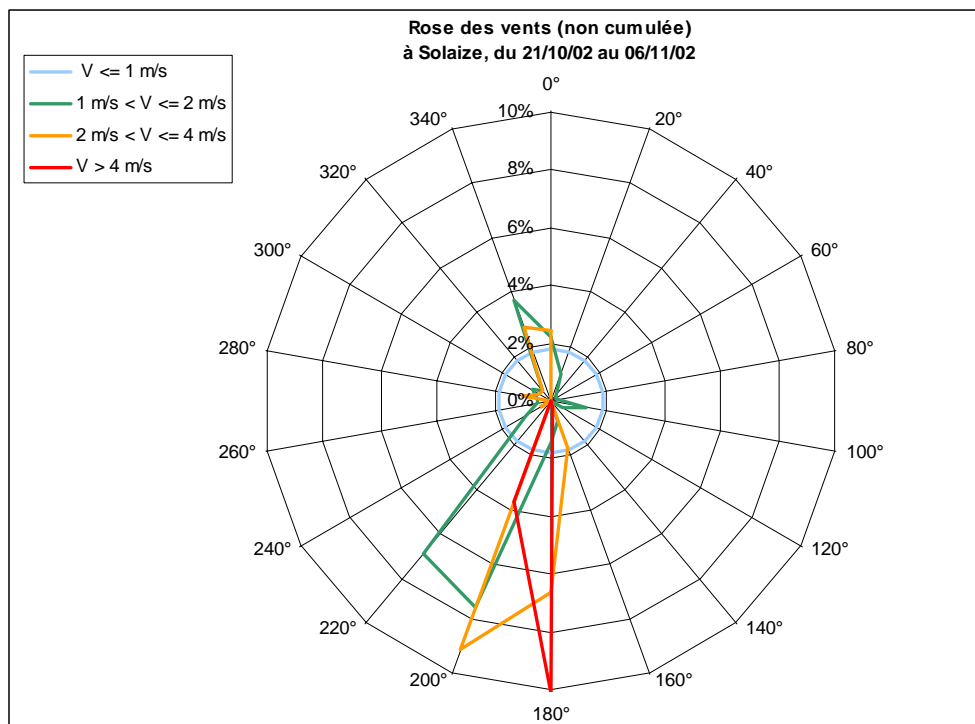
Ceci pourrait permettre notamment d'expliquer les taux de poussières plus importants sur la ligne D que sur la ligne A, simplement dus à une fréquence de passage plus importante (le temps d'attente entre deux rames est de 1'50" sur la ligne D contre 2'40" sur la ligne A en période de pointe), en lien avec l'automatisation de la ligne D.

Par ailleurs, le type de roulement est le même sur les deux lignes (pneumatique), et cette différence d'empoussièrement est sans relation apparente avec l'âge du matériel (plus récent sur la ligne D), ni avec le système de freinage (frein à sabots et semelles composites sur la ligne A et freins à disque, en fonte, sur la ligne D).

4.2.1.6 Influence du vent extérieur

Généralement, à l'extérieur, les fortes concentrations en particules sont observées en présence d'un vent faible, et elles diminuent si le vent augmente (phénomène de dispersion).

Une analyse de la situation observée sur la période de mesure a donc été réalisée, afin d'étudier l'influence du vent extérieur sur les concentrations mesurées dans le métro. Les calculs ont été réalisés à partir des données de la station de COPARLY « Météo Solaize » (au sud de Lyon), dont la vitesse de vent est globalement représentative de l'ensemble de l'agglomération lyonnaise.

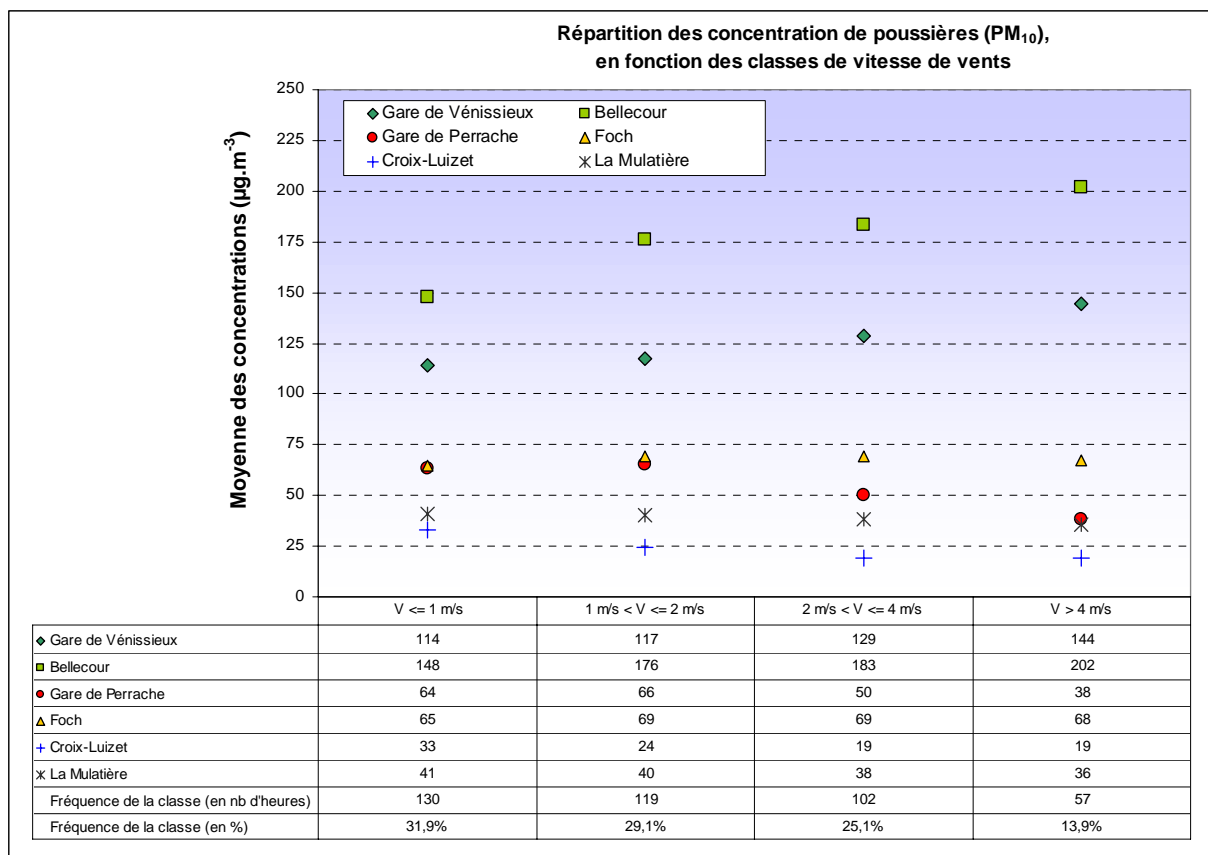


La rose des vents montre que les vents provenaient majoritairement du sud sur l'ensemble de la période, avec une répartition à peu près homogène entre les vents très faibles et non dispersifs ($V < 1 \text{ m.s}^{-1}$), les vents peu à moyennement dispersifs (entre 1 et 2 m.s^{-1}), les vents soutenus et plutôt dispersifs (entre 2 et 4 m.s^{-1}), et les vents forts et très dispersifs ($V > 4 \text{ m.s}^{-1}$).

A noter également que la dernière classe est deux fois moins représentée que les trois autres (cf. tableau ci-dessous)

Classe de vent	Fréquence de la classe (en nb d'heures)	Fréquence de la classe (en %)
$V \leq 1 \text{ m.s}^{-1}$	130 h	31,9%
$1 \text{ m.s}^{-1} < V \leq 2 \text{ m.s}^{-1}$	119 h	29,1%
$2 \text{ m.s}^{-1} < V \leq 4 \text{ m.s}^{-1}$	102 h	25,1%
$V > 4 \text{ m.s}^{-1}$	57 h	13,9%

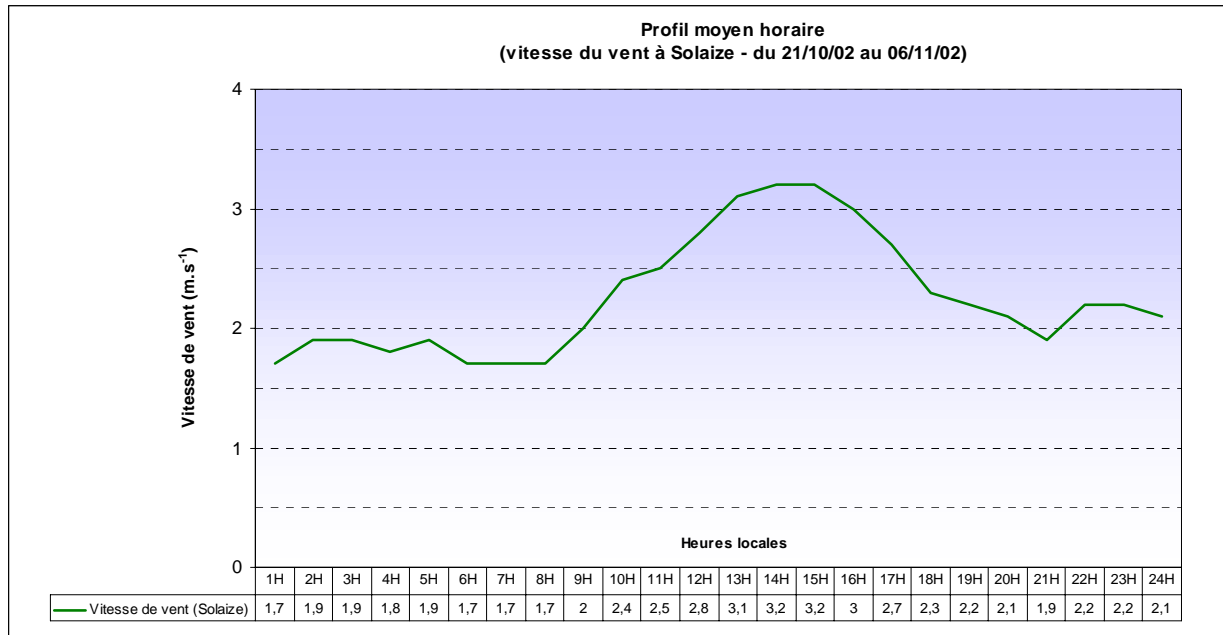
Le graphe suivant présente la répartition de la moyenne des concentrations horaires en particules fines (PM_{10}) sur l'ensemble de la période, en fonction des classes de vitesse de vent décrites auparavant.



Les résultats montrent qu'à l'extérieur, les concentrations de fond urbain (Croix-Luizet) diminuent bien au fur et à mesure que la vitesse du vent augmente, alors qu'à proximité du trafic autoroutier, la baisse est moins significative, en lien avec la distance très rapprochée du capteur vis-à-vis des sources, et de l'axe autoroutier en question, orienté nord-sud.

A « Bellecour » et « Gare de Vénissieux » (Métro D), c'est le contraire avec des niveaux ayant tendance à augmenter quand la vitesse augmente. Mais avant de conclure hâtivement sur l'influence du vent dans le métro il convient de noter, comme le montre le graphe qui suit, que les vents faibles sont habituellement enregistrés la nuit, tout comme les minima des concentrations dans le métro, et que les vents forts soufflent généralement la journée, entre 9h et 19h, aux heures où les concentrations dans le métro sont importantes, voire maximales. Cette interprétation paraît la plus plausible, plutôt qu'un apport de particules dans le métro par vent fort, dont le principe même est en désaccord avec les observations habituelles en extérieur.

Si l'influence quasi-nulle du vent peut se comprendre dans la station « Bellecour », où le vent peut difficilement s'engouffrer, elle est plus inattendue pour la station « Gare de Vénissieux », dont l'espace est plus aéré avec des semi-ouvertures vers l'extérieur au niveau de la mezzanine. L'explication peut venir du fait que cette communication avec l'extérieur se trouve à plus de 5 m de hauteur, avec des ouvertures orientées sur l'axe est-ouest, et qui ne créeraient donc pas une ventilation suffisante au niveau du quai. A noter également que la station météo Solaize n'est pas forcément représentative de l'ensemble des situations météorologiques locales rencontrées sur les sites étudiés.



Dans la station « Gare de Perrache » (Métro A), les concentrations de poussières diminuent fortement lorsque la vitesse du vent augmente, et atteignent approximativement les mêmes niveaux que ceux rencontrés en extérieur, à proximité du trafic automobile.

Contrairement à « Gare de Vénissieux », la station « Gare de Perrache » possède une ouverture vers l'extérieur sur le quai même du terminus, avec une correspondance de plein pied vers le tramway, et des possibilités pour le vent de s'engouffrer par le nord ou le sud (cf. implantation de la cabine § 3.2.1.3). Cette configuration différente pourrait permettre d'expliquer que la station est mieux ventilée que « Gare de Vénissieux ».

Enfin, dans la station « Foch », les moyennes calculées sont relativement constantes quelle que soit la vitesse du vent, ce qui montre que ce dernier n'a pratiquement aucune influence. A noter également que les ouvertures dans cette station sont orientées sur l'axe est-ouest.

En conclusion, le vent extérieur ne paraît avoir presque aucune influence dans les stations souterraines du métro lyonnais. Il semble cependant que les vents forts puissent avoir un effet dispersif dans certaines stations possédant des ouvertures significatives vers l'extérieur et bien orientées par rapport aux vents dominants.

Une étude plus approfondie avec des mesures de vitesse de vent sur chaque site serait nécessaire pour confirmer cette analyse.

4.2.2 Analyse granulométrique

4.2.2.1 Présentation des résultats

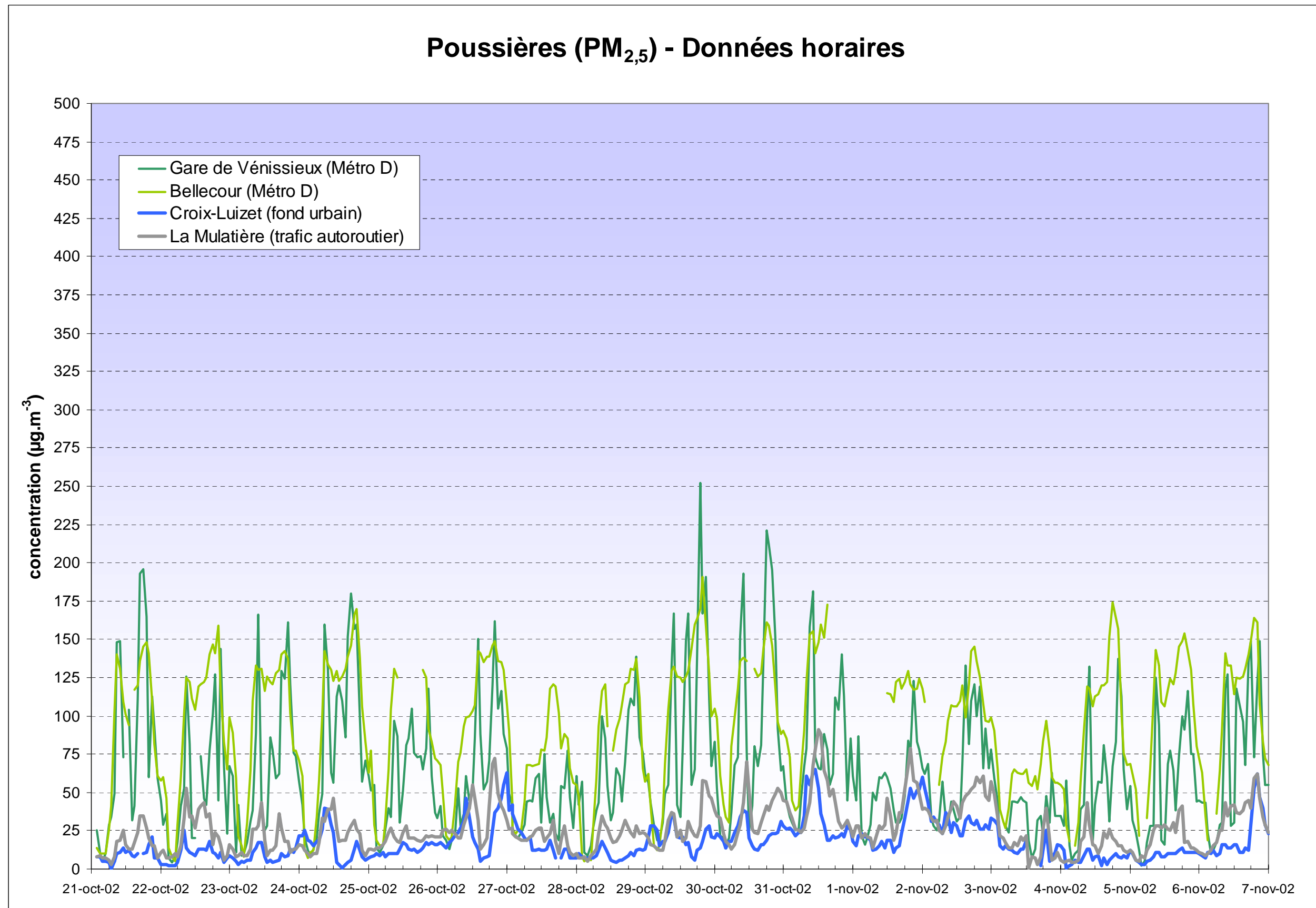
La mesure des particules très fines ($PM_{2,5}$) est réalisée avec un système de prélèvement équivalent à celui utilisé pour les particules fines (PM_{10}), mais qui limite davantage le diamètre aérodynamique des particules recueillies.

Ces particules très fines ($PM_{2,5}$) représentent donc un pourcentage du poids des particules fines mesurées (PM_{10}). Afin de pouvoir comparer les résultats entre eux, les mêmes types de graphiques sont présentés dans les pages suivantes, avec une seule différence dans l'échelle des concentrations (échelle verticale réduite de moitié).

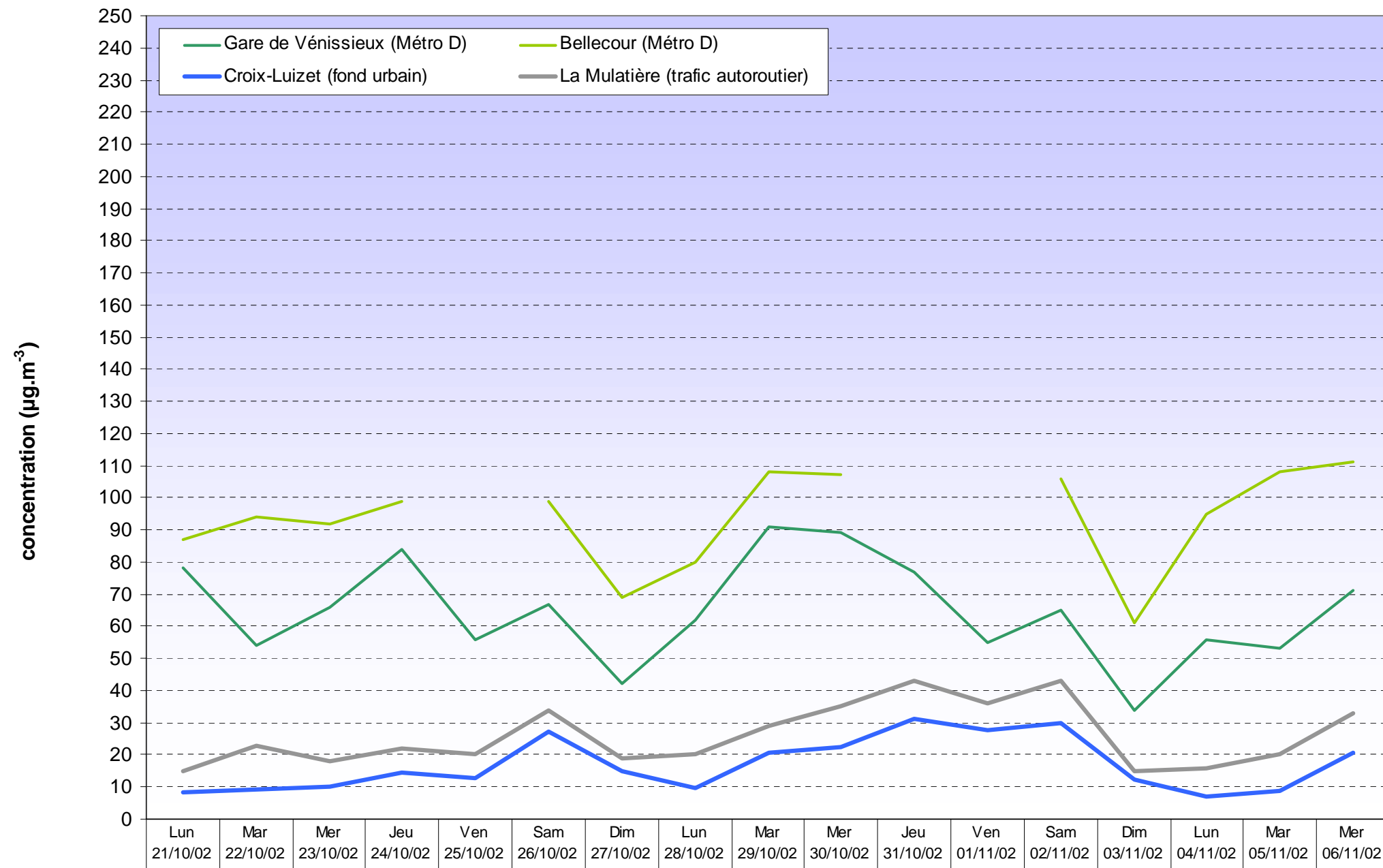
Comme décrit dans le chapitre « méthodologie », seules les stations de métro « Gare de Vénissieux » et « Bellecour » étaient équipées d'un analyseur avec une tête de prélèvement permettant de filtrer les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 microns ($PM_{2,5}$).

Station	Mesure	Unité	Moyenne	Ecart type	Médiane des mesures horaires	P98 des mesures horaires	P90 des moyennes journalières
Gare de Vénissieux (Métro D)	Poussières $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	65	45	55	181	84
Bellecour (Métro D)	Poussières $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	95	44	103	164	108
Croix-Luizet (fond urbain)	Poussières $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	17	12	13	53	28
La Mulatière (trafic autoroutier)	Poussières $PM_{2,5}$	$\mu g.m^{-3}$	26	15	23	67	36

Station	Unité	Date du Minimum Horaire	Valeur du Minimum Horaire	Date du Maximum Horaire	Valeur du Maximum Horaire	Date du Maximum Quart-Horaire	Valeur du Maximum Quart-Horaire	Date du maximum journalier	Valeur du Maximum journalier
Gare de Vénissieux (Métro D)	$\mu g.m^{-3}$	05/11/2002 03:00	2	29/10/2002 19:00	252	29/10/2002 18:45	310	29/10/02	91
Bellecour (Métro D)	$\mu g.m^{-3}$	22/10/2002 03:00	5	31/10/2002 20:00	239	31/10/2002 19:00	251	06/11/02	111
Croix-Luizet (fond urbain)	$\mu g.m^{-3}$	21/10/2002 04:00	0	31/10/2002 11:00	65	06/11/2002 20:15	79	31/10/02	31
La Mulatière (trafic autoroutier)	$\mu g.m^{-3}$	21/10/2002 07:00	3	31/10/2002 12:00	91	31/10/2002 11:45	95	02/11/02	43

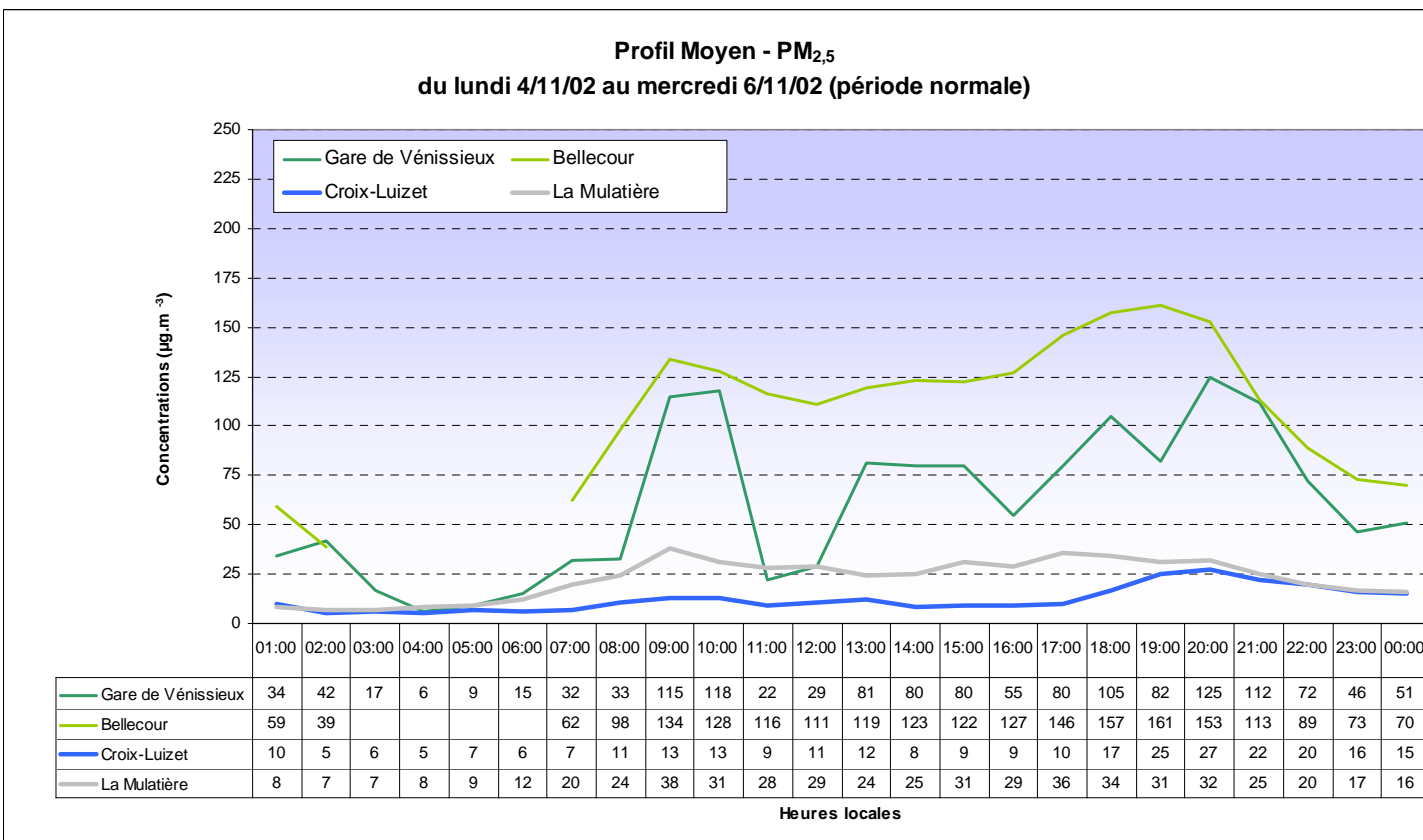
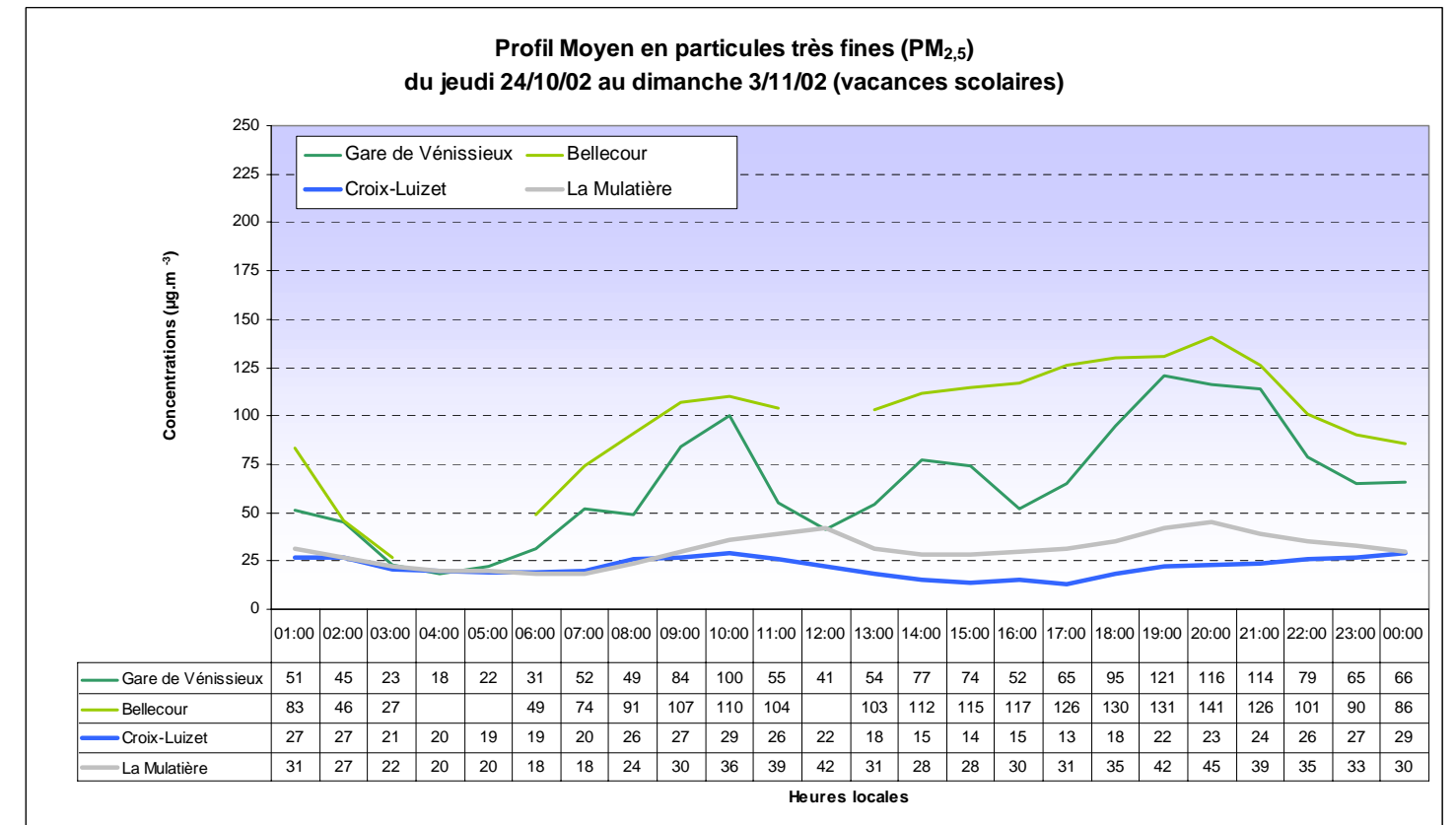
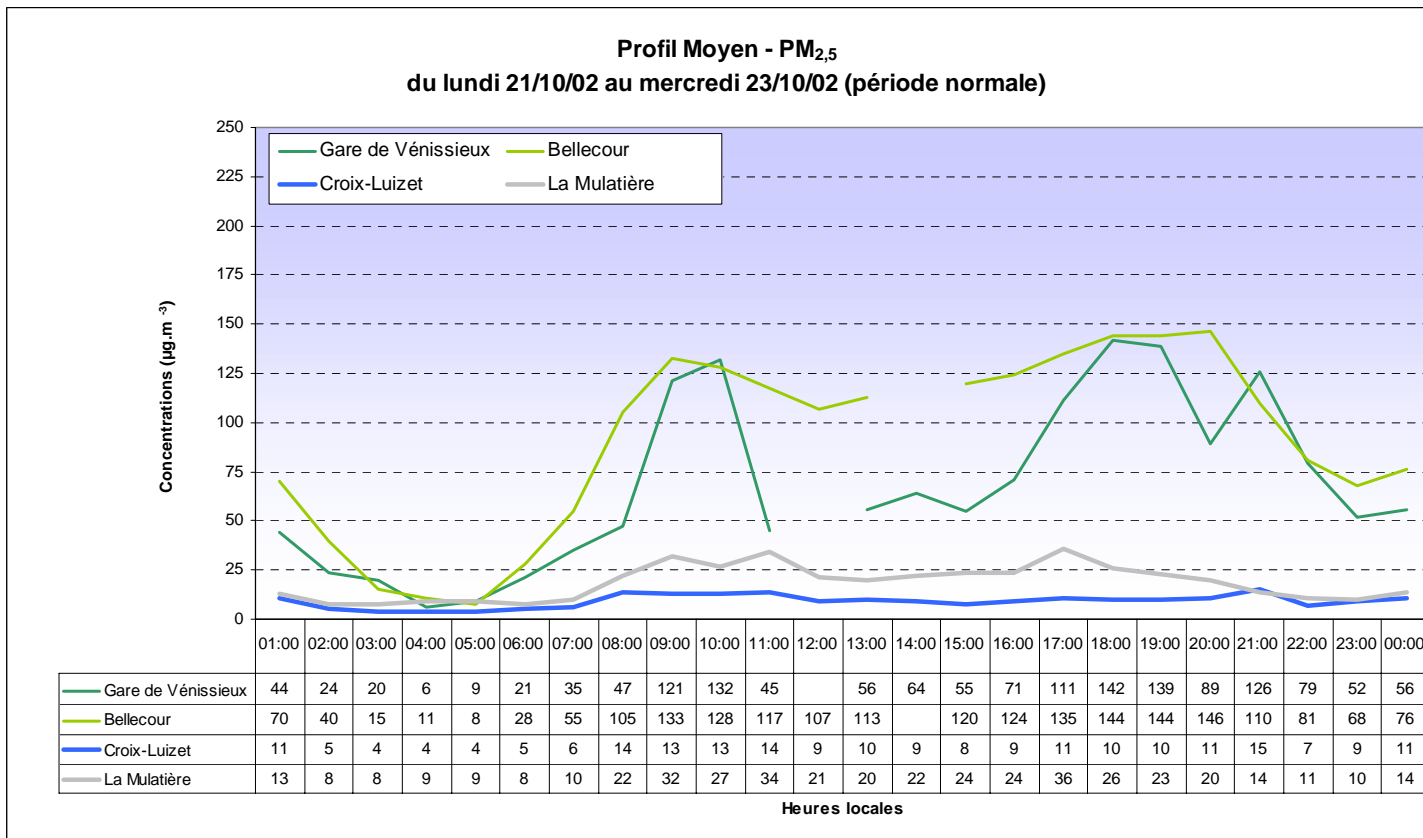


Poussières (PM_{2,5}) - Moyennes journalières (24h)



	Lun 21/10/02	Mar 22/10/02	Mer 23/10/02	Jeu 24/10/02	Ven 25/10/02	Sam 26/10/02	Dim 27/10/02	Lun 28/10/02	Mar 29/10/02	Mer 30/10/02	Jeu 31/10/02	Ven 01/11/02	Sam 02/11/02	Dim 03/11/02	Lun 04/11/02	Mar 05/11/02	Mer 06/11/02
Gare de Vénissieux (Métro D)	78	54	66	84	56	67	42	62	91	89	77	55	65	34	56	53	71
Bellecour (Métro D)	87	94	92	99		99	69	80	108	107			106	61	95	108	111
Croix-Luizet (fond urbain)	9	9	10	15	13	27	15	10	21	22	31	28	30	12	7	9	21
La Mulatière (trafic autoroutier)	15	23	18	22	20	34	19	20	29	35	43	36	43	15	16	20	33

Rappel : une moyenne statistique est valide si au moins 75 % des valeurs qui la composent le sont.



Rappel : une moyenne statistique est valide si au moins 75 % des valeurs qui la composent le sont.

4.2.2.2 Analyse des résultats

Les concentrations en particules très fines ($PM_{2,5}$) suivent approximativement la même évolution que celles des particules fines (PM_{10}).

- « **Gare de Vénissieux** », comme pour les particules fines, les hausses sont plus marquées aux heures de forte affluence (matin, midi et soir), et les niveaux retombent durant la nuit, lorsqu'il n'y a plus aucune rame de métro en service.

Les taux de poussières qualifiées de très fines ($PM_{2,5}$) sont en moyenne sur la période de l'étude, 4 à 5 fois plus élevés que les niveaux de fond urbain, et environ 3 fois supérieurs à ceux du trafic autoroutier, avec une moyenne sur l'ensemble de la période de $65 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Le comportement durant la période des vacances scolaires est similaire à celui des particules fines (PM_{10}).

Sur la période de mesure, les valeurs horaires maximales se situent généralement entre 125 et $175 \mu\text{g.m}^{-3}$, et les moyennes journalières varient de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ (le dimanche) à $90 \mu\text{g.m}^{-3}$.

- « **Bellecour** », comme pour les poussières fines, les niveaux de particules très fines ($PM_{2,5}$) sont plus homogènes sur l'ensemble de la journée. Avec une moyenne de $95 \mu\text{g.m}^{-3}$, les taux sont environ 7 fois plus importants que ceux mesurés en fond urbain et 4 fois plus qu'à proximité du trafic.

Le comportement durant la période des vacances scolaires est également similaire à celui des particules fines (PM_{10}).

Sur la période de mesure, les valeurs horaires maximales sont semblables à celles observées « Gare de Vénissieux », mais les moyennes journalières sont plus importantes, du fait que les valeurs sont élevées toute la journée, et varient entre $60 \mu\text{g.m}^{-3}$ (le dimanche) et $110 \mu\text{g.m}^{-3}$.

4.2.2.3 Rapport $PM_{2,5} / PM_{10}$

Dans les deux stations de métro étudiées, le rapport $PM_{2,5} / PM_{10}$ est d'environ 55%, alors qu'il est d'environ 65% pour les particules mesurées à l'extérieur (moyenne sur la période, correspondant également à la moyenne sur l'année). Ceci revient à dire que les particules très fines ($PM_{2,5}$) représentent environ 55% de la masse totale des particules fines (PM_{10}) mesurées sur la ligne D du métro lyonnais durant la période de l'étude. A noter que durant la nuit, ce pourcentage tend à revenir vers la valeur moyenne mesurée à l'extérieur (60-65%).

Ce résultat pour la ligne D du métro lyonnais où le roulement est de type « pneumatique » peut être comparé avec des valeurs rapportées par d'autres études réalisées dans des métros ou des enceintes ferroviaires :

- enceintes où le roulement est de type « pneu » :
rapports $PM_{2,5} / PM_{10}$ de l'ordre de 50% (ou légèrement supérieur)
- enceintes où le roulement est de type « fer » :
rapports $PM_{2,5} / PM_{10}$ de l'ordre de 70 à 80%

4.2.3 Analyse qualitative (composition chimique)

Afin de compléter les mesures et pour tenter de connaître la provenance des particules à partir de leur composition chimique, des analyses qualitatives de prélèvements de poussières sur filtres ont été réalisées dans les stations « Bellecour » et « Gare de Vénissieux », ainsi que dans la station de fond urbain « Croix-Luizet ». Pour s'assurer de la répétabilité des résultats, douze séries de prélèvements ont été programmés dans les trois stations, sur des périodes de 8 heures, durant la journée (entre 6h et 14h) ou pendant la nuit (entre 22h et 6h).

Les analyses ont été confiées au laboratoire CARSO, agréé pour la recherche de traces de métaux sur filtres. Ces analyses ont porté sur plusieurs métaux lourds dont **l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le nickel (Ni) et le plomb (Pb)**, qui font l'objet d'un suivi par la directive européenne 96/62/CE, même si pour l'instant, il n'existe qu'une seule valeur limite pour le Plomb (0,5 µg.m⁻³ en moyenne annuelle). D'autres métaux ont également été choisis, à partir d'une première analyse par spectrométrie de masse : **le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), l'étain (Sn), et le baryum (Ba)**.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous, avec un « indice » qualifiant la trace de métal trouvée sur chaque filtre, relativement à la limite de détection de l'appareil, sur une échelle allant de 0 à 3 :

- 0 : en-dessous de la limite de détection
- 1 : entre 1 et 5 fois la limite de détection
- 2 : entre 5 et 10 fois la limite de détection
- 3 : supérieur à 10 fois la limite de détection

Station	Date	Jour de la semaine	Jour (6h-14h) Nuit (22h-6h)	As	Cd	Ni	Pb	Cr	Cu	Zn	Mn	Sn	Ba
Bellecour	24/10	Jeu	Jour	0	0	1	2	1	3	3	1	1	2
Vénissieux	24/10	Jeu	Jour	0	0	1	1	1	3	3	1	1	1
Croix-Luizet	24/10	Jeu	Jour	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Bellecour	24/10	Jeu	Nuit	0	0	1	1	1	3	2	1	0	1
Vénissieux	24/10	Jeu	Nuit	0	0	0	1	0	3	2	0	0	0
Croix-Luizet	24/10	Jeu	Nuit	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0
Bellecour	25/10	Ven	Jour	0	0	1	1	2	3	3	1	1	1
Vénissieux	25/10	Ven	Jour	0	0	1	1	1	3	2	1	0	1
Croix-Luizet	25/10	Ven	Jour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bellecour	26/10	Sam	Jour	0	0	1	1	1	3	3	1	1	1
Vénissieux	26/10	Sam	Jour	0	0	1	1	1	3	2	1	0	1
Croix-Luizet	26/10	Sam	Jour	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Bellecour	27/10	Dim	Jour	0	0	1	1	2	3	3	1	0	1
Vénissieux	27/10	Dim	Jour	0	0	0	1	1	3	2	1	0	0
Croix-Luizet	27/10	Dim	Jour	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Bellecour	29/10	Mar	Jour	0	0	1	2	1	3	3	1	1	1
Vénissieux	29/10	Mar	Jour	0	0	1	1	1	3	3	1	1	1
Croix-Luizet	29/10	Mar	Jour	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Bellecour	31/10	Jeu	Jour	0	0	0	2	1	3	3	1	1	1
Vénissieux	31/10	Jeu	Jour	0	0	1	1	1	3	3	1	0	1
Croix-Luizet	31/10	Jeu	Jour	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bellecour	31/10	Jeu	Nuit	0	0	1	1	2	3	2	1	0	1
Vénissieux	31/10	Jeu	Nuit	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0
Croix-Luizet	31/10	Jeu	Nuit	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
Bellecour	2/11	Sam	Jour	0	0	1	1	2	3	3	1	1	1
Vénissieux	2/11	Sam	Jour	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0
Croix-Luizet	2/11	Sam	Jour	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
Bellecour	3/11	Dim	Jour	0	0	1	1	1	3	2	1	0	1
Vénissieux	3/11	Dim	Jour	0	0	1	0	1	3	2	0	0	1
Croix-Luizet	3/11	Dim	Jour	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Bellecour	5/11	Mar	Nuit	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0
Vénissieux	5/11	Mar	Nuit	0	0	1	1	1	3	1	0	0	0
Croix-Luizet	5/11	Mar	Nuit	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0
Bellecour	6/11	Mer	Jour	0	0	1	1	1	3	3	1	1	1
Vénissieux	6/11	Mer	Jour	0	0	0	1	1	3	3	1	1	1
Croix-Luizet	6/11	Mer	Jour	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

☞ **Analyse par station :**

Au vu de l'ensemble des mesures réalisées, les poussières prélevées dans l'enceinte du métro lyonnais semblent contenir un plus grand nombre de métaux lourds, relativement aux poussières prélevées en air extérieur. Les résultats dans les deux stations de la ligne D du métro sont plutôt cohérents, et avec une assez bonne répétabilité des mesures.

☞ **Analyse jour / nuit :**

La période de jour (6h-14h) ou de nuit (22h-6h) pour le prélèvement modifie sûrement les teneurs détectées (concentration), mais n'a pas d'influence notable sur la nature des particules récoltées (composition chimique).

☞ **Analyse par métal :**

Sur tous les échantillons prélevés, il n'a été trouvée aucune trace d'**arsenic (As)**, ni de **cadmium (Cd)**. Concernant le **nickel (Ni)**, des traces ont été observées sur certains filtres prélevés dans le métro, mais elles sont également apparues sur les poussières prélevées en air extérieur sur le site « Croix-Luizet », avec des teneurs équivalentes et plutôt faibles (indice 1).

Du **plomb (Pb)** a été détecté que sur les poussières prélevées dans les enceintes du métro, sur pratiquement tous les filtres, mais avec des teneurs relativement faibles (indice 1, parfois 2).

Des traces de **chrome (Cr)** ont été observées sur pratiquement tous les filtres, aussi bien dans le métro qu'en extérieur, avec une présence relativement confirmée (indice 1 ou 2).

Du **cuivre (Cu)** et du **zinc (Zn)** ont été détectés avec certitude (indices 2 et 3) sur tous les filtres prélevés dans le métro, alors que ces deux métaux n'ont pas l'air présents dans les prélèvements de poussières extérieures, ou de manière occasionnelle pour le Zinc.

Enfin, il semble que les poussières du métro contiennent également des traces (indice 1) de **manganèse (Mn)**, d'**étain (Sn)**, et de **baryum (Ba)**, ou du moins, en proportion a priori plus élevée que les poussières à l'extérieur.

☞ **Origine possible des métaux lourds dans le métro :**

Quelques pistes sont données ici pour comprendre l'origine des métaux lourds détectés sur les particules prélevées dans le métro lyonnais, à partir d'analyses réalisées par la SLTC avant la présente étude :

- Les alliages métalliques sur les pièces pouvant s'user (comme les axes de rotation et les pistons) peuvent contenir du chrome (Cr), du nickel (Ni) et du manganèse (Mn).
- Les éléments des plaquettes de freins contiennent du plomb (Pb), du cuivre (Cu) et du manganèse (Mn).
- L'étamage des composants électriques (en particulier embouts et frotteurs) contiennent du Zinc (Zn) et surtout de l'étain (Sn).

Quant aux traces de baryum (Ba) détectées sur certains filtres du métro, aucune analyse réalisée jusqu'à présent ne permet de déterminer son origine.

A noter également qu'en général les métaux lourds rejetés dans l'atmosphère ont tendance à redescendre rapidement au sol et peuvent plus facilement se retrouver dans les tunnels du métro qu'à l'extérieur.

☞ **Point particulier vis-à-vis de la réglementation :**

Il est rappelé que cette étude avait pour but d'obtenir des résultats qualitatifs pour essayer de mieux connaître la composition chimique des particules recueillies. Compte tenu de la méthode utilisée pour avoir un grand nombre de mesures répétées, et donc du faible volume d'air prélevé sur chaque filtre (inférieur à 10 m³), il n'a pas été possible de calculer des concentrations quantitatives (en µg.m³) afin de les comparer à des valeurs réglementaires. Par ailleurs, il n'existe pour l'instant aucune valeur limite pour le suivi des métaux Arsenic, Cadmium et Nickel, et la seule valeur limite pour le Plomb est une moyenne annuelle qui ne peut pas être comparée à une moyenne sur 8 heures.

Enfin, il est tout de même possible de noter que les concentrations mesurées sur les filtres sont nettement inférieures aux normes fixées pour les métaux lourds par la réglementation s'appliquant dans le cadre du travail, et qui sont pratiquement toutes supérieures ou égales à 1000 µg.m³.

4.3 Niveaux en polluants gazeux et température

Cette partie présente l'étude des niveaux mesurés en polluants gazeux (oxydes d'azote et monoxyde de carbone), dans l'enceinte de la station de métro « **Bellecour** », en comparaison avec les concentrations extérieures mesurées sur différentes stations fixes du réseau de surveillance de COPARLY.

Comme pour les poussières (PM₁₀ et PM_{2,5}), les mesures sont comparées avec les stations « **Croix-Luizet** », site de fond urbain, et « **La Mulatière** », site à proximité du trafic autoroutier, mais également avec la station « **Berthelot** », site à proximité du trafic en zone urbaine, sur lequel sont réalisées des mesures de monoxyde de carbone (CO).

4.3.1 Les oxydes d'azote (NOx)

4.3.1.1 Le monoxyde d'azote (NO)

Pour rappel, le monoxyde d'azote (NO) est émis majoritairement par la combustion des véhicules à moteur et se transforme rapidement en dioxyde d'azote (NO₂) avec l'oxygène de l'air et le rayonnement solaire Ultra-Violet. En l'absence d'autres sources de combustion (industries,...), il constitue un bon indicateur du trafic automobile.

Le tableau ci-dessous reprend les principales valeurs statistiques calculées à partir des données horaires, dont le graphe est présenté ci-après (p.71).

Station	Mesure	Unité	Moyenne	Ecart type	Médiane (P50) des mesures horaires	P98 des mesures horaires	Maximum Horaire
Bellecour (Métro D)	NO	µg.m ⁻³	65	60	46	237	366
Croix-Luizet (fond urbain)	NO	µg.m ⁻³	43	68	11	254	435
La Mulatière (trafic autoroutier)	NO	µg.m ⁻³	199	134	173	530	658
Berthelot (trafic urbain)	NO	µg.m ⁻³	68	52	57	230	319

Les niveaux mesurés en monoxyde d'azote (NO) sur l'ensemble de la période dans la station de métro « Bellecour » se situent entre ceux de la station urbaine de fond « Croix-Luizet », et la station « Berthelot » proche du trafic urbain.

L'évolution des concentrations horaires est cependant plus proche de la station « Berthelot » que « Croix-Luizet » (dont les valeurs élevées sont principalement dues à l'influence du périphérique à proximité).

Cette situation s'explique notamment par la présence d'un trafic automobile relativement important autour de la place Bellecour, qui génère une pollution gazeuse pouvant se retrouver rapidement dans l'enceinte du métro.

Concernant la réglementation, il n'existe pas à ce jour de valeurs limites du monoxyde d'azote pour la protection de la santé humaine. La moyenne annuelle pour la protection des écosystèmes (cf. § 1.3), englobant l'ensemble de oxydes d'azote (NO et NO₂), ne peut pas faire l'objet d'une comparaison dans le cadre de cette étude sur deux semaines.

4.3.1.2 Le dioxyde d'azote (NO₂)

Le tableau ci-dessous reprend les principales valeurs statistiques calculées à partir des données horaires, dont le graphe est présenté ci-après (p.71).

Station	Mesure	Unité	Moyenne sur la période	Ecart type	Médiane (P50) des mesures horaires	P98 des mesures horaires	Maximum Horaire
Bellecour (Métro D)	NO ₂	µg.m ⁻³	39	9	38	61	82
Croix-Luizet (fond urbain)	NO ₂	µg.m ⁻³	37	17	37	77	99
La Mulatière (trafic autoroutier)	NO ₂	µg.m ⁻³	70	27	66	127	180
Berthelot (trafic urbain)	NO ₂	µg.m ⁻³	50	16	48	87	151

Comme pour le monoxyde d'azote (NO), les niveaux mesurés en dioxyde d'azote (NO₂) sur l'ensemble de la période dans la station de métro « Bellecour » se situent entre ceux de la station urbaine de fond « Croix-Luizet », et la station urbaine de trafic « Berthelot ».

Ceci est d'autant plus visible sur les courbes de données horaires pour la première semaine de mesure. A noter que pour le dioxyde d'azote, les données statistiques calculées sur l'ensemble de la période de mesure sont plus proches de la station de fond « Croix-Luizet ».

Ces résultats dans la station « Bellecour » peuvent être liés à la distance du prélèvement vis-à-vis des sources qui, phénomène connu, influe sur les taux de concentration en dioxyde d'azote (NO₂) créée à partir des émissions de monoxyde d'azote (NO).

Au regard de la réglementation, la valeur limite de 200 µg.m⁻³ (moyenne horaire) n'a jamais été dépassée durant toute la période de mesure sur l'ensemble des stations concernées. A noter que les valeurs limites ou valeurs guides évaluées sur une année (cf. § 1.3), ne peuvent pas faire l'objet d'une comparaison pour cette étude.

4.3.2 Le monoxyde de carbone (CO)

Le tableau ci-dessous reprend les principales valeurs statistiques calculées à partir des données horaires, dont le graphe est présenté ci-après (p.71).

A noter qu'il n'y a pas de mesure de CO sur la station « Croix-Luizet ».

Station	Mesure	Unité	Moyenne sur la période	Ecart type	Médiane (P50) des mesures horaires	P98 des mesures horaires	Maximum Horaire
Bellecour (Métro D)	CO	µg.m ⁻³	880	500	793	2169	2929
La Mulatière (trafic autoroutier)	CO	µg.m ⁻³	858	480	746	2166	2790
Berthelot (trafic urbain)	CO	µg.m ⁻³	980	611	875	2298	3728

En ce qui concerne le monoxyde de carbone (CO), les niveaux mesurés sur l'ensemble de la période dans la station de métro « Bellecour » sont plus proches en moyenne de la station « La Mulatière », à proximité de trafic autoroutier, que de la station « Berthelot », à proximité du trafic urbain.

Encore une fois, dans la station « Bellecour », la distance du prélèvement peut être un facteur important de dilution par rapport aux sources. A noter qu'une étude de l'influence du trafic autoroutier sur des zones limitrophes, réalisée par COPARLY en 2001, a montré que les niveaux en monoxyde

de carbone étaient plus importants en zone urbaine, où les changements de régimes moteurs (accélération, décélération) sont plus fréquents.

Aucune des deux valeurs guides existantes n'a été dépassée sur l'ensemble de la période de mesure, à savoir 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne glissante sur 8 heures et 30 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne horaire (cf. § 1.3).

4.3.3 La température

La température est paramètre permettant de mesurer le « confort » des usagers qui, selon d'autres études, sont plus sensibles aux fluctuations dans l'enceinte du métro qu'à l'extérieur. A noter qu'en l'absence de rayonnement intense comme celui du soleil, la température n'influe pas sur la photochimie de polluants gazeux dans l'atmosphère, et donc sur les concentrations de ces derniers. Ce paramètre n'est qu'un facteur lié au sentiment de bien-être, auquel tout le monde est sensible.

Le tableau ci-dessous reprend les principales valeurs statistiques, et les données horaires sont présentées sur la page suivante :

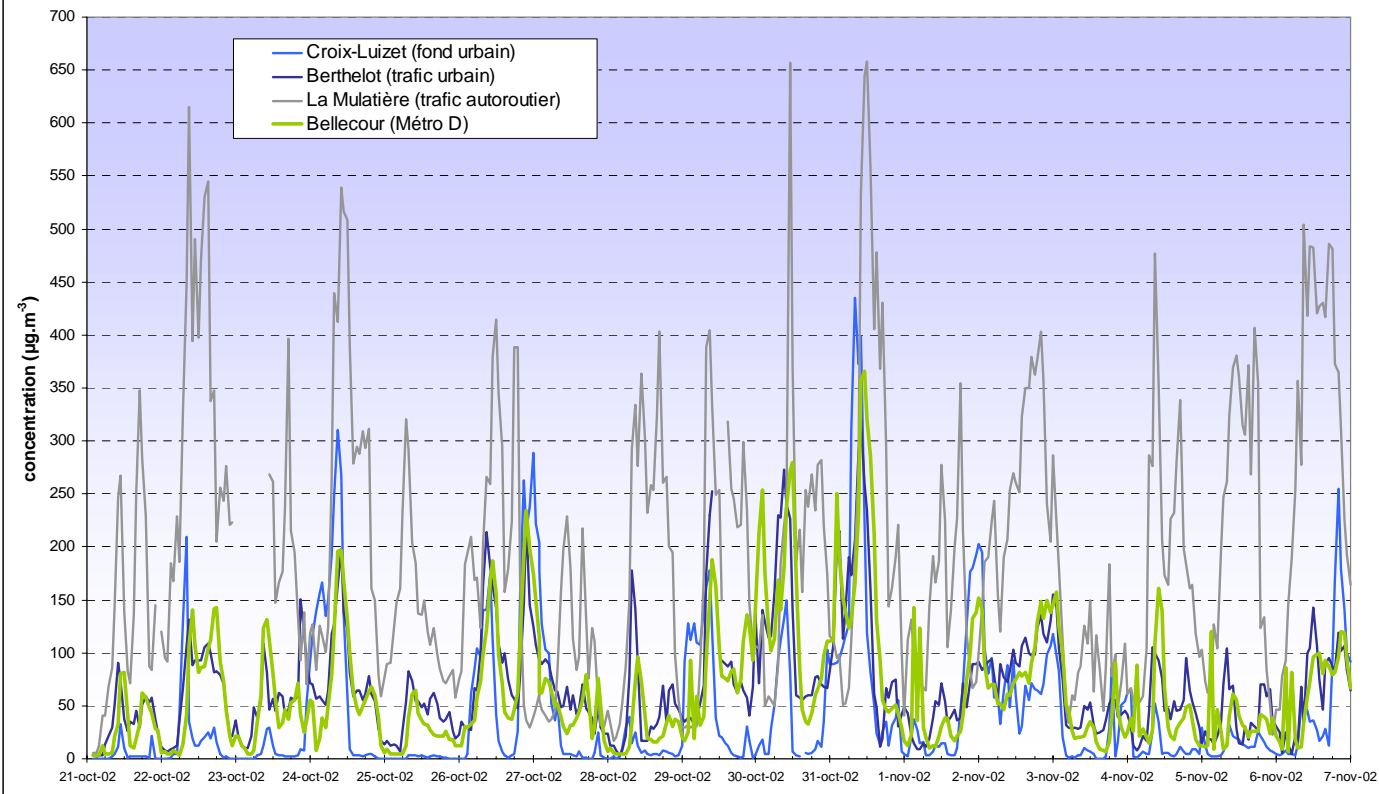
Station	Mesure	Unité	Moyenne sur la période	Ecart type	Médiane (P50) des mesures horaires	Minimum horaire	Maximum horaire
Gare de Vénissieux (Métro D)	Température	°C	17,5	1,7	17,8	12,2	20,5
Bellecour (Métro D)	Température	°C	20,5	0,6	20,6	17,3	21,8
Gare de Perrache (Métro A)	Température	°C	19,6	1,1	19,7	16,3	22,3
Foch (Métro A)	Température	°C	17,5	0,8	17,6	15,2	19,2
Croix-Luizet (fond urbain)	Température	°C	12,8	3,6	12,8	3,5	21,6

Les variations journalières dans le métro sont plus ou moins grandes selon la station considérée, et dépendent généralement de la température extérieure (cf. graphe p.71). Les variations maximales sont observées « Gare de Vénissieux » et « Gare de Perrache », ce qui peut être lié aux nombreuses ouvertures existant dans ces stations.

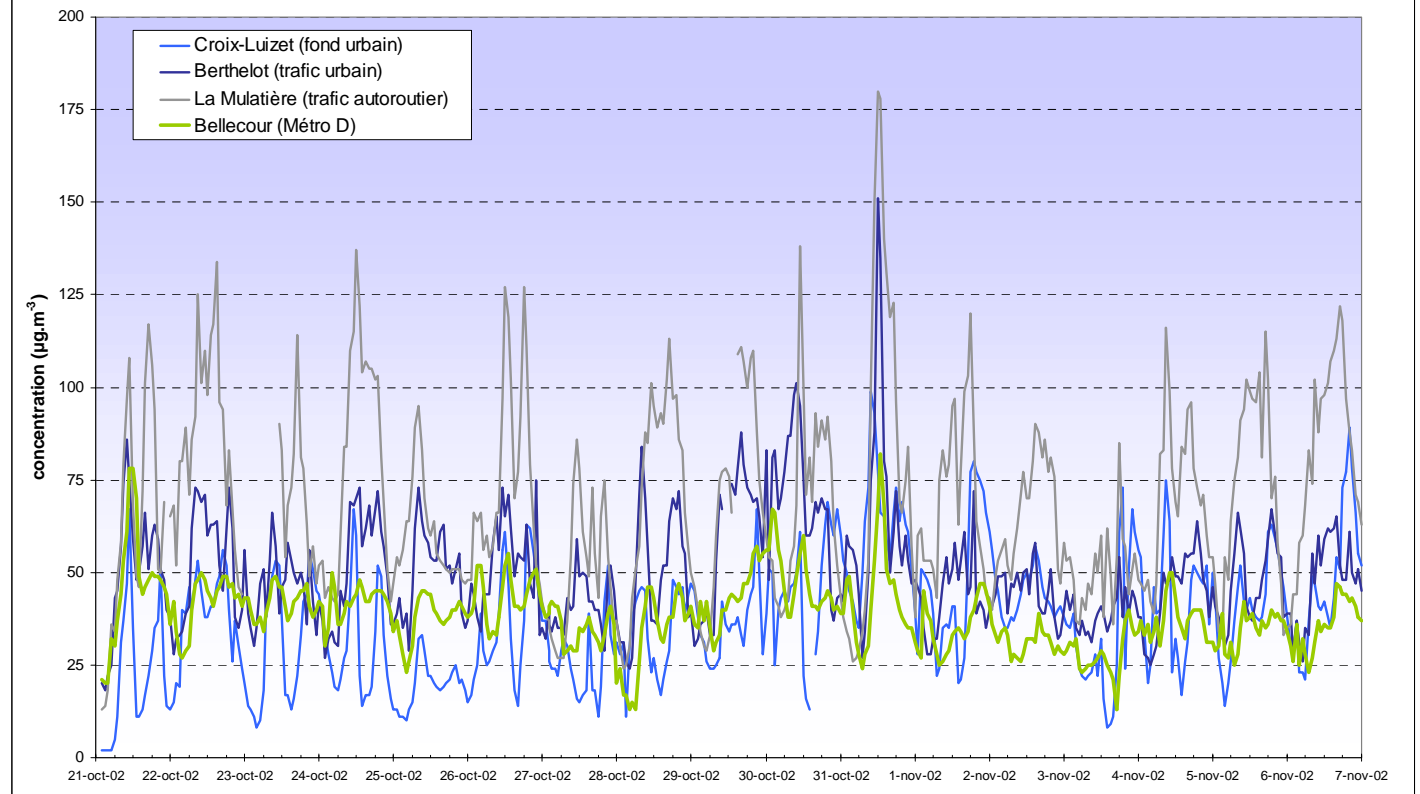
Dans la station « Foch », les fluctuations sont moins importantes, mais la température moyenne est sensiblement corrélée à la température extérieure, ce qui peut s'expliquer par la configuration de la station (peu de profondeur souterraine et ouvertures directement de la rue vers les quais).

Enfin, la station « Bellecour » possède la température la plus constante, proche de 21°C sur toute la période de mesure, en lien certainement avec le retrait des accès à la station vis-à-vis des quais, et avec le niveau de profondeur souterraine où la mesure a été réalisée (ligne D au 2^{ème} niveau, en-dessous de la ligne A).

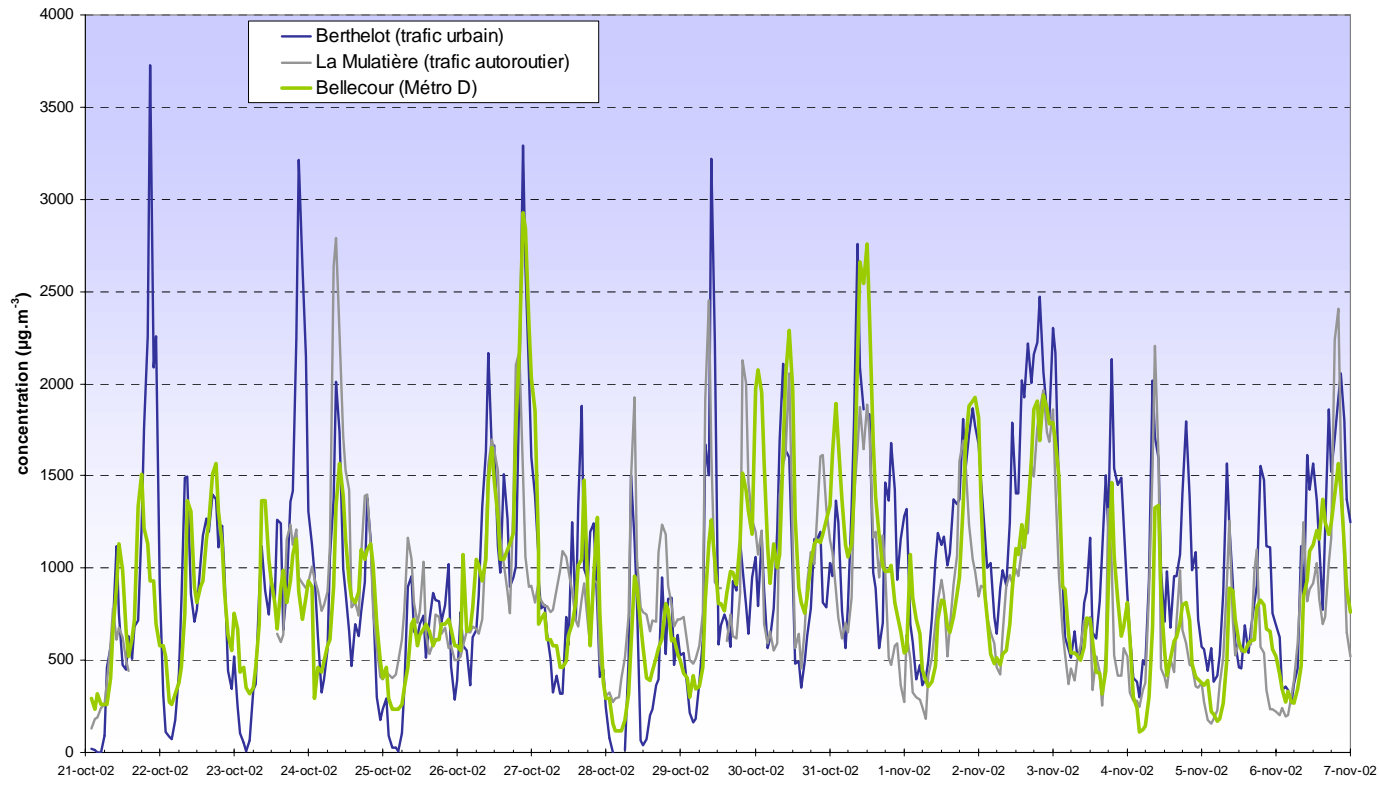
Monoxyde d'azote (NO) - Données horaires



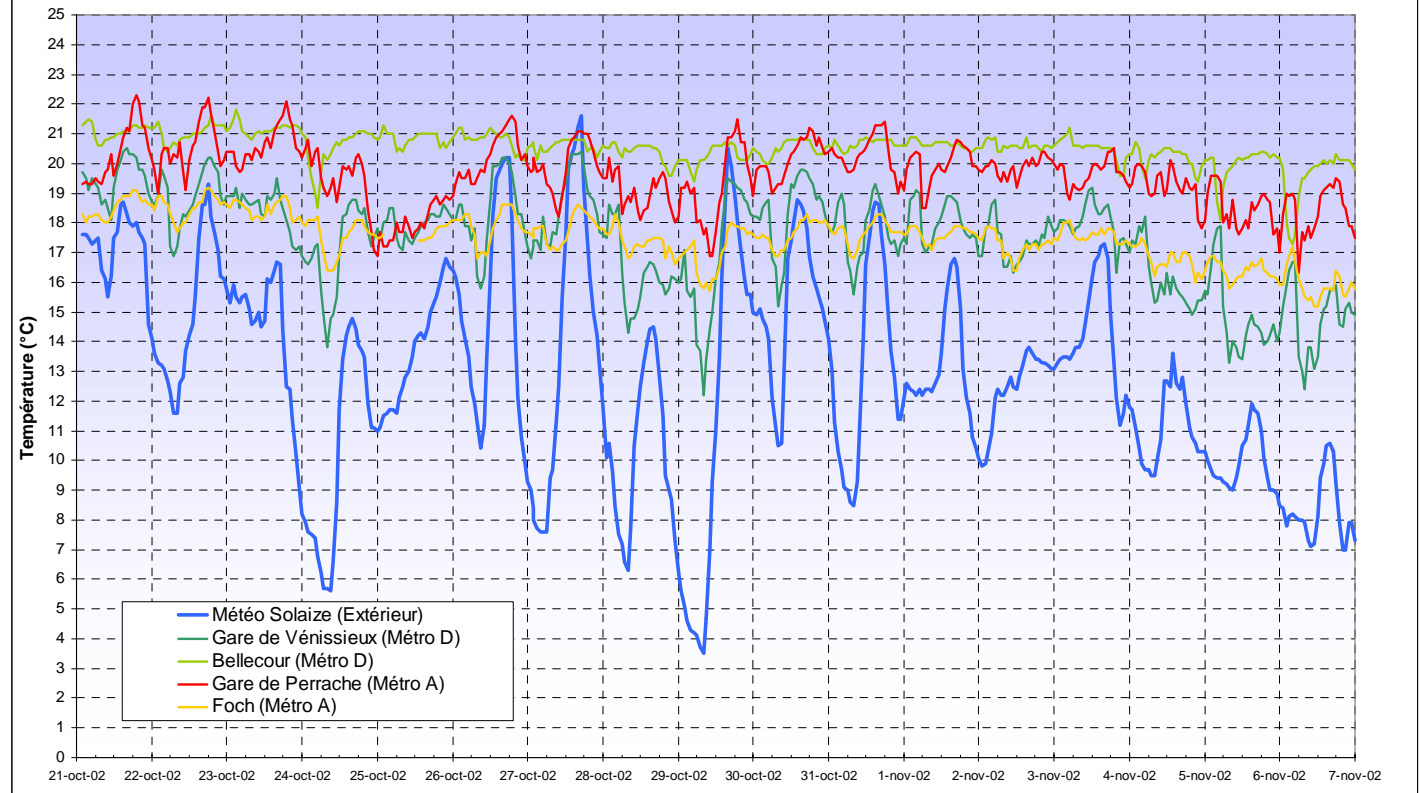
Dioxyde d'azote (NO₂) - Données horaires



Monoxyde de carbone (CO) - Données horaires



Température - Données horaires



4.4 Mesures réalisées par l'APPA

Cette partie présente le rapport des mesures réalisées par l'APPA (Association pour la prévention de la pollution atmosphérique), avec des systèmes de prélèvements transportables permettant d'évaluer l'exposition individuelle aux particules très fines (PM_{2,5}).

Ces mesures ont été mises en place lors de l'étude préliminaire réalisée par COPARLY, afin de pouvoir réaliser par la suite des campagnes de mesures complémentaires, avec des résultats calées sur ces premières mesures.

L'étude réalisée avait pour objectif de permettre une comparaison entre les résultats obtenus dans l'enceinte du métro par les systèmes de mesure mis en place par COPARLY (TEOM) et ceux utilisés par l'APPA pour la mesure de l'exposition personnelle (description ci-après). Afin de vérifier la répétabilité du protocole, deux séries d'une trentaine d'heures de mesures ont été réalisées en parallèle sur les sites de « Bellecour » et « Gare de Vénissieux », avec également des mesures doublées sur ce dernier site.

☞ **Protocole de mesure de l'APPA :**

Les capteurs pour la mesure de l'exposition personnelle aux PM_{2,5} de l'APPA se présentent sous la forme d'une valise, comportant les éléments suivants :



- une pompe de type SKC à débit régulé,
- un cyclone Gussman Kenny permettant une séparation des particules de diamètre inférieur à 2,5 µm,
- un filtre Gelman en téflon de porosité 2 µm et de diamètre 37 mm avec anneau support inséré dans une cassette support.

En cas de chute du débit de la pompe (> 5% du débit initial), la pompe s'arrête automatiquement. Si cela se prolonge plus de quelques secondes, la pompe est arrêtée définitivement. Cela se produit essentiellement quand le filtre de prélèvement est saturé.

Les filtres sont pesés en laboratoire (pesée au microgramme – balance Mettler MT-5) avant et après prélèvement. Compte tenu de la précision de la pesée et des conditions nécessaires à celle-ci (température [20° +/-1°C] et humidité constante[50% +/-10%], désionisation du filtre), les pesées sont effectuées par un laboratoire qui dispose du matériel nécessaire (laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris). A chaque étape, trois pesées des filtres sont effectuées. La pesée est validée si l'écart type des trois pesées est inférieur à 4 µg. La valeur de la masse retenue correspond à la moyenne des trois résultats consécutifs dont l'écart-type n'excède pas 4µg.

Enfin, deux blancs de terrain ont été réalisés pour chaque mesure, à savoir un filtre vierge dans un porte-filtre qui n'est pas raccordé à la pompe, laissé au voisinage du filtre échantillonné et récupéré en même temps que celui-ci.

Les valises ont été fixées au plus près des têtes de prélèvement des analyseurs de poussières (PM_{2,5}) de COPARLY, sur les grilles de protection du matériel à environ 1,50 m du sol.

Les prélèvements n'ont pu être effectués comme d'habitude sur 48 heures en raison de la perte de charge liée au colmatage des filtres (masse de particule trop importante). Toutefois, la durée du prélèvement étant enregistrée, la période de prélèvement a pu être validée par celle de fonctionnement de la pompe (30 heures environ). Le tableau ci-dessous récapitule les prélèvements effectués :

	Début du prélèvement			Fin du prélèvement			Temps (min)	Volume prélevé (litres)
	Date	Heure	Débit (l/min)	Date	Heure	Débit (l/min)		
Gare de Vénissieux	21/10/02	10h05	4,003	22/10/02	21h30	4,020	2124	8520
Gare de Vénissieux	21/10/02	10h00	3,996	22/10/02	19h40	4,070	2022	8154
Bellecour	21/10/02	12h53	4,020	22/10/02	23h35	4,020	2081	8365
Gare de Vénissieux	28/10/02	12h20	3,990	29/10/02	19h35	3,980	1874	7467
Gare de Vénissieux	28/10/02	12h15	4,010	29/10/02	14h25	4,020	1570	6303
Bellecour	28/10/02	11h00	4,010	29/10/02	13h30	4,000	1589	6363

☞ **Résultats de mesure de l'APPA :**

Les résultats de mesures de l'APPA sont présentés dans le tableau suivant :

	Type de filtre	Masse avant prélèvement	Masse après prélèvement	Masse collectée	Concentration par gravimétrie	Résultats COPARLY
		μg	μg	μg	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
21/10/02						
Gare de Vénissieux	Mesure	94209	94643	434	50,9	69
	Doublon	95840	96309	469	57,5	69
	Blancs de terrain	93270	93276	6		
Bellecour	Mesure	99235	99872	637	76,1	95
	Blancs de terrain	95881	95888	7		
28/10/02						
Gare de Vénissieux	Mesure	92428	92904	476	63,7	90
	Doublon	94162	94539	377	59,8	81
	Blancs de terrain	95186	95189	3		
Bellecour	Mesure	101237	101831	594	93,3	103
	Blancs de terrain	96815	96815	0		

Les résultats de l'APPA par gravimétrie ont été comparés avec ceux des analyseurs de COPARLY (moyennes sur la même période, à partir de données quart-horaires).

Pour l'ensemble des prélèvements, l'APPA a calculé le coefficient de corrélation entre les deux méthodes de mesures :

$$r = 0,916 \text{ (signification : } p = 0,01\text{)}.$$

Une très bonne corrélation est observée entre les deux méthodes.

Selon l'APPA, malgré le faible nombre d'essais, ces tests restent significatifs ($p=0.01$).

Par ailleurs, les blancs de terrains montrent une très bonne fiabilité dans la pesée des filtres.

Enfin, les mesures effectuées en double sur le site de « Gare de Vénissieux » donnent des résultats tout à fait satisfaisants et reproductibles, comme le montre le tableau suivant :

Date	Prélèvement	Concentration	Moyenne	Ecart-type
21/10/02	Mesure	50,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	54,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	6%
	Doublon	57,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$		
28/10/02	Mesure	63,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	61,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	3%
	Doublon	59,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$		

☞ **Conclusion de l'APPA :**

Sous réserve de l'observation stricte des procédures à utiliser pour la mesure de l'exposition individuelle aux $\text{PM}_{2,5}$ (pesée des filtres en particulier), il semble tout à fait possible de comparer les niveaux relevés par les appareils de mesures de COPARLY avec les résultats obtenus par les instruments de l'APPA pour la mesure de l'exposition individuelle.

CONCLUSION

Cette étude préliminaire réalisée par COPARLY, en collaboration avec la SLTC a permis d'établir un premier état des lieux sur la qualité de l'air dans l'enceinte du métro lyonnais à l'automne 2002, et notamment sur la problématique des poussières en suspension dans l'air (particules fines¹ PM₁₀ et très fines² PM_{2,5}), avec des mesures réalisées dans quatre stations de métro : « Gare de Perrache » et « Foch » sur la ligne A, « Gare de Vénissieux » et « Bellecour » sur la ligne D.

Les résultats ont montré que les taux de poussières fines (PM₁₀) dans le métro lyonnais sont en moyenne de 2,5 à 7 fois plus importants que les niveaux de fond urbain, et entre 1,5 et 4 fois plus élevés que les niveaux enregistrés en proximité de trafic autoroutier, et qu'il en était pratiquement de même pour les poussières qualifiées de très fines (PM_{2,5}). L'étude granulométrique a montré que les particules très fines (PM_{2,5}) représentent environ 55% de la masse totale des particules fines (PM₁₀) mesurées sur la ligne D du métro lyonnais durant la période de l'étude et que, durant la nuit, ce pourcentage tend à revenir vers la valeur moyenne mesurée à l'extérieur (60-65%).

D'autre part, selon l'avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF), les valeurs limites journalières pour les particules (PM₁₀) fixées en air ambiant par les réglementations française (loi sur l'air) et européenne (directive 1999/30/CE) ne sont pas directement applicables dans des enceintes souterraines telles que celles du métro. Un calcul a donc été proposé par le CSHPF pour établir des valeurs de référence (en moyenne horaire) pour l'exposition maximale aux particules dans les enceintes souterraines ferroviaires, tenant compte du temps passé par les usagers dans ces enceintes et des niveaux de pollution mesurés à l'extérieur.

Sur la base de ce calcul, à partir des statistiques de fréquentation du métro lyonnais et dans l'hypothèse pessimiste d'une non-amélioration de la qualité de l'air extérieur de l'agglomération lyonnaise³, COPARLY a proposé de considérer pour cette étude deux valeurs de référence pour les concentrations moyennes horaires :

- Pour un **temps de séjour moyen** ($\leq 0h45'$; allers-retours effectués en heures de pointes) :
 - C_{sout} moy < 933 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ applicable en 2002**
 - C_{sout} moy < 515 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ applicable en 2005**
- Pour un **temps de séjour maximal** (1h30' ; en heures de pointes et/ou en heures creuses) :
 - C_{sout} max < 485 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ applicable en 2002**
 - C_{sout} max < 275 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ applicable en 2005**

La première valeur « C_{sout} moy » calculée pour un temps de séjour moyen, que ce soit pour une application en 2002 ou en 2005, n'a jamais été dépassée sur l'ensemble de la période de mesure, dans aucune des quatre stations étudiées.

Concernant la valeur de référence « C_{sout} max » calculée pour un temps de séjour maximal, sur plus de 400 heures de mesures, le seuil horaire de 485 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ applicable en 2002 a été approché une fois (sans dépassement) dans les deux stations étudiées de la ligne D : « Gare de Vénissieux » et « Bellecour ».

Le seuil de 275 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, applicable en 2005, a été quant à lui dépassé 31 heures (soit environ 7,5 % du temps total) dans la station « Gare de Vénissieux », et 45 heures (soit environ 11% du temps total) dans la station « Bellecour ». A noter que les dépassements se sont produits en majorité aux heures de pointes, sur une durée moyenne de 1h50 en « Gare de Vénissieux » et de 2h10 à « Bellecour ». En revanche, cette valeur n'a jamais été atteinte ou dépassée dans les deux stations de la ligne A (« Gare de Perrache » et « Foch ») sur l'ensemble de la période de mesure.

Par ailleurs, les niveaux mesurés lors de cette étude ont été tout à fait comparables avec ceux d'autres études récentes réalisées dans le métro, en France ou à l'étranger, qui rapportent également des taux 4 à 8 fois plus élevés que les mesures en fond urbain.

¹ particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 μm .

² particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 μm .

³ avec une estimation du percentile 90 moyen égal à 35 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en 2005, au lieu de 23 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ prévu par le CSHPF.

L'étude des profils moyens journaliers a permis d'établir que les niveaux d'empoussièrement sont liés à l'augmentation de la fréquence du métro (nombre de rames en circulation), plutôt qu'à la fréquentation des voyageurs.

Les analyses complémentaires de composition chimique ont révélé la présence de traces de métaux lourds sur les particules prélevées dans le métro, comme le nickel (Ni), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), l'étain (Sn) et le baryum (Ba), en proportion a priori plus élevées que sur les poussières à l'extérieur. D'après des analyses réalisées par la SLTC antérieurement à cette étude, certains de ces métaux pourraient provenir de l'usure de pièces métalliques, de composants électriques et d'éléments de plaquette de freins. L'origine des particules présentes dans le métro serait donc bien liée au freinage et à l'usure du matériel roulant, avec une remise en suspension à chaque passage de rame. Il n'est pas non plus exclu que certains éléments proviennent des poussières issues de l'air extérieur, pénétrant par les systèmes d'aération.

La méthodologie adoptée pour cette étude préliminaire n'a permis qu'une mesure qualitative de ces métaux. A noter qu'il n'existe pour l'instant aucune réglementation en air ambiant pour la plupart des métaux lourds, hormis un suivi régulier pour le nickel, l'arsenic, le cadmium et le mercure (directive européenne 96/62/CE), et une valeur limite pour le plomb ($0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne annuelle).

Le vent extérieur ne paraît avoir pratiquement aucune influence dans les stations souterraines du métro lyonnais, si ce n'est en situation de vents forts ($> 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) dans des stations possédant des ouvertures significatives vers l'extérieur et bien orientées par rapport à ces vents.

En ce qui concerne les polluants gazeux, les niveaux observés pour le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂), dans la station de métro « Bellecour », se situent entre ceux mesurés sur une station urbaine de fond (« Croix-Luizet ») et ceux d'une station proche du trafic urbain (« Berthelot »). Cette situation s'explique par les émissions liées au trafic automobile autour de la place Bellecour, qui peuvent se retrouver rapidement dans l'enceinte du métro par les voies d'aération.

Sur l'ensemble des dix-sept jours de mesures, aucune valeur limite fixée par les réglementations française et européenne n'a été atteinte ou dépassée.

Les mesures réalisées par l'APPA (Association pour la prévention de la pollution atmosphérique) ont montré une très bonne corrélation entre les analyseurs de COPARLY et des systèmes de prélèvements transportables (valises ou sac à dos) permettant d'évaluer l'exposition individuelle aux particules très fines (PM_{2,5}). Ceci laisse entrevoir la possibilité de réaliser une campagne de mesure à plus grande échelle, pour étudier l'exposition des citoyens en fonction de leur trajet journalier, et de comparer par exemple les différents modes de transports utilisés vis-à-vis de l'exposition journalière totale à ce type de particules.

En conclusion, cette étude préliminaire a montré que les concentrations en polluants gazeux n'étaient apparemment pas plus élevées dans les enceintes du métro lyonnais qu'à l'extérieur, et que les niveaux d'empoussièrement rencontrés dans certaines stations étaient quant à eux nettement plus importants.

Durant cette campagne réalisée en 2002, les concentrations en particules (PM₁₀) sont restées inférieures aux seuils préconisés par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (valeurs de référence adaptées à la situation lyonnaise). Cependant, si aucune amélioration notable de la qualité de l'air (atmosphère extérieure de l'agglomération) n'est constatée pour les prochaines années, compte tenu de l'abaissement à venir (2005) des normes réglementaires, les niveaux actuellement observés dans le métro pourraient dépasser occasionnellement certaines de ces valeurs de référence.

Dans ce contexte, il semble judicieux de réfléchir dès aujourd'hui, avec l'ensemble des acteurs concernés par les déplacements urbains, aux possibilités de réduction des concentrations de particules (en air ambiant et/ou en atmosphère souterraine).

Par ailleurs, pour asseoir les conclusions de cette étude, il conviendrait de réaliser des mesures complémentaires afin de s'assurer que les sites étudiés sont bien représentatifs de l'ensemble du métro lyonnais et, à plus long terme, il pourrait être intéressant d'y mesurer les particules de façon pérenne (avis du CSHPF du 5 avril 2001, en annexe).

ANNEXES

- Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France relatif à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines - Séance du 5 avril 2001..... (p.79)

- Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines - Séance du 3 mai 2001..... (p.81)

- Communiqué de presse du 4 mai 2001, du Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement relatif à la qualité de l'air dans le métro parisien..... (p.85)

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
Section des milieux de vie
Avis relatif à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines

Séance du 5 avril 2001

Considérant que les concentrations de particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm (PM₁₀) mesurées par microbalance à élément oscillant (TEOM) sur les deux stations fixes du réseau SQUALES (Châtelet et Franklin Roosevelt) situées sur deux lignes de type pneumatique sont élevées, 4 à 7 fois supérieures, en moyenne, aux concentrations fournies par les stations de fond du réseau francilien de surveillance de qualité de l'air AIRPARIF et 2 à 3 fois supérieures aux valeurs des stations de proximité du trafic automobile,

Considérant que les teneurs horaires de PM₁₀ présentent un profil journalier caractérisé par des valeurs maximales aux heures de pointes de fréquentation (entre 8 et 10 heures et 16 et 18 heures) et nettement diminuées au milieu de la nuit,

Considérant que les campagnes de mesurages, isolées ou répétées, menées dans des stations situées sur des lignes de type " fer " (Bréguet-Sabin – ligne 5, Pont-Marie – ligne 7, Charonne – ligne 9) et sur une ligne de type pneumatique (Saint-Sulpice - ligne 4) révèlent des disparités importantes de concentrations massiques de PM₁₀, allant de 60 à plus de 500 µg.m⁻³,

Considérant que la cartographie de l'empoussièrement du métro parisien, réalisée à partir de prélèvements ponctuels à l'aide d'un appareil portable photométrique (DUST TRAK), confirme des niveaux élevés de PM₁₀, disparates selon les lignes, voire selon les stations d'une même ligne,

Considérant que les études sur bancs d'essais des poussières issues des matériaux de freinage et l'analyse chimique sans spéciation des particules recueillies dans quelques stations du métropolitain ne permettent pas actuellement d'attribuer aux poussières du réseau ferré souterrain une toxicité différente de celles présentes dans l'air extérieur,

Considérant que les premiers résultats des campagnes de mesurages effectuées dans différentes gares souterraines de la SNCF mettent en évidence des teneurs de PM₁₀ comprises entre 60 et 250 µg.m⁻³,

Considérant les nombreuses données épidémiologiques et expérimentales faisant état des effets biologiques et sanitaires à court terme, associés aux teneurs journalières en PM₁₀, ainsi que les travaux épidémiologiques plus récents sur les effets à long terme ;

Considérant la saisine de l'Institut de Veille Sanitaire par la Direction Générale de la Santé sur l'opportunité et la faisabilité d'une étude épidémiologique auprès des personnels travaillant dans les enceintes ferroviaires souterraines,

Considérant que les concentrations de dioxyde d'azote mesurées sur les deux stations du réseau SQUALES sont intermédiaires entre les valeurs observées par les stations de fond et celles relevées par les stations de proximité automobile du réseau AIRPARIF,

Considérant que les mesurages d'hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) à la station Pont-Marie conduisent à des valeurs supérieures à celles enregistrées simultanément à l'extérieur (dans un rapport de 1,5 à 3,5) mais que ces résultats méritent confirmation, en raison du faible nombre de prélèvements,

Considérant la configuration du réseau ferré parisien ainsi que les résultats de l'Enquête Globale des Transports (EGT) et de l'enquête relative au trafic journalier du réseau ferré (TJRF) conduite par la RATP en 1997,

Le Conseil formule des recommandations visant à améliorer la connaissance de l'exposition aux polluants atmosphériques des usagers des enceintes ferroviaires souterraines ; ces recommandations concernent, sur l'ensemble du territoire, les stations, les quais et les rames dans le cas des métros, et surtout les gares pour la SNCF, les parcours souterrains y étant beaucoup plus limités.

Ainsi, le Conseil :

estime qu'il est nécessaire de mieux connaître les habitudes de fréquentation des enceintes ferroviaires souterraines, notamment la distribution des temps journaliers de déplacement en fonction des caractéristiques socio-démographiques des citadins et recommande à cette fin, d'exploiter au mieux les réponses issues de l'enquête TJRF de 1997 et de mener des enquêtes complémentaires auprès des usagers ;

juge indispensable que soit étendue la surveillance des concentrations massiques de PM_{10} dans les enceintes ferroviaires souterraines et préconise la mise en place d'un dispositif de surveillance permettant d'apprécier les concentrations horaires de PM_{10} auxquelles sont exposés les usagers, tant au cours de leurs trajets que de leurs passages dans les couloirs et sur les quais, tout particulièrement dans les gares souterraines, les mesures de PM_{10} devant être obtenues par méthode gravimétrique ou par toute autre méthode équivalente ;

en préalable à la définition de la stratégie de surveillance, recommande :

- de tester la faisabilité de mesurages des concentrations massiques de PM_{10} dans le matériel roulant,

- de dresser une typologie des lignes et des stations en fonction des sources potentielles de particules (nature des matériaux de roulement, des systèmes de freinage et de guidage, du ballast) et des facteurs susceptibles d'influencer les concentrations particulaires (configuration des stations, notamment profondeur, pente et existence de correspondances, modalités d'aération et de ventilation, nombre de voyageurs, ...) ; l'exploitation des données existantes, par des méthodes d'analyses statistiques multivariées est susceptible d'aider à déterminer l'importance relative des sources et des différents paramètres contributifs évoqués ci-dessus ;

propose que l'exposition des usagers au cours de divers trajets sur l'ensemble du réseau soit aussi évaluée par des mesurages individuels, grâce à des dispositifs portables ;

désire que soient réalisées des études complémentaires dans le but de mieux caractériser la nature chimique des particules PM_{10} , en déterminant leur teneur en métaux (fer, nickel, chrome, manganèse, plomb, cadmium), en silice cristalline, en fibres et en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ; pour ces derniers, il est conseillé de rechercher les neuf composés faisant déjà l'objet de mesurages dans l'atmosphère urbaine ;

demande également que dans les enceintes ferroviaires souterraines, soient évaluées les concentrations en hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) et en dioxyde d'azote (NO_2) ; dans ce but, suggère d'effectuer une cartographie de ces aérocontaminants au sein du réseau, en utilisant des capteurs passifs dans les rames et dans les stations (quais et couloirs) ; dans une phase pilote, ces mesurages pourront concerner un échantillon représentatif des rames et des stations ; leurs résultats indiqueront si ce programme doit être étendu, voire complété par des mesurages effectués grâce à des analyseurs automatiques ;

souhaite que des études et des stratégies de surveillance de la qualité de l'air soient développées dans les enceintes ferroviaires souterraines de toutes les agglomérations françaises concernées ; les résultats obtenus devraient faire l'objet d'un rapport annuel présenté au Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, puis rendu public.

Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France
Section des milieux de vie
Avis relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air
dans les enceintes ferroviaires souterraines

Séance du 3 mai 2001

Considérant les avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France relatifs à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, avis rendus le 10 octobre 2000 et le 5 avril 2001,

Considérant les études menées en Ile-de-France par la RATP et la SNCF qui montrent que les particules constituent un polluant majeur des réseaux ferrés souterrains,

Considérant que dans les réseaux ferrés souterrains franciliens, les teneurs horaires de particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 μm (PM_{10}), très disparates selon les lignes, présentent un profil journalier caractérisé par des valeurs maximales pouvant atteindre, aux heures de pointes de fréquentation, 1000 $\mu\text{g.m}^{-3}$,

Considérant les nombreuses données épidémiologiques et expérimentales faisant état des effets biologiques et sanitaires à court terme associés aux concentrations journalières de PM_{10} dans l'air ambiant et considérant les travaux épidémiologiques plus récents sur les effets à long terme,

Considérant le caractère cumulatif de l'exposition aux particules et des risques qui lui sont associés, tant à court terme qu'à long terme,

Considérant que la directive 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 établit, pour les concentrations de PM_{10} dans l'air ambiant, une valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile, en 2005 ; considérant que, compte tenu de la marge de dépassement provisoirement autorisée, cette valeur limite journalière est fixée à 70 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à partir du 1^{er} janvier 2001, mais doit atteindre 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ au 1^{er} janvier 2005,

Considérant la configuration du réseau ferré parisien ainsi que les résultats de l'Enquête Globale des Transports (EGT) et de l'enquête relative au trafic journalier du réseau ferré (TJRF) conduite par la RATP en 1997, d'où il ressort que certains usagers peuvent passer plus de deux heures par jour dans le réseau ferré souterrain francilien,

Considérant la saisine du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France par la Direction Générale de la Santé sur la possibilité de fixer des valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines,

Le Conseil :

juge qu'il est possible et souhaitable de déterminer, dans les enceintes ferroviaires souterraines, des valeurs de référence de qualité de l'air qui permettent de guider l'action des exploitants, dans le but d'assurer la protection de la santé de l'ensemble des usagers, y compris des plus sensibles d'entre eux ;

recommande, qu'en l'état actuel des connaissances, ces valeurs portent sur les teneurs massiques de PM_{10} mesurées par méthode gravimétrique ou par toute autre méthode équivalente, dans le cadre du dispositif de surveillance dont la mise en place a été préconisée par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (avis en date du 5 avril 2001), afin d'apprécier les concentrations de PM_{10} auxquelles sont exposés les usagers, tant au cours de leurs trajets que de leurs passages dans les couloirs et sur les quais ;

estime que la valeur limite journalière de PM_{10} fixée dans l'air ambiant par la directive européenne 1999/30/CE n'est pas directement applicable aux enceintes ferroviaires souterraines dans lesquelles le temps passé par un citoyen ne représente qu'une fraction de sa journée, mais peut servir de référence à visée sanitaire pour une exposition journalière ;

préconise, afin de tenir compte de ce temps de séjour, de déterminer pour ces enceintes, des valeurs, dénommées 'valeurs de référence', exprimées sur un pas de temps horaire, tout en s'appuyant sur la valeur limite journalière de la directive européenne 1999/30/CE ;

adopte, pour établir ces valeurs de référence, une démarche basée sur la notion d'exposition cumulée des usagers qui pondère les teneurs atmosphériques particulières subies dans les différents environnements fréquentés, par le temps passé dans ces environnements au cours d'une journée ;

prend acte, dans l'attente de données plus précises, de ce que les concentrations particulières dans les milieux intérieurs autres que les enceintes ferroviaires souterraines sont, en l'absence de sources spécifiques, du même ordre de grandeur que les concentrations ambiantes ;

rappelle que les sources spécifiques intérieures sont dominées par le tabagisme qui lui, relève, en grande partie, de la responsabilité individuelle et que les expositions professionnelles n'entrent pas dans le champ du présent avis ;

considère :

- que le citoyen ne doit pas être exposé à une concentration de PM_{10} moyennée sur la journée, supérieure à la valeur limite journalière fixée dans l'air ambiant par la directive européenne 1999/30/CE ;
- que le séjour de l'utilisateur dans les enceintes ferroviaires souterraines ne doit pas occasionner pour lui, une surexposition susceptible d'entraîner un dépassement de la valeur limite journalière de la directive européenne 1999/30/CE, même les jours où les concentrations particulières sont élevées dans l'air extérieur ;

évalue, en conséquence, selon le mode de calcul exposé en annexe, la contribution maximale de ces enceintes souterraines à l'exposition personnelle qui soit tolérable, par référence à la valeur limite journalière de la directive européenne 1999/30/CE ;

applique cette démarche aux enceintes ferroviaires souterraines franciliennes, en envisageant différents scénarios (présentés en annexe), selon les estimations du temps de séjour de l'utilisateur dans ces enceintes ;

estime que, compte tenu des connaissances et des données disponibles, le choix d'une durée de deux heures correspondant au percentile 90 des temps cumulés de déplacement aux heures de pointe du matin et du soir sur le réseau ferré francilien (parcours souterrains et aériens confondus) conduit à une valeur de référence de la qualité de l'air permettant de protéger au moins 90% des usagers ;

souligne que les valeurs résultant de ce mode de calcul sont susceptibles d'être reconsidérées à la lumière de nouvelles données sur la toxicité des particules, sur les niveaux d'exposition des citoyens, à l'extérieur et dans d'autres micro-environnements, ainsi que sur les durées de trajet dans les enceintes ferroviaires souterraines ;

précise que cette démarche est transposable aux enceintes ferroviaires souterraines autres que franciliennes en prenant en compte les particularités de celles-ci.

Le Conseil recommande aux exploitants ferroviaires, pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessus, d'intensifier, dès à présent, les actions d'identification des sources et de réduction des niveaux d'aérocontamination particulaire dans les enceintes ferroviaires souterraines ; il leur suggère de se rapprocher de leurs homologues étrangers. Il attire également l'attention des exploitants sur la nécessité de faire respecter l'interdiction du tabagisme.

Enfin le Conseil leur demande d'établir un plan pluriannuel de réduction de la pollution particulaire dans les enceintes ferroviaires souterraines en complément des Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA) et en cohérence avec les Plans de Déplacements Urbains (PDU).

Modalités de calcul des valeurs de référence de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines et application à la situation francilienne

L'exposition atmosphérique aux PM₁₀ d'un individu qui passe un temps T dans un environnement caractérisé par une teneur ambiante C de PM₁₀ se définit par le produit (C*T). Son exposition atmosphérique E cumulée sur la journée correspond à la somme des expositions qu'il subit dans les différents environnements N qu'il fréquente.

$$E_{\text{jour}} = E_{\text{env1}} + E_{\text{env2}} + \dots + E_{\text{envN}}$$

En individualisant les enceintes ferroviaires souterraines (sout) au sein des autres environnements fréquentés par le citadin, environnements dont les teneurs particulières sont assimilées à celles issues des stations de mesure de la pollution urbaine de fond (ext), il vient :

$$E_{\text{jour}} = E_{\text{sout}} + E_{\text{ext}}$$

$$E_{\text{jour}} = (C_{\text{sout}} * T_{\text{sout}}) + (C_{\text{ext}} * T_{\text{ext}})$$

avec $T_{\text{sout}} + T_{\text{ext}} = 24$ heures

Si l'on considère qu'au cours de sa journée, le citadin ne doit pas être exposé globalement à une teneur moyenne qui excède la valeur limite journalière C_{Lim} de la directive européenne, son exposition atmosphérique E cumulée sur 24 heures doit rester inférieure à la valeur (C_{Lim} * 24). On a donc :

$$E_{\text{jour}} < C_{\text{Lim}} * 24.$$

Cette valeur C_{Lim} doit être respectée, y compris les jours où les concentrations extérieures particulières sont élevées. Sachant que la directive européenne autorise pour la période 2000 – 2005, 35 dépassements par an de la valeur C_{Lim}, soit environ 10% des jours de l'année, la valeur ambiante C_{ext} choisie correspondra au percentile 90 (P90_{ext}) de la distribution des teneurs ambiantes journalières de PM₁₀, [moyenne des percentiles 90 des valeurs journalières de PM₁₀ issues des stations urbaines de fond du réseau francilien de surveillance de la qualité de l'air (AIRPARIF)].

La valeur C_{sout} à préconiser dans les enceintes ferroviaires souterraines doit alors satisfaire à l'équation suivante :

$$(C_{\text{sout}} * T_{\text{sout}}) + [P90_{\text{ext}} * (24 - T_{\text{sout}})] < C_{\text{Lim}} * 24$$

Le tableau suivant présente les valeurs calculées, pour huit scénarios correspondant à quatre durées quotidiennes de séjour dans les enceintes ferroviaires souterraines (durées variant de 1 heure 30 à 2 heures 15) et à deux périodes distinctes, l'année en cours et l'année 2005, date d'application de la valeur C_{Lim} dans l'Union Européenne.

	2001	2005
	C _{Lim} = 50 + 40 %, soit 70 µg.m ⁻³	C _{Lim} = 50 µg.m ⁻³
	P90 _{ext} = 33 µg.m ⁻³	P90 _{ext} * = 23 µg.m ⁻³
T _{sout} = 1 heure 30	C _{sout} < 625 µg. m ⁻³	C _{sout} < 455 µg. m ⁻³
T _{sout} = 1 heure 45	C _{sout} < 540 µg. m ⁻³	C _{sout} < 393 µg. m ⁻³
T _{sout} = 2 heures	C _{sout} < 477 µg. m ⁻³	C _{sout} < 347 µg. m ⁻³
T _{sout} = 2 heures 15	C _{sout} < 428 µg. m ⁻³	C _{sout} < 311 µg. m ⁻³

* estimation adoptée par le groupe de travail 'Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines' à partir des prévisions d'Airparif

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère délégué à la santé
Direction Générale de la Santé

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement

Direction de la Prévention
des Pollutions et des Risques

Le 4 mai 2001,

COMMUNIQUE DE PRESSE**Qualité de l'air dans le métro parisien**

Dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA) d'Ile de France ont été rendu publics en octobre 2000 les résultats des contrôles effectués à l'intérieur des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces contrôles ont mis en évidence des niveaux élevés de particules en suspension dans le métro et le RER parisiens et provenant principalement des systèmes de freinage et de guidage des trains.

A la demande de la Direction Générale de la Santé, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a constitué un comité d'experts chargé d'apprécier la situation pour les usagers des souterrains parisiens.

Dans deux avis adoptés le [5 avril](#) et le [3 mai](#) 2001, le Conseil recommande une approche de prévention afin de protéger la santé des usagers, notamment les plus fragiles (asthmatiques, enfants, personnes âgées etc.), et en particulier :

- la mise en place d'un système de surveillance des concentrations de particules sur les quais, dans les couloirs et dans les rames.
- la mise en œuvre d'études complémentaires sur les autres polluants susceptibles d'être présents.
- l'adoption d'une méthode pour calculer des valeurs de référence horaires pour les particules, s'inspirant des seuils recommandés par une directive européenne portant sur l'air ambiant extérieur. Les valeurs de l'ordre de 480 µg/m³ dès maintenant et de 350 µg/m³ à terme sont proposées, sur la base d'une présence quotidienne maximale dans le métro de deux heures.

* * *

Les ministères chargés de l'environnement, de la santé et des transports ont demandé à la RATP et à la SNCF d'approfondir les travaux d'identification des sources de pollution et de prendre les mesures de surveillance et de réduction des concentrations aéroparticulaires qui leur incombent. Le suivi de la mise en œuvre de l'ensemble de ces recommandations est confié au Préfet de région d'Ile-de-France. Le Ministère de la santé a saisi l'Institut de Veille sanitaire pour mieux évaluer les conséquences de cette situation pour les usagers, en tenant compte des expositions liées aux différents moyens de transport.

Les travaux du CSHPF apportent un éclairage utile à la mise en œuvre de la politique du gouvernement visant à mieux connaître l'exposition globale de la population à la pollution atmosphérique, notamment en prenant en compte la pollution intérieure. Ainsi les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air engagent à la demande du Ministère chargé de l'environnement des campagnes de mesure pour mieux connaître cette pollution intérieure dans les différents types de locaux recevant du public (gares, parkings, galeries commerciales etc.).

Les Ministères chargés de la santé, des transports et de l'environnement souhaitent, pour les autres agglomérations que Paris, que les préfets s'assurent que des études et une surveillance soient développées dans les enceintes ferroviaires souterraines lors de la mise en œuvre des PRQA. Ils demandent enfin au CSHPF de poursuivre ses travaux sur l'exposition des usagers des autres modes de transport citadins (habitacles de voitures, bus et tramway...).