



*Photo : Morgan Paslier*

## ETUDE DE LA QUALITE DE L'AIR DANS LE METRO RENNAIS

CAMPAGNE ESTIVALE  
DU 21 JUILLET AU 19 AOÛT 2004

CAMPAGNE HIVERNALE  
DU 20 janvier au 17 février 2005

## SOMMAIRE

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCTION</b>                               | 2  |
| <b>II.</b>  | <b>PRESENTATION D'AIR BREIZH</b>                  | 2  |
| <b>III.</b> | <b>POLLUANTS ETUDIES</b>                          | 4  |
|             | <b>III.1. LE DIOXYDE D'AZOTE - NO<sub>2</sub></b> | 4  |
|             | <b>III.2. LE MONOXYDE DE CARBONE - CO</b>         | 4  |
|             | <b>III.3. LES BTEX</b>                            | 4  |
|             | <b>III.4. LES PARTICULES EN SUSPENSION - PM10</b> | 5  |
|             | <b>III.5. LES ELEMENTS TRACES (METAUX LOURDS)</b> | 6  |
|             | <b>III.6. VALEURS DE REFERENCES</b>               | 7  |
| <b>IV.</b>  | <b>MATERIEL UTILISE</b>                           | 10 |
|             | <b>IV.1. ANALYSEURS AUTOMATIQUES</b>              | 10 |
|             | <b>IV.2. ECHANTILLONNEURS A DIFFUSION PASSIVE</b> | 10 |
|             | <b>IV.3. PRELEVEUR PARTISOL PLUS</b>              | 10 |
| <b>V.</b>   | <b>STRATEGIE DE CAMPAGNE</b>                      | 11 |
|             | <b>V.1. DESCRIPTION DES SITES DE MESURES</b>      | 11 |
|             | <b>V.2. SITES DE MESURES</b>                      | 12 |
| <b>VI.</b>  | <b>RESULTATS</b>                                  | 13 |
|             | <b>VI.1. LE NO<sub>2</sub></b>                    | 13 |
|             | <b>VI.2. LE CO</b>                                | 15 |
|             | <b>VI.3. LES BTEX</b>                             | 17 |
|             | <b>VI.4. LES PM10</b>                             | 20 |
|             | <b>VI.5. LES METAUX LOURDS</b>                    | 23 |
| <b>VII.</b> | <b>CONCLUSION</b>                                 | 25 |
|             | <b>RESUME DE L'ETUDE</b>                          | 26 |
|             | <b>GLOSSAIRE</b>                                  | 28 |
|             | <b>BIBLIOGRAPHIE</b>                              | 29 |

## I. INTRODUCTION

Afin d'appréhender l'exposition des usagers à la pollution atmosphérique dans le métro rennais, Rennes Métropole a fait appel à Air Breizh pour réaliser une campagne de mesure de polluants atmosphériques dans le métro.

Cette requête fait suite à la circulaire DGS/SD 7B n° 2003-314 du 30 juin 2003, dans laquelle le directeur général de la santé demande aux exploitants de transports collectifs ferroviaires souterrains de Paris, Lyon, Marseille, Toulouse, Lille, Rennes et Rouen, et bientôt Clermont-Ferrand :

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

Une stratégie de campagne a été définie en juin 2004 lors d'une réunion entre Rennes Métropole, la Ville de Rennes, la STUR (société exploitante du métro), la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ille et Vilaine, et Air Breizh.

Des campagnes ont été menées du 21 juillet au 19 août 2004 et du 20 janvier au 17 février 2005, dans des stations profondes, semi-profondes et aériennes, ainsi que dans les tunnels et les rames.

Ont fait l'objet de mesure : le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone, les particules de diamètre inférieur ou égal à 10 µm (appelées PM10), les hydrocarbures aromatiques monocycliques appelés BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), ainsi que six métaux lourds (cadmium, chrome, fer, manganèse, nickel et plomb).

Une attention particulière a été portée sur les poussières, des études précédemment menées dans les enceintes ferroviaires souterraines d'autres agglomérations comme Paris et Lyon, ayant révélé des niveaux élevés en PM10

## II. PRESENTATION D'AIR BREIZH

### *Historique et missions*

La surveillance de la qualité de l'air breton a débuté à Rennes en 1986. L'ASQAR, l'association alors chargée de cette surveillance, s'est régionalisée en décembre 1996, devenant AIR BREIZH. Depuis dix-neuf ans, le réseau de surveillance s'est régulièrement développé, et dispose aujourd'hui de stations de mesure sur une dizaine de villes bretonnes.

Air Breizh est l'une des associations françaises de surveillance de la qualité de l'air constituant le dispositif national ATMO. Ces associations loi 1901, agréées par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, sont aujourd'hui implantées dans toutes les villes de plus de 100 000 habitants.

Les missions d'Air Breizh sont de :

- ✚ **Mesurer** en continu les polluants urbains nocifs (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> et PM10) dans l'air ambiant.
- ✚ **Inform**er les services de l'Etat, les élus, les industriels et le public, notamment en cas de pic de pollution.
- ✚ **Etudier** l'évolution de la qualité de l'air et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.

### *Partenaires et moyens*

L'association regroupe les différents partenaires impliqués dans les problèmes de pollution atmosphérique en Bretagne, répartis en quatre collèges :

- ✚ **Collège 1** : Services de l'Etat et établissements publics,
- ✚ **Collège 2** : Collectivités locales et territoriales,
- ✚ **Collège 3** : Représentants des émetteurs de substances polluantes,
- ✚ **Collège 4** : Associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

Air Breizh dispose d'un budget d'environ 900 000 euros, financé à hauteur de 41% par l'Etat, via des subventions directes ou la réaffectation de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes, 24% par les collectivités locales, 23% par les industriels, et 12% par des prestations, produits financiers et divers.

## Réseau de mesures

### Stations de mesure fixes

Une quarantaine d'analyseurs, répartis sur dix-huit stations fixes, permet de surveiller la qualité de l'air dans onze villes bretonnes. Ces stations de mesures sont classées selon leurs objectifs de surveillance.



**Station urbaine :** suivre le niveau d'exposition moyen de la population à la pollution atmosphérique de fond dans les centres urbains.

**Station périurbaine :** suivre le niveau d'exposition moyen de la population à la pollution atmosphérique de fond et à des maxima de pollution photochimique à la périphérie des centres urbains.

**Station rurale régionale :** suivre l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

**Station trafic :** fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximal d'exposition auquel la population située à proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée.

### Laboratoire mobile

Un laboratoire mobile, équipé des mêmes analyseurs que ceux des stations fixes, et d'un mât météo, permet d'étudier la qualité de l'air de zones non couvertes par les stations de mesure fixes.

Des études sont menées tout au long de l'année, notamment à la demande des membres de l'association. Des campagnes sont également organisées lors de l'implantation de nouvelles stations de mesure.

### Tubes à diffusion passive

L'échantillonnage passif est une technique d'analyse simple, ne nécessitant pas d'alimentation électrique et peu d'entretien. Son coût peu élevé rend possible l'utilisation d'échantillonneurs en grand nombre, couvrant ainsi une large zone géographique et permettant l'étude de la répartition spatiale d'un polluant.

## Information – Sensibilisation

Les données des stations de mesure, actualisées trois fois par jour, sont disponibles sur le site Internet [www.airbreizh.asso.fr](http://www.airbreizh.asso.fr).

### Indice ATMO et Indicateur de la Qualité de l'Air

L'association calcule chaque jour l'indice ATMO sur la base de quatre polluants (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM<sub>10</sub>), pour Brest, Lorient et Rennes. Cet indice quotidien, qui varie de 1 (très bon) à 10 (très mauvais), caractérise la qualité de l'air d'une ville. Il est diffusé aux médias et aux collectivités locales concernées.

Un Indicateur de la Qualité de l'Air (IQA) est également calculé pour les agglomérations non équipées des quatre analyseurs et des deux stations nécessaires au calcul de l'indice ATMO, Quimper, Saint-Brieuc, Saint-Malo et Vannes.



- ✚ Air Breizh participe à différentes manifestations, journées sans voiture, salons, et intervient dans les établissements scolaires afin d'informer et de sensibiliser le grand public et les scolaires à la qualité de l'air.
- ✚ Des campagnes d'affichage sont régulièrement mises en place dans les villes surveillées.
- ✚ L'association publie divers documents de communication : bulletins trimestriels, bilans annuels, plaquettes...

### III. POLLUANTS ETUDIÉS

#### III.1. LE DIOXYDE D'AZOTE – NO<sub>2</sub>

##### *III.1.1. Origine*

Le monoxyde d'azote NO se forme par combinaison de l'azote N<sub>2</sub> et de l'oxygène O<sub>2</sub> lors des combustions à haute température. Au contact de l'air, il est rapidement oxydé en dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, polluant que l'on retrouve à l'extérieur comme à l'intérieur des locaux.

En Bretagne, selon l'inventaire du CITEPA (1) en 2000, 49% des émissions de NOx seraient imputables au transport routier, 20% aux autres transports, 19% à l'agriculture et à la sylviculture, 6% aux secteurs résidentiel et tertiaire et 4% au secteur industrie manufacturière. Les émissions bretonnes s'élèveraient à 71 335 tonnes de NOx et représenteraient 5,1% des émissions nationales.

Si le perfectionnement du rendement des moteurs et l'amélioration de la qualité des carburants ont entraîné une réduction unitaire des émissions, celle-ci a été compensée par la hausse régulière du trafic.

##### *III.1.2. Effets sur la santé*

Le monoxyde d'azote passe à travers les alvéoles pulmonaires, se dissout dans le sang où il empêche la bonne fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés.

Le dioxyde d'azote, plus dangereux, pénètre dans les voies respiratoires profondes où il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations habituellement relevées en France, il provoque une hyper-réactivité bronchique chez les asthmatiques.

#### III.2. LE MONOXYDE DE CARBONE - CO

Le monoxyde de carbone est un gaz inodore, incolore et inflammable.

##### *III.2.1. Origine*

Le monoxyde de carbone est émis lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, carburants...), la combustion complète produisant du CO<sub>2</sub>.

L'inventaire réalisé par le CITEPA (1) en 2000 estime à 291 946 tonnes les émissions bretonnes de CO, 47% étant imputables au transport routier, 31% aux secteurs résidentiel et tertiaire, 10% aux autres transports, 7% à l'agriculture et la sylviculture et près de 4% au secteur industrie manufacturière. Les émissions bretonnes représenteraient 4,3% des émissions nationales.

##### *III.2.2. Effets sur la santé*

Le monoxyde de carbone se fixe sur l'hémoglobine du sang, avec une affinité 200 fois supérieure à celle de l'oxygène. Les organes les plus sensibles à cette diminution de l'oxygénation sont le cerveau et le cœur. L'inhalation de CO entraîne des maux de tête et des vertiges. Nausées et vomissements apparaissent à forte concentration. En cas d'exposition prolongée à des niveaux élevés en milieu confiné, ce polluant peut avoir un effet asphyxiant mortel.

#### III.3. LES BTEX

Les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont les Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM) les plus présents dans l'atmosphère.

### III.3.1. Origine (2)

La combustion incomplète du **benzène** dans l'essence constitue la source la plus importante depuis qu'il y remplace le plomb.

L'**éthylbenzène** est principalement émis par le trafic automobile, l'industrie et les incinérateurs.

Les plus fortes concentrations en **toluène** se rencontrent à l'intérieur des locaux, lors de l'utilisation de produits courants (peintures, colles, encres...) dans lesquels il sert de solvant. La fumée de tabac est également source de toluène. A l'extérieur, le transport est la principale source d'émission. Son adjonction aux supercarburants leur donne des propriétés antidétonantes qui permettent le bon fonctionnement des véhicules automobiles (amélioration de l'indice d'octane). Il est également émis par les industries qui le produisent ou l'utilisent.

Les **Xylènes** (ortho, méta et para) sont détectés partout, dans l'air, les eaux de pluie, les sols, les eaux de surface, les sédiments, les eaux de boisson... Ils sont émis à l'intérieur des locaux par certains produits, comme les peintures. Ils sont utilisés comme solvant dans l'industrie. Ajoutés dans les essences pour améliorer l'indice d'octane, ils sont également émis par les véhicules automobiles.

### III.3.2. Effets sur la santé

Les BTEX sont des composés toxiques agissant sur le système nerveux à forte concentration. Ils peuvent entraîner des irritations oculaires, cutanées ou respiratoires, et diminuer les performances physiques et intellectuelles. Le benzène, considéré comme le composé aromatique monocyclique le plus toxique, est connu pour ses effets mutagènes et cancérogènes.

## III.4. LES PARTICULES EN SUSPENSION – PM10

Les particules en suspension constituent un ensemble très hétérogène, compte tenu de la diversité de leur composition, de leur état (liquide ou solide) et de leur taille (de 0,005 à 100 µm).

Alors que les grosses particules se déposent rapidement sous l'effet de leurs poids, les petites particules restent en suspension dans l'air, leur vitesse de chute résultant d'un équilibre entre l'action du champ de pesanteur terrestre ou de la force électrique qui agit sur elles et la résistance du milieu. Les particules de diamètre inférieur ou égal à 10 µm, appelées PM10, peuvent rester en suspension dans l'air pendant des jours, voire des semaines, et être transportées par les vents sur de très longues distances.

### III.4.1. Origine

Les **particules fines (PM2,5)** sont essentiellement émises lors de processus de combustion incomplète (fumée de tabac, appareils de chauffage, trafic automobile...).

A l'intérieur des locaux, les **PM10** proviennent de sources diverses : remise en suspension de la poussière du sol, abrasion des surfaces, combustion du charbon et de l'huile, activité de nettoyage ou de bricolage... Les particules fines pénètrent également à l'intérieur des locaux par les systèmes de ventilation (3).

Différentes études menées dans les enceintes ferroviaires souterraines ont permis de dégager trois sources de pollution particulière : l'exploitation ferroviaire, les voyageurs et dans une moindre mesure, l'air extérieur. Les particules seraient principalement émises par le système de freinage et l'usure des roues, la ventilation (naturelle ou mécanique) et l'entretien du réseau (4).

Les sources émettrices de particules dans le métro de Rennes sont principalement les frotteurs servant à capter le courant, et dans une moindre mesure la barre de guidage en fer, les pneus, les disques et les plaquettes de frein (apport minimal, le freinage étant électrique) (source : Société des Transports Urbains Rennais).

### III.4.2. Effets sur la santé

La toxicité des particules dépend de leur taille et de leur composition. Leur rôle a été démontré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardiovasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (bronchitiques chroniques, asthmatiques...).

Les **particules de diamètre compris entre 2,5 et 10 µm** se déposent dans les parties supérieures du système respiratoire. Elles peuvent être éliminées par filtration des cils de l'arbre respiratoire et la toux. Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM10 et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès. **Les particules les plus fines (< 2,5 µm)** sont les plus dangereuses. Capables de pénétrer au plus profond de l'appareil respiratoire, elles atteignent les voies aériennes terminales, se déposent par sédimentation ou pénètrent dans le système sanguin.

Ces particules peuvent véhiculer des composés toxiques, allergènes, mutagènes ou cancérigènes, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les métaux, qui vont atteindre les poumons, où ils pourront être absorbés dans le sang et les tissus.

### III.5. LES ELEMENTS TRACES (METAUX LOURDS)

Les **éléments traces**, appelés abusivement **métaux lourds**, représentent non seulement les métaux présents à l'état de trace (cadmium, cuivre, mercure, plomb, etc.), mais aussi des éléments non-métalliques, comme l'arsenic, le fluor...

La plupart d'entre eux, les oligo-éléments, sont nécessaires à la vie en faible dose. Ils peuvent cependant se révéler très nocifs en quantités trop importantes. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas, comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb) (5).

Certains métaux lourds sont émis par les systèmes de freinage et l'abrasion due au roulement dans le réseau ferroviaire souterrain d'Ile de France, comme le fer, le manganèse, le chrome, le plomb, le cuivre, l'aluminium, le silicium, le baryum et le zinc. Le fer, le chrome, le nickel et le manganèse sont en outre des composants des aciers constituant les rails et les cœurs des voies du réseau (4).

Six métaux lourds ont fait l'objet de mesure dans cette étude :

- **Le cadmium (Cd)**, dont l'exposition chronique induit des néphrologies (maladies des reins) pouvant évoluer vers une insuffisance rénale. Il peut avoir un effet irritant dans certains cas d'exposition par inhalation et être responsable de rhinites, de pertes d'odorat, de broncho-pneumopathies chroniques... Le cadmium est considéré comme un agent cancérigène (2).
- **Le chrome (Cr)**, qui améliore la dureté des métaux et leur résistance à la corrosion (6). Le chrome VI peut provoquer des réactions allergiques, des irritations nasales et des saignements de nez, des ulcères, des problèmes respiratoires, des cancers...
- **Le fer (Fe)**. Aux concentrations généralement rencontrées dans l'atmosphère, le fer n'a pas d'impact sur la santé.
- **Le manganèse (Mn)**. Des empoisonnements chroniques au manganèse ont été observés sur des sites industriels. Les troubles se caractérisent par des manifestations psychologiques et neurologiques.
- **Le nickel (Ni)**, principalement émis lors de la combustion du fuel domestique, du diesel et du charbon. Il est utilisé dans différentes applications, comme composant de l'acier ou d'autres produits métalliques, détergents... Il pénètre dans l'organisme par inhalation, ingestion et contact cutané. Les effets les plus courants sont des réactions allergiques après contact cutané avec des objets en nickel. Une exposition par inhalation peut entraîner des nausées, des vomissements, des vertiges, de l'asthme, des bronchites chroniques, des problèmes cardiaques, des embolies pulmonaires ... L'absorption de quantités trop importantes de Nickel entraîne un risque accru de développer un cancer des poumons, du larynx et de la prostate. Une exposition aux formes les moins solubles du nickel peut avoir des effets cancérigènes (cancer des fosses nasales et des poumons) (7).
- **Le plomb (Pb)**, rentrant notamment dans la composition d'alliages et d'enrobages de câbles... Les voies d'imprégnation sont multiples et la part atmosphérique est minime (8). Ses effets sont multiples mais les organes cibles sont les systèmes nerveux, hématopoïétique et cardio-vasculaire. Son effet cancérigène n'a pas encore été démontré.

Des analyses chimiques de ces métaux sont réalisées sur des prélèvements de PM10 sur filtres.

### III.6. VALEURS DE REFERENCE

*Remarque : Les valeurs de référence recensées dans ce chapitre sont des concentrations dans l'air. Il existe d'autres valeurs toxiques de référence répertoriées dans les fiches toxicologiques de la plupart des polluants étudiés.*

#### III.6.1. Valeurs de référence dans l'air ambiant

| <b>VALEURS DE REFERENCE EN VIGUEUR</b>  |   |   |  |   | Arrêtés Préfectoraux   | RECOMMANDATIONS DE L'OMS  |
|---|---|---|--|---|--|---|
| Décret n° 2003-1085 du 12 novembre 2003 (modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998) et Arrêté Ministériel du 17 août 1998 |   |   |  |   |  |   |
| Polluant  | Objectifs de qualité                      | Seuils de recommandation et d'information | Seuils d'alerte  | Valeurs limites   | Brest, Morlaix, Quimper, Rennes, Morbihan  | Valeurs guides 1999   |
| <b>NO<sub>2</sub></b>   | Moyenne annuelle : 40 µg/m <sup>3</sup>   | Moyenne horaire : 200 µg/m <sup>3</sup>   | Moyenne horaire : 400 µg/m <sup>3</sup> ou 200 µg/m <sup>3</sup> si la procédure d'information a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain | <b>Protection de la santé</b><br>centile 98 des concentrations horaires (175 heures de dépassement autorisées sur l'année) = 200 µg/m <sup>3</sup><br>centile 99,8 des concentrations horaires (18 heures de dépassement autorisées sur l'année) = 250 µg/m <sup>3</sup> en 2005<br><b>Moyenne annuelle</b> : 50 µg/m <sup>3</sup> en 2005<br><br><b>Protection de la végétation</b><br><b>Moyenne annuelle</b> : 30 µg/m <sup>3</sup> d'oxydes d'azote | <b>Seuil de recommandation et d'information</b><br>200 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire<br><br><b>Seuil d'alerte</b><br>400 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire ou 200 µg/m <sup>3</sup> si la procédure d'information et de recommandation a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain | <b>Seuil de mise en vigilance des services techniques</b><br>120 µg/m <sup>3</sup> en moyenne horaire<br><br>200 µg/m <sup>3</sup> sur 1 h<br>40 µg/m <sup>3</sup> sur 1 an |
| <b>PM10</b>   | Moyenne annuelle : 30 µg/m <sup>3</sup>   |   |  | <b>Protection de la santé</b><br>(Applicable à la part des concentrations non liées à des événements naturels)<br>centile 90,4 des concentrations moyennes journalières (35 jours de dépassement autorisés sur l'année) = 50 µg/m <sup>3</sup> à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2005<br><b>Moyenne annuelle</b> : 40 µg/m <sup>3</sup> à partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2005  |  |   |
| <b>CO</b>   |   |   |  | <b>Protection de la santé</b><br>10 mg/m <sup>3</sup> sur 8 h   |  | 100 mg/m <sup>3</sup> sur 15 min<br>60 mg/m <sup>3</sup> sur 30 min<br>30 mg/m <sup>3</sup> sur 1 h<br>10 mg/m <sup>3</sup> sur 8 h   |
| <b>Plomb</b>  | Moyenne annuelle : 0,25 µg/m <sup>3</sup> |   |  | <b>Moyenne annuelle</b> : 0,5 µg/m <sup>3</sup>   |  | 0,5 µg/m <sup>3</sup> sur 1 an  |
| <b>Benzène</b>  | Moyenne annuelle : 2 µg/m <sup>3</sup>    |   |  | <b>Protection de la santé</b><br><b>Moyenne annuelle</b> : 10 µg/m <sup>3</sup> en 2005   |  | Incrément de risque : 6x10 <sup>-5</sup> pour 1 exposition de 1 µg/m <sup>3</sup>   |

#### Autres valeurs de référence dans l'air ambiant

##### ✚ Les BTEX

**Le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes** ne sont pas soumis à réglementation.

L'OMS préconise de ne pas dépasser :

- 260 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une semaine pour le toluène
- 22 000 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une année pour l'éthylbenzène
- 4 800 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24 heures pour les xylènes

##### ✚ Les métaux lourds

Seul le plomb dispose de valeurs réglementaires de référence dans l'atmosphère (voir tableau ci-dessus).

#### Recommandations de l'OMS dans l'atmosphère

|                  | Valeur guide en moyenne annuelle (2000)   |
|------------------|---|
| <b>Cadmium</b>   | 5 ng/m <sup>3</sup> sur 1 an  |
| <b>Fer</b>       | Non concerné  |
| <b>Manganèse</b> | 150 ng/m <sup>3</sup> sur 1 an  |
| <b>Plomb</b>     | 500 ng/m <sup>3</sup> sur 1 an  |
|                  | <b>Incrément de risque</b>  |
| <b>Chrome VI</b> | Incrément de risque : 4x10 <sup>-2</sup> pour une exposition de 1 µg/m <sup>3</sup> |
| <b>Nickel</b>    | Incrément de risque : 4x10 <sup>-4</sup> pour une exposition de 1 µg/m <sup>3</sup> |

#### Réglementation européenne (directive du 15 décembre 2004)

| Composé        | Valeur cible annuelle applicable en 2012 |
|----------------|--|
| <b>Cadmium</b> | 5 ng/m <sup>3</sup>                      |
| <b>Nickel</b>  | 20 ng/m <sup>3</sup>                     |

**III.6.2. Valeurs de référence à l'intérieur des locaux**

Il n'existe pas de norme dans les locaux. Les valeurs de référence retenues sont **les valeurs limites d'exposition professionnelle** fixées par le Ministre du travail.

| <p><b>La valeur limite</b> d'un composé chimique représente sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé, sans risque d'altération pour sa santé, même si des modifications physiologiques réversibles sont parfois tolérées.</p> |     |   |
|--|-----|---|
| Valeur limite  |     | Définition  |
| Valeur limite d'exposition à court terme   | VLE | Valeur plafond mesurée sur une <b>durée maximale de 15 minutes</b> . Son respect vise à prévenir les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.  |
| Valeur moyenne d'exposition  | VME | Valeur qui ne doit pas être dépassée <b>pour une exposition de 8 heures par jour, 5 jours par semaine pendant une vie professionnelle</b> . Elle est destinée 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. |

|   | VLE                   | VME                    |
|---|-----------------------|------------------------|
| <b>NO<sub>2</sub></b>   | 6 mg/m <sup>3</sup>   |                        |
| <b>CO</b>   |                       | 55 mg/m <sup>3</sup>   |
| <b>Poussières alvéolaires (diamètre inférieur ou égal à 5 µm)</b> |                       | 5 mg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Benzène</b>  |                       | 3,25 mg/m <sup>3</sup> |
| <b>Toluène</b>  | 550 mg/m <sup>3</sup> | 375 mg/m <sup>3</sup>  |
| <b>Ethylbenzène</b>   |                       | 435 mg/m <sup>3</sup>  |
| <b>Xylènes</b>  | 650 mg/m <sup>3</sup> | 435 mg/m <sup>3</sup>  |
| <b>Cadmium</b>  |                       | 0,05 mg/m <sup>3</sup> |
| <b>Chrome</b>   |                       | 0,05 mg/m <sup>3</sup> |
| <b>Manganèse</b>  |                       | 1 mg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Nickel</b>   |                       | 1 mg/m <sup>3</sup>    |
| <b>Plomb</b>  |                       | 0,15 mg/m <sup>3</sup> |

**III.6.3. Valeurs de référence dans les enceintes ferroviaires souterraines pour les PM10**

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France estime que « la valeur limite journalière de PM10 dans l'air ambiant (fixée à 50 µg/m<sup>3</sup> en 2005) 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 » (4).

Détermination de la valeur limite journalière en PM10 dans le métro rennais

**Calcul (9)**

« 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 (CxT). 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

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

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

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  $C_{\text{Lim}}$  de la directive européenne, son exposition atmosphérique E cumulée sur 24 heures doit rester inférieure à la valeur ( $C_{\text{Lim}} \times 24$ ). On a donc :

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

Cette valeur  $C_{\text{Lim}}$  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, trente-cinq dépassements par an de la valeur  $C_{\text{Lim}}$ , soit environ 10% des jours de l'année, la valeur ambiante  $C_{\text{ext}}$  choisie correspondra au percentile 90 ( $P90_{\text{ext}}$ ) de la distribution des teneurs ambiantes journalières de PM10. La valeur  $C_{\text{sout}}$  à préconiser dans les enceintes ferroviaires doit alors satisfaire à l'équation suivante :

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

A Rennes, jusqu'en décembre 2004, les PM10 n'étaient mesurées que sur la station trafic Laënnec. Elles sont mesurées sur la station urbaine Triangle à partir du 10 décembre. A ce jour, **la valeur limite en PM10 applicable dans le métro rennais ne peut donc être calculée à partir du percentile 90 d'une station urbaine sur une année.**

Dans ce rapport, à titre informatif, une valeur limite est calculée sur la base du percentile 90 de la station trafic Laënnec en 2004 ( $P90 = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le percentile 90 de 2005 est supposé être le même qu'en 2004.

Remarque : Le Percentile 90 d'une station trafic est supérieur à celui d'une station urbaine. Pour information, le percentile 90 de la station urbaine Triangle est de  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 2005. La valeur limite calculée dans ce rapport est donc plus stricte que celle calculée à partir des données d'une station urbaine.

**La valeur limite réellement applicable dans le métro de Rennes sera calculée ultérieurement à la fin de l'année (à partir des mesures de la station urbaine Triangle sur une année entière).**

La valeur limite journalière en PM10 dans l'air ambiant est de  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2004 et  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2005.

D'après l'exploitant, le trajet moyen est de 5 minutes 50 et l'attente de 2 minutes. Le calcul de la valeur limite est basé sur l'hypothèse que la durée quotidienne moyenne de séjour dans le métro est de 15 minutes, correspondant au pas de temps minimal des données de mesure. La valeur limite est également calculée pour des temps de séjour d'une et de deux heures.

**Valeur limite dans le métro rennais (calculée à partir du P90 de la station trafic Laënnec)**

|  | 2004                          | 2005   |
|--|-------------------------------|--|
| Valeur limite journalière à respecter dans l'air ambiant ( $C_{\text{Lim}}$ )    | $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  |
| Percentile 90 ( $P90_{\text{ext}}$ ) de la station trafic Laënnec                | $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | Hypothèse : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$<br>(équivalent au P90 de 2004) |
| Valeur de référence dans le métro rennais pour un temps de séjour de 15 minutes* | $2430 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | $1950 \mu\text{g}/\text{m}^3$  |
| Valeur de référence dans le métro rennais pour un temps de séjour de 1 heure*    | $630 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | $510 \mu\text{g}/\text{m}^3$   |
| Valeur de référence dans le métro rennais pour un temps de séjour de 2 heures*   | $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$   |

## IV. MATERIEL UTILISE

### IV.1. ANALYSEURS AUTOMATIQUES

Des analyseurs automatiques permettent de mesurer le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les PM10 en continu.



### IV.2. ECHANTILLONNEURS A DIFFUSION PASSIVE

#### *Généralités*

Les BTEX et le NO<sub>2</sub> sont mesurés par tubes à diffusion passive.

La diffusion est définie comme un transfert de matière d'une région à une autre, dû à un gradient de concentration. Pendant l'échantillonnage, les polluants gazeux sont piégés par un capteur contenant un adsorbant (exemple : charbon actif) ou un absorbant spécifique (support solide imprégné de réactif chimique), et accumulés. Le polluant est ensuite récupéré par désorption, puis analysé en laboratoire.

La concentration atmosphérique moyenne sur la période d'échantillonnage est calculée à partir de la masse piégée pendant l'exposition.

A noter que l'échantillonnage par tube à diffusion ne fournit pas de données en temps réel et ne permet pas de relever les pointes de pollution.

#### *Les tubes Radiello*

Les tubes utilisés dans cette campagne sont préparés et analysés par la Fondazione Salvatore Maugeri, laboratoire italien travaillant fréquemment pour les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Ces tubes ont été éprouvés par les AASQA et le LCSQA.

🚦 Les BTEX sont adsorbés par des cartouches en charbon graphitisé (Carbograph 4). Les cartouches sont ensuite désorbées thermiquement à 300°C environ, puis analysées par chromatographie en phase gazeuse.

🚦 Le dioxyde d'azote est chimiabsorbé par la triéthanolamine (TEA) sous forme nitrite puis analysé par spectrophotométrie visible à 537 µg/m<sup>3</sup>.



### IV.3. PRELEVEUR PARTISOL PLUS



Le Partisol Plus est un préleveur séquentiel de particules en suspension. Il est équipé d'un échangeur automatique d'une capacité de 16 filtres. Chaque filtre est exposé pendant 24 heures. Seule la fraction PM10 des poussières est collectée. Les métaux lourds sont ensuite dosés en laboratoire par ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometry : spectrométrie de masse avec ionisation par plasma à couplage inductif).

## V. STRATEGIE DE CAMPAGNE

### V.1. DESCRIPTION DES SITES DE MESURES

#### *Eté 2004*

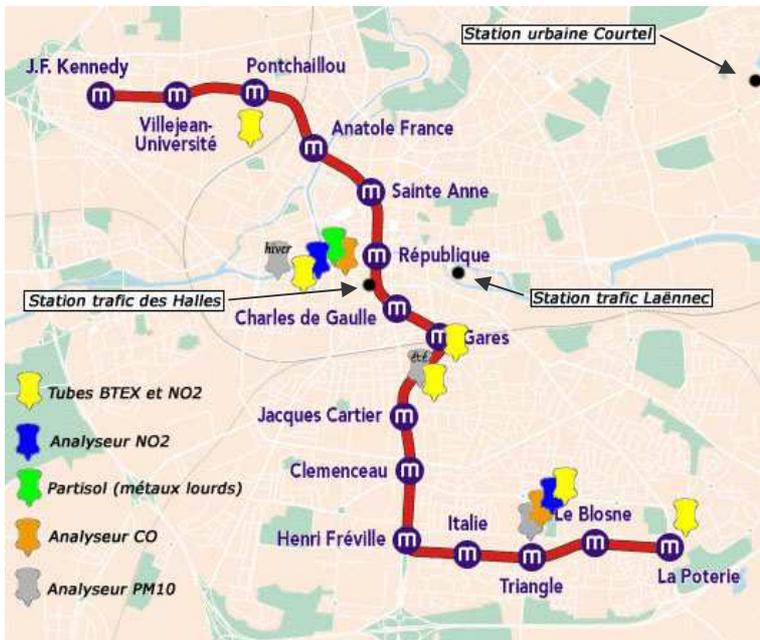
| Site  | Equipement  | Périodes  |
|---|---|---|
| <b>Triangle</b><br>(station semi-profonde)                      | Analyseurs NO <sub>2</sub> , CO, PM10<br>Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX                            | 1 mois, du 21/07 au 19/08<br>4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08   |
| <b>République</b><br>(station profonde)                         | Analyseurs NO <sub>2</sub> , CO<br>Partisol Plus : métaux lourds<br>Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX | 1 mois, du 21/07 au 19/08<br>prélèvements de 24 h, du 22/07 au 4/08<br>4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08 |
| <b>Poterie et Pontchaillou</b><br>(stations aériennes)          | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08  |
| <b>Quineleu</b><br>(Tunnel)                                     | Analyseur PM10<br>Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 1 mois, du 21/07 au 19/08<br>4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08   |
| <b>Bout des quais de la gare</b><br>(Tunnel)                    | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08  |
| <b>Rame de métro</b><br>(Sous les sièges et dans un plafonnier) | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 21/07 au 18/08  |

#### *Hiver 2005*

En raison des concentrations élevées en PM10 détectées dans la Station de métro Triangle en été 2004, l'analyseur de poussières initialement installé dans le tunnel de Quineleu (non ouvert au public) a été déplacé à la station République pour la campagne hiver, afin d'étudier l'exposition des usagers du métro.

| Site  | Equipement  | Périodes   |
|---|---|--|
| <b>Triangle</b><br>(station semi-profonde)                      | Analyseurs NO <sub>2</sub> , CO, PM10<br>Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX  | 1 mois, du 20/01 au 17/02<br>4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02  |
| <b>République</b><br>(station profonde)                         | Analyseurs NO <sub>2</sub> , CO<br>Analyseur PM10<br>Partisol Plus : métaux lourds<br>Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX | 1 mois, du 20/01 au 17/02<br>1 mois, du 20/01 au 17/02<br>prélèvements de 24 h, du 27/01 au 9/02<br>4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02 |
| <b>Poterie et Pontchaillou</b><br>(stations aériennes)          | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02   |
| <b>Quineleu</b><br>(Tunnel)                                     | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02   |
| <b>Bout des quais de la gare</b><br>(Tunnel)                    | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02   |
| <b>Rame de métro</b><br>(Sous les sièges et dans un plafonnier) | Tubes NO <sub>2</sub> et BTEX   | 4 x 1 semaine, du 20/01 au 17/02   |

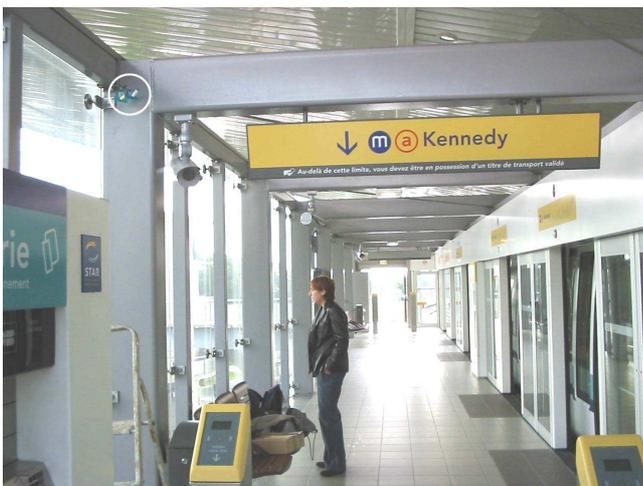
V.2. SITES DE MESURES



Plan : Source : <http://www.star.fr>



Station Pontchaillou



Station Poterie



Station République



Station Triangle



Tunnel Quineleu

## VI. RESULTATS

Remarque: Comparaison été/hiver des concentrations de NO<sub>2</sub>(Dioxyde d'azote), de CO(monoxyde de carbone) et de PM10  
 Ces pollutions se manifestent entre autres en présence d'inversion thermique et en situation anticyclonique. C'est principalement en automne et en hiver que ces conditions sont observées. Elles conduisent à une stagnation des polluants. C'est aussi à cette période que l'impact des activités de chauffage est le plus ressenti (effet sur les concentration de NO<sub>2</sub> et de CO). C'est pourquoi ces polluants sont généralement mesurés à des concentrations plus importantes en hiver.

### VI.1. LE NO<sub>2</sub>

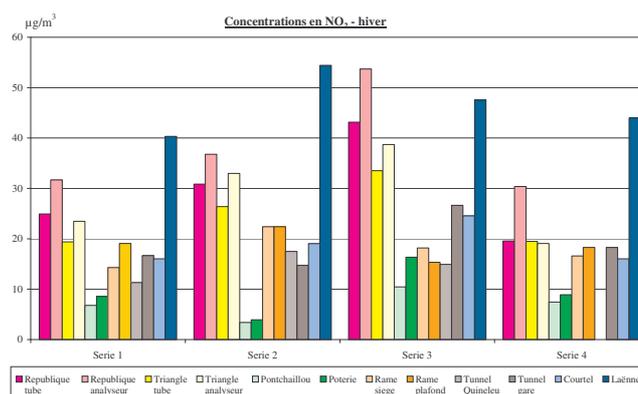
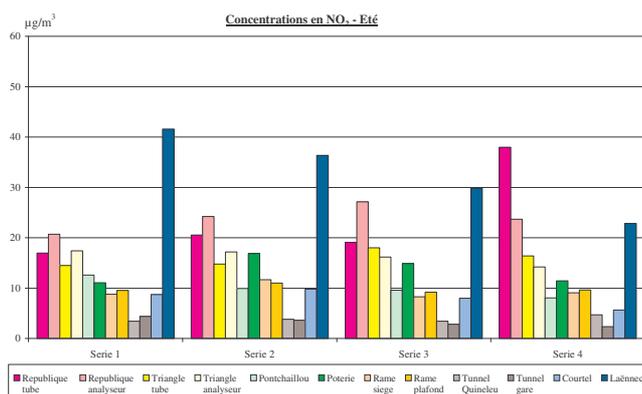
| Concentrations moyennes (µg/m <sup>3</sup> ) |              |       |                |       |
|--|--------------|-------|----------------|-------|
|  | Campagne Eté |       | Campagne Hiver |       |
|  | Analyseurs   | Tubes | Analyseurs     | Tubes |
| Rennes - Station urbaine Courtel             | 8            |       | 19             |       |
| Rennes - Station trafic Laënnec              | 33           |       | 47             |       |
| Méto - Station République                    | 24           | 24    | 38             | 30    |
| Méto - Station Triangle                      | 16           | 16    | 28             | 25    |
| Méto - Station Poterie                       |              | 14    |                | 9     |
| Méto - Station Pontchaillou                  |              | 10    |                | 7     |
| Méto - Tunnel Quineleu                       |              | 4     |                | 15    |
| Méto - Tunnel Gare                           |              | 3     |                | 19    |
| Méto - Rame (Plafonnier)                     |              | 10    |                | 19    |
| Méto - Rame (siège)                          |              | 10    |                | 18    |

| Maxima horaires (en µg/m <sup>3</sup> ) |              |   |                |                               |
|---|--------------|---|----------------|-------------------------------|
|   | Campagne Eté |   | Campagne Hiver |                               |
|   | Analyseurs   | Date  | Analyseurs     | Date                          |
| Rennes - Station urbaine Courtel        | 45           | 29/07 à 7h TU (9h, heure locale)            | 80             | 9/02 à 12h TU (13h, h locale) |
| Rennes - Station trafic Laënnec         | 110          | 29/07 à 9h et 11h TU (11h et 13h, h locale) | 128            | 9/02 à 11h TU (12h, h locale) |
| Méto - Station République               | 73           | 3/08 à 4h TU (6h, h locale)                 | 95             | 8/02 à 20h TU (21h, h locale) |
| Méto - Station Triangle                 | 61           | 5/08 à 4h TU (6h, h locale)                 | 84             | 8/02 à 4h TU (5h, h locale)   |

*Remarque : Les mesures des tubes à diffusion ne sont pas standardisées à 20°C et 1013 hPa, à la différence des analyseurs.*

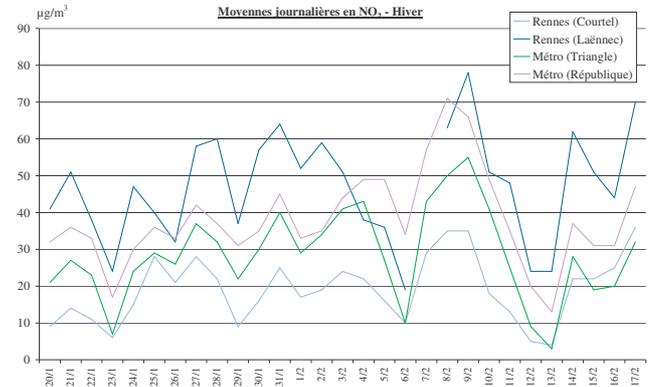
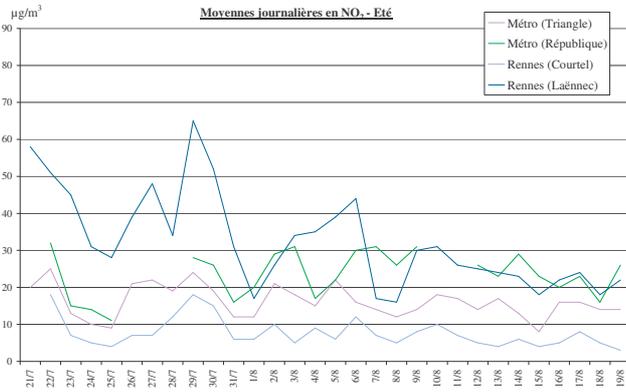
Les concentrations en dioxyde d'azote sont plus élevées en hiver qu'en été, que ce soit à l'extérieur (au niveau des stations de mesure rennaises), ou dans le méto (hormis dans les stations aériennes Pontchaillou et Poterie).



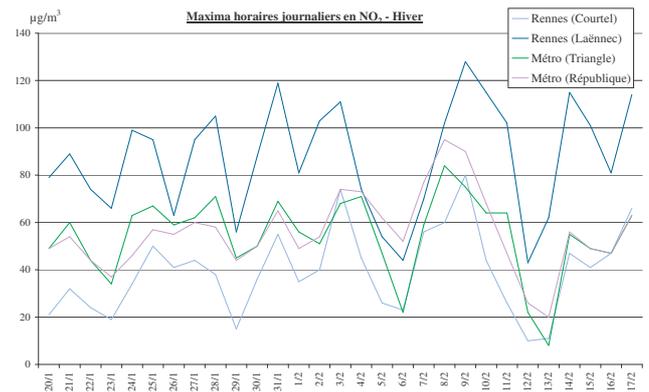
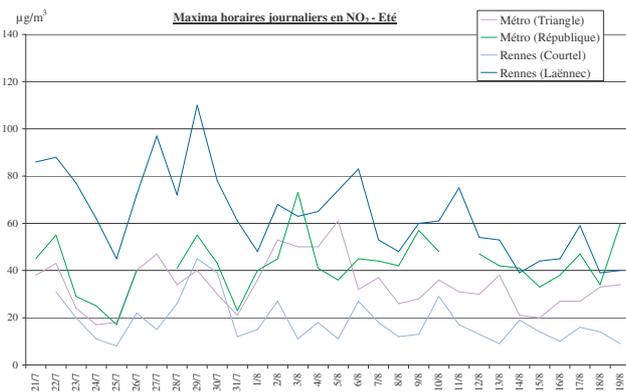
Les niveaux mesurés dans la station profonde République sont supérieurs à ceux de la station semi-profonde Triangle, eux-mêmes supérieurs aux concentrations mesurées dans les stations aériennes Pontchaillou et Poterie.

Les stations de métro Triangle et République présentent des concentrations comprises entre les niveaux du site trafic Laënnec et du site urbain Courtel, que ce soit pour les moyennes journalières ou les maxima horaires journaliers :

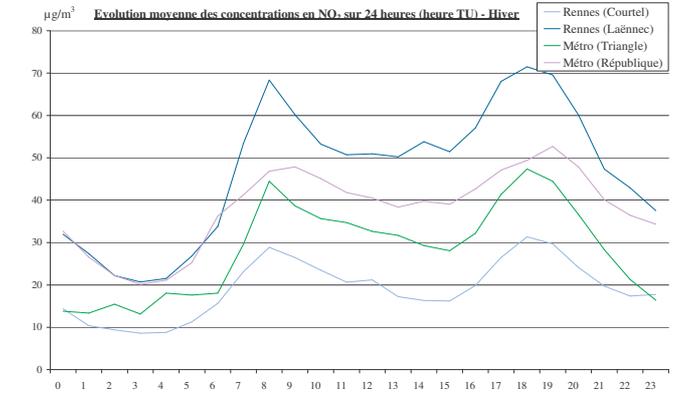
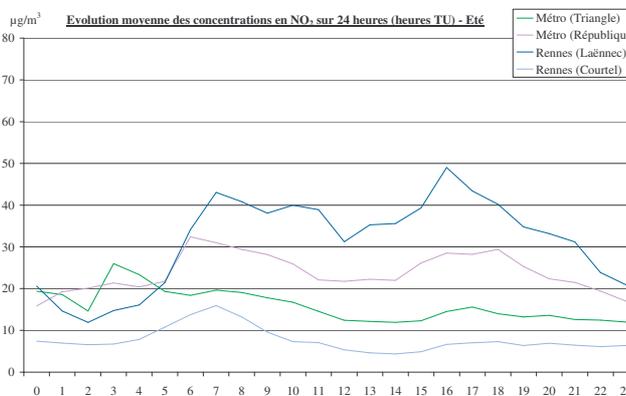
## Moyennes journalières



## Maxima horaires journaliers



Le profil journalier du dioxyde d'azote dans les stations profonde et semi-profonde du métro, République et Triangle, se rapproche de celui des stations de mesure fixes de Rennes Métropole (compris entre celui d'une station urbaine et celui d'une station trafic), avec des pics correspondant aux heures de pointe de trafic.



Les concentrations mesurées dans le métro respectent toutes l'objectif de qualité annuel de 40 µg/m<sup>3</sup> dans l'air ambiant, et à fortiori, la valeur limite professionnelle beaucoup plus élevée (6 mg/m<sup>3</sup> sur 15 minutes).

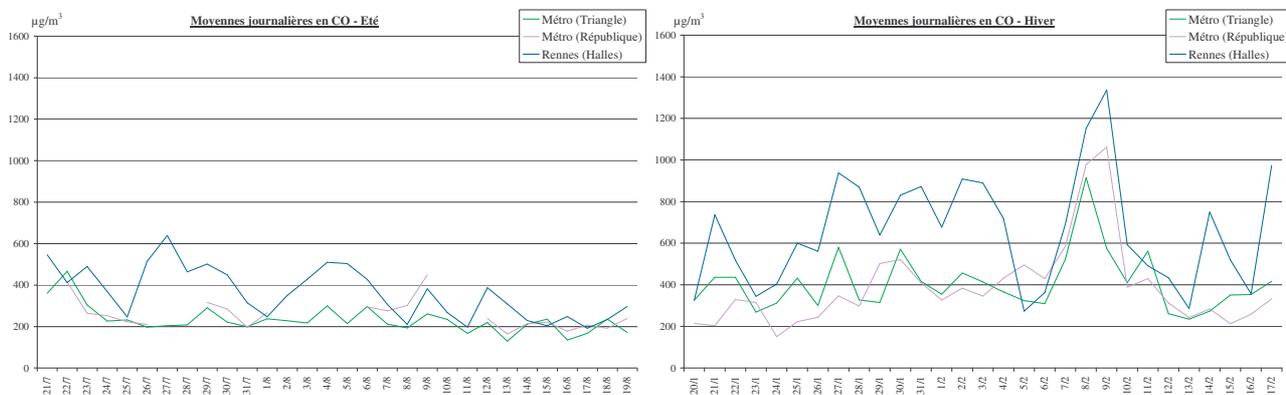
## VI.2. LE CO

| Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |              |                                |                |                               |
|--|--------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|
|  | Campagne Eté |                                | Campagne Hiver |                               |
|  | Analyseurs   |                                |                |                               |
| Rennes - Station trafic des Halles                   | 364          |                                | 657            |                               |
| Métro - Station République                           | 256          |                                | 388            |                               |
| Métro - Station Triangle                             | 231          |                                | 381            |                               |
| Maxima horaires (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )       |              |                                |                |                               |
|  | Campagne Eté |                                | Campagne Hiver |                               |
|  | Analyseurs   | Date                           | Analyseurs     | Date                          |
| Rennes - Station trafic des Halles                   | 1512         | 27/07 à 7h TU (9h, h locale)   | 3501           | 9/02 à 9h TU (10h, h locale)  |
| Métro - Station République                           | 1030         | 19/08 à 1h TU (3h, h locale)   | 2350           | 9/02 à 10h TU (11h, h locale) |
| Métro - Station Triangle                             | 654          | 22/07 à 17h TU (19h, h locale) | 2126           | 8/02 à 8h TU (9h, h locale)   |

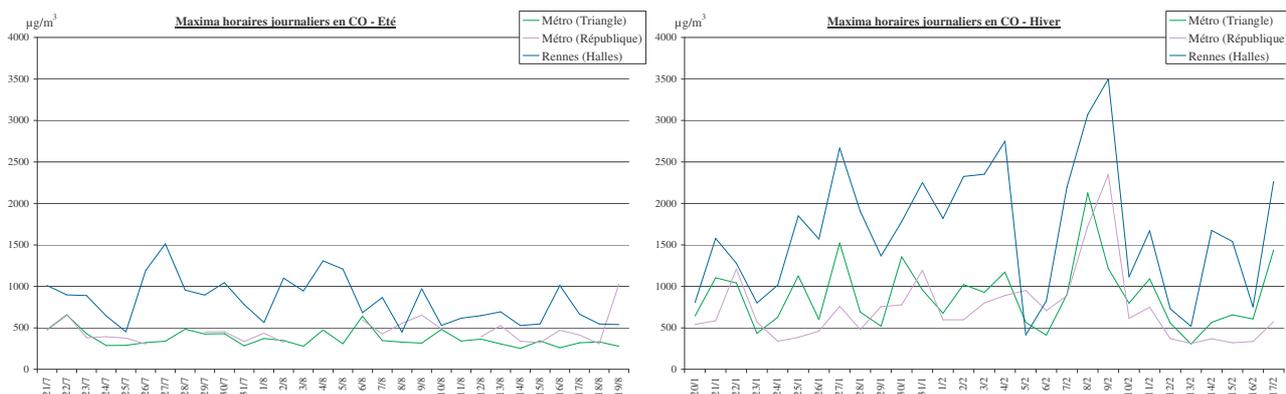
Les concentrations en CO sont plus élevées en hiver qu'en été, comme pour le dioxyde d'azote, que ce soit dans le métro ou sur le site trafic.

Les concentrations mesurées dans le métro sont plus faibles que celles du site trafic des Halles, que ce soit pour les niveaux moyens, ou les maxima horaires journaliers :

### Moyennes journalières

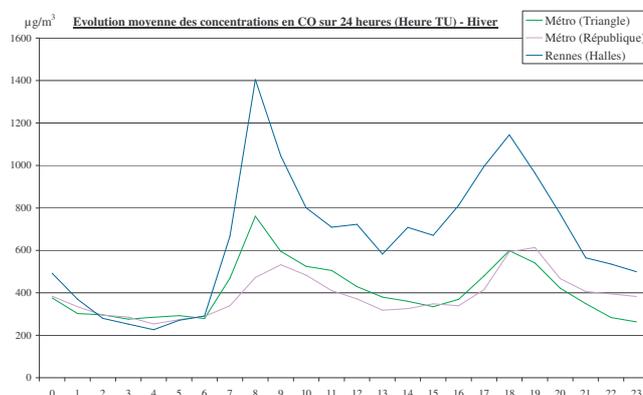
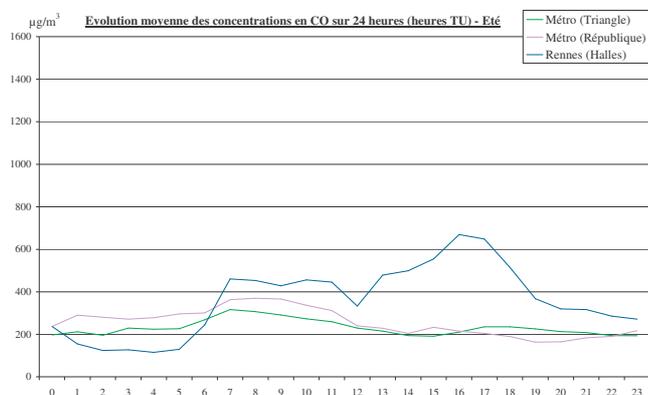


### Maxima horaires journaliers



L'évolution moyenne des concentrations en monoxyde de carbone sur 24 heures présente une amplitude plus faible dans les stations de métro République et Triangle que sur le site trafic des Halles.

En été, les concentrations sont plus élevées le matin dans les stations du métro. En hiver, les heures de pointe du début et de la fin de journée sont observées.



Les valeurs de référence sont largement respectées.

**VI.3. LES BTEX**

Remarque : Les mesures des tubes à diffusion ne sont pas standardisées à 20°C et 1013 hPa.

| Benzène (µg/m <sup>3</sup> ) |         | Date              | Station République | Station Triangle | Station Pontchaillou | Station Poterie | Tunnel Quineleu | Tunnel gare | Rame plafonnier | Rame siège |
|------------------------------|---------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|
| Eté 04                       | Série 1 | du 21/07 au 28/07 | 0,6                | 0,9              | 0,5                  | 0,9             | 0,8             | 0,9         | 0,6             | 0,6        |
|                              | Série 2 | du 28/07 au 04/08 | 0,6                | 0,7              | 0,5                  | 0,7             | 0,7             | 1,0         | 0,7             | 0,6        |
|                              | Série 3 | du 04/08 au 11/08 | 0,8                | 1,0              | 0,5                  | 0,8             | 0,9             | 1,1         | 0,8             | 0,8        |
|                              | Série 4 | du 11/08 au 18/08 | 0,7                | 0,8              | 0,3                  | 0,6             | 1,0             | 1,0         | 0,6             | 0,6        |
| Hiver 05                     | Série 1 | du 20/01 au 27/01 | 1,2                | 1,6              | 1,0                  | 1,0             | 1,0             | 1,3         | 1,3             | 0,1        |
|                              | Série 2 | du 27/01 au 03/02 | 1,1                | 1,9              | 1,0                  | 1,2             | 1,4             | 1,5         | 1,0             | 1,0        |
|                              | Série 3 | du 03/02 au 10/02 | 2,3                | 2,6              | 1,8                  | 2,6             | 2,3             | 2,1         | 2,1             | 2,1        |
|                              | Série 4 | du 10/02 au 17/02 | 1,2                | 1,6              | 1,0                  | 1,0             | 1,2             | 1,5         | 1,0             | 1,2        |
| <b>Moyennes</b>              |         |                   | <b>1,1</b>         | <b>1,4</b>       | <b>0,8</b>           | <b>1,1</b>      | <b>1,2</b>      | <b>1,3</b>  | <b>1,0</b>      | <b>0,9</b> |

| Toluène (µg/m <sup>3</sup> ) |         | Date              | Station République | Station Triangle | Station Pontchaillou | Station Poterie | Tunnel Quineleu | Tunnel gare | Rame plafonnier | Rame siège |
|------------------------------|---------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|
| Eté 04                       | Série 1 | du 21/07 au 28/07 | 3,9                | 5,5              | 2,1                  | 5,3             | 6,2             | 7,5         | 4,3             | 4,1        |
|                              | Série 2 | du 28/07 au 04/08 | 3,9                | 4,9              | 2,2                  | 3,8             | 6,8             | 8,3         | 4,6             | 4,4        |
|                              | Série 3 | du 04/08 au 11/08 | 4,5                | 5,0              | 2,6                  | 3,5             | 6,0             | 8,2         | 4,5             | 4,7        |
|                              | Série 4 | du 11/08 au 18/08 | 4,3                | 3,5              | 1,4                  | 2,3             | 4,9             | 6,4         | 3,6             | 3,7        |
| Hiver 05                     | Série 1 | du 20/01 au 27/01 | 3,1                | 5,1              | 1,7                  | 1,9             | 2,4             | 4,1         | 3,3             | 0,1        |
|                              | Série 2 | du 27/01 au 03/02 | 3,5                | 7,6              | 4,3                  | 3,5             | 4,4             | 5,3         | 3,5             | 3,7        |
|                              | Série 3 | du 03/02 au 10/02 | 8,1                | 9,2              | 5,1                  | 8,3             | 7,1             | 7,0         | 6,4             | 6,8        |
|                              | Série 4 | du 10/02 au 17/02 | 3,6                | 4,8              | 1,3                  | 1,9             | 3,5             | 4,3         | 2,7             | 3,0        |
| <b>Moyennes</b>              |         |                   | <b>4,4</b>         | <b>5,7</b>       | <b>2,6</b>           | <b>3,8</b>      | <b>5,2</b>      | <b>6,4</b>  | <b>4,1</b>      | <b>3,8</b> |

| Ethylbenzène (µg/m <sup>3</sup> ) |         | Date              | Station République | Station Triangle | Station Pontchaillou | Station Poterie | Tunnel Quineleu | Tunnel gare | Rame plafonnier | Rame siège |
|-----------------------------------|---------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|
| Eté 04                            | Série 1 | du 21/07 au 28/07 | 0,9                | 1,5              | 0,5                  | 0,8             | 2,3             | 2,7         | 2,1             | 2,2        |
|                                   | Série 2 | du 28/07 au 04/08 | 0,8                | 1,2              | 0,6                  | 0,8             | 1,5             | 1,2         | 1,4             | 1,5        |
|                                   | Série 3 | du 04/08 au 11/08 | 0,7                | 1,0              | 0,3                  | 0,6             | 0,8             | 0,9         | 1,2             | 1,4        |
|                                   | Série 4 | du 11/08 au 18/08 | 0,7                | 0,6              | 0,1                  | 0,3             | 0,6             | 0,8         | 0,9             | 1,1        |
| Hiver 05                          | Série 1 | du 20/01 au 27/01 | 0,7                | 1,0              | 0,4                  | 0,4             | 0,5             | 0,6         | 0,8             | 0,1        |
|                                   | Série 2 | du 27/01 au 03/02 | 0,7                | 1,3              | 0,8                  | 0,7             | 0,8             | 0,8         | 1,2             | 1,3        |
|                                   | Série 3 | du 03/02 au 10/02 | 1,4                | 1,9              | 1,0                  | 1,6             | 1,4             | 1,2         | 1,7             | 2,1        |
|                                   | Série 4 | du 10/02 au 17/02 | 0,6                | 1,0              | 0,3                  | 0,4             | 0,6             | 0,6         | 0,6             | 0,7        |
| <b>Moyennes</b>                   |         |                   | <b>0,8</b>         | <b>1,2</b>       | <b>0,5</b>           | <b>0,7</b>      | <b>1,0</b>      | <b>1,1</b>  | <b>1,2</b>      | <b>1,3</b> |

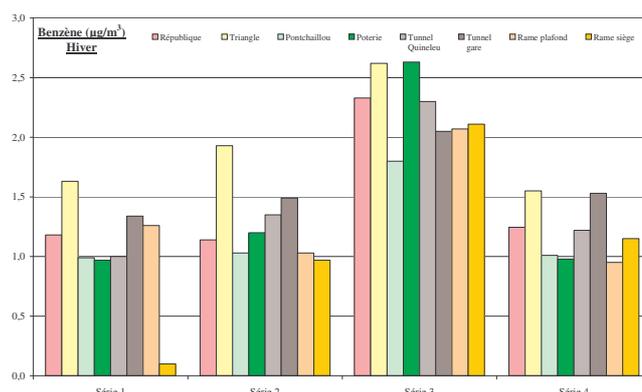
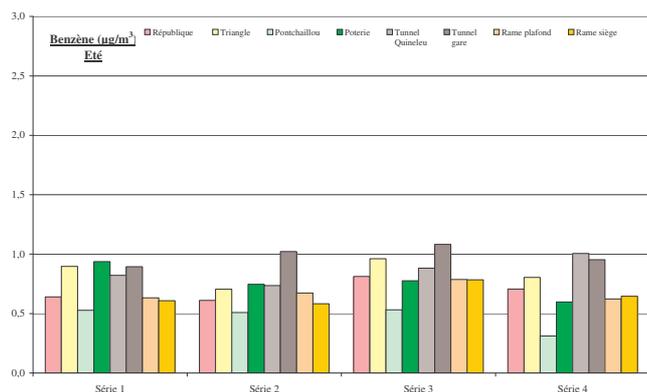
| Xylènes (µg/m <sup>3</sup> ) |         | Date              | Station République | Station Triangle | Station Pontchaillou | Station Poterie | Tunnel Quineleu | Tunnel gare | Rame plafonnier | Rame siège |
|------------------------------|---------|-------------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|
| Eté 04                       | Série 1 | du 21/07 au 28/07 | 4,8                | 3,4              | 1,1                  | 2,0             | 5,9             | 6,7         | 5,3             | 5,6        |
|                              | Série 2 | du 28/07 au 04/08 | 4,2                | 3,1              | 1,4                  | 2,4             | 3,7             | 3,0         | 3,9             | 3,7        |
|                              | Série 3 | du 04/08 au 11/08 | 3,3                | 2,1              | 0,9                  | 1,5             | 2,1             | 2,1         | 2,9             | 3,5        |
|                              | Série 4 | du 11/08 au 18/08 | 3,2                | 1,5              | 0,4                  | 0,8             | 1,6             | 1,8         | 2,3             | 2,9        |
| Hiver 05                     | Série 1 | du 20/01 au 27/01 | 3,0                | 4,4              | 1,5                  | 1,5             | 2,0             | 2,7         | 3,5             | 0,2        |
|                              | Série 2 | du 27/01 au 03/02 | 2,9                | 6,0              | 3,2                  | 3,0             | 3,9             | 3,8         | 4,6             | 5,2        |
|                              | Série 3 | du 03/02 au 10/02 | 6,6                | 8,7              | 4,3                  | 7,6             | 6,4             | 5,7         | 8,3             | 9,8        |
|                              | Série 4 | du 10/02 au 17/02 | 2,6                | 4,6              | 1,1                  | 1,8             | 2,8             | 2,5         | 2,5             | 2,9        |
| <b>Moyennes</b>              |         |                   | <b>3,8</b>         | <b>4,2</b>       | <b>1,8</b>           | <b>2,6</b>      | <b>3,6</b>      | <b>3,5</b>  | <b>4,1</b>      | <b>4,2</b> |

### VI.3.1. Le benzène

Pendant la campagne estivale, l'objectif de qualité, fixé à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur l'année dans l'air ambiant, a été largement respecté. Les concentrations les plus faibles ont été mesurées à la station de Pontchaillou. Les plus élevées ont été relevées dans le tunnel, à proximité de la gare SNCF.

Les concentrations en benzène sont plus importantes en hiver. La moyenne des concentrations sur l'ensemble des quatre séries hivernales demeure néanmoins inférieure à l'objectif de qualité **annuel**.

La station du Triangle (station semi-profonde) présente les concentrations les plus élevées en hiver (moyenne :  $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la station de Pontchaillou les niveaux les plus faibles ( $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



Pour information, les concentrations moyennes en benzène mesurées dans les agglomérations françaises en 2004 sont généralement comprises entre  $1$  et  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites urbains et entre  $2$  et  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites trafic<sup>1</sup>.

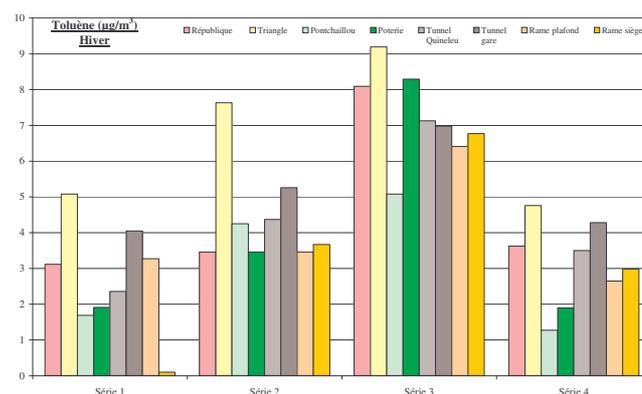
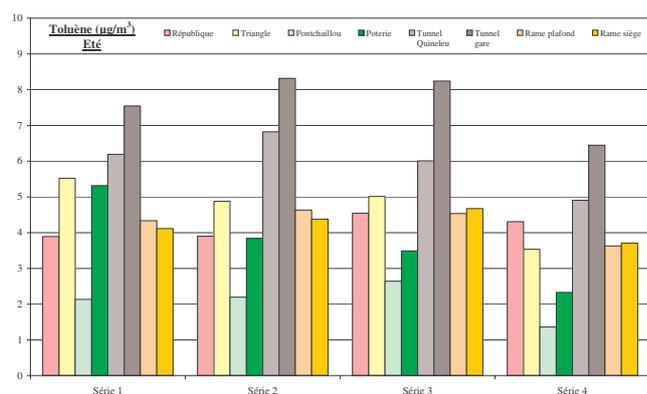
### VI.3.2. Le toluène

Les concentrations en toluène sont du même ordre de grandeur en été et en hiver.

La valeur guide de l'OMS fixée à  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une semaine dans l'air ambiant est largement respectée.

Les concentrations les plus élevées sont observées dans les tunnels en été ( $7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau de la gare), et à la station semi-profonde du Triangle en hiver ( $6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne).

Les concentrations les plus faibles sont principalement mesurées dans les deux stations aériennes Pontchaillou et Poterie.



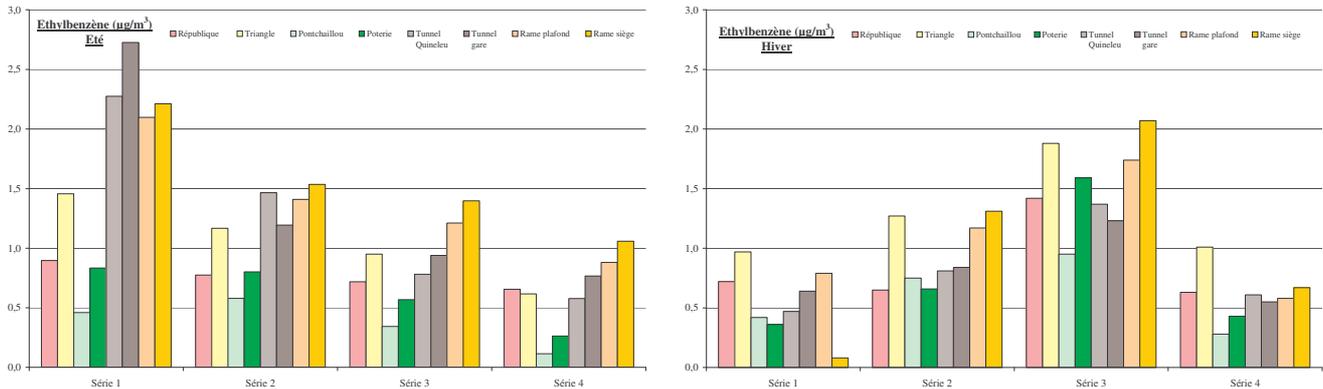
Pour information, les concentrations moyennes en toluène mesurées dans les agglomérations françaises en 2004 sont généralement comprises entre  $3$  et  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites urbains et entre  $6$  et  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites trafic<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Sources : rapports d'activités 2004 d'Air Languedoc Roussillon (Montpellier, Perpignan), Air Normand (Le Havre, Rouen), Air Parif, Air Pays de la Loire (Nantes, Saint-Nazaire, Angers, Cholet, le Mans), ASPA (Strasbourg), ATMO Auvergne (Clermont-Ferrand), ORAMIP (Toulouse)

<sup>2</sup> Sources : rapports d'activités 2004 d'Air Normand (Le Havre, Rouen), Air Parif, Air Pays de la Loire (Nantes, Saint-Nazaire, Angers, Cholet, le Mans), ASPA (Strasbourg), ORAMIP (Toulouse)

### VI.3.3. L'éthylbenzène

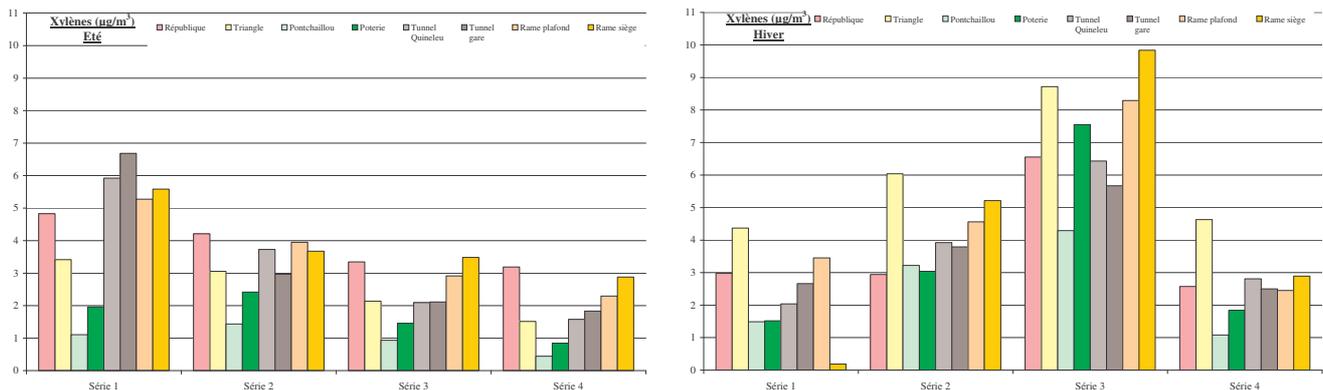
Les différents sites de mesure présentent des concentrations du même ordre de grandeur en été et en hiver. Les niveaux les plus faibles sont observés dans les stations de métro aériennes de Pontchaillou et Poterie. Les concentrations mesurées dans la rame de métro tendent à être parmi les plus élevées. En hiver, la station de métro Triangle présente les concentrations les plus élevées (1,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne).



La valeur guide de l'OMS fixée à 22 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une année dans l'air ambiant est largement respectée. Pour information, les concentrations moyennes en éthylbenzène mesurées dans les agglomérations françaises en 2004 sont généralement comprises entre 1 et 1,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites urbains et entre 2 et 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites trafic<sup>3</sup>.

### VI.3.4. Les xylènes

Les séries estivale et hivernale présentent des concentrations en xylènes du même ordre de grandeur. Les concentrations les plus faibles sont mesurées dans les stations aériennes, à Pontchaillou et à la Poterie. En été, les niveaux les plus élevés sont observés dans la rame du métro et à la station République (3,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne). En hiver, la station de métro Triangle présente les concentrations les plus élevées (4,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne).



La valeur guide de l'OMS fixée à 4 800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 24 heures dans l'air ambiant est largement respectée. Pour information, les concentrations moyennes en xylènes mesurées dans les agglomérations françaises en 2004 sont généralement comprises entre 3 et 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites urbains et entre 7 et 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les sites trafic<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Sources : rapports d'activités 2004 d'Air Normand (Le Havre, Rouen), Air Parif, Air Pays de la Loire (Nantes, Saint-Nazaire, Angers, Cholet, le Mans)

<sup>4</sup> Sources : rapports d'activités 2004 d'Air Normand (Le Havre, Rouen), Air Parif, Air Pays de la Loire (Nantes, Saint-Nazaire, Angers, Cholet, le Mans), ASPA (Strasbourg), ORAMIP (Toulouse)

**VI.4. LES PM10**

Pendant la campagne estivale de 2004, les PM10 ont été mesurées à la station de métro Triangle et dans le tunnel du métro, à Quineleu. A Rennes, les poussières n'étaient alors mesurées que sur la station trafic Laënnec. Les résultats obtenus dans le métro n'ont donc pu être comparés qu'à ceux de cette station trafic.

Cette première campagne a révélé dans le métro des niveaux en PM10 élevés, nettement supérieurs aux concentrations mesurées dans les agglomérations bretonnes, que ce soit sur les stations trafic ou urbaines. En raison de ces résultats, l'analyseur de poussières initialement installé dans le tunnel du métro à Quineleu a été déplacé à la station République pour la campagne hivernale janvier/février 2005, afin de mieux prendre en compte l'exposition des usagers.

A la différence de la campagne estivale, les résultats de la campagne hivernale ont pu être comparés à ceux de la station trafic Laënnec et de la station urbaine Triangle, les poussières étant mesurées à Triangle depuis décembre 2004.

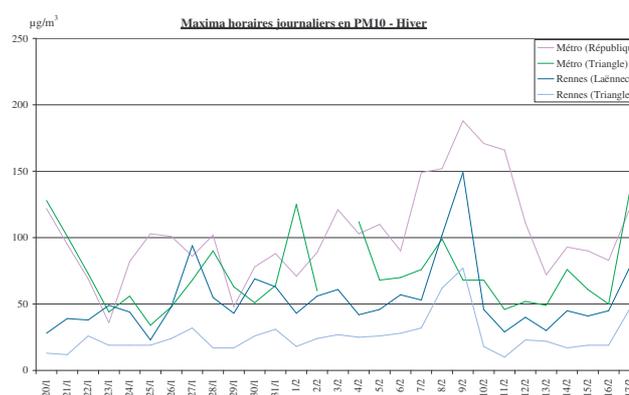
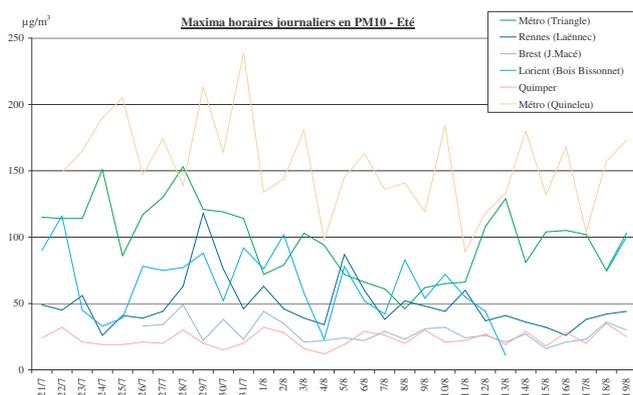
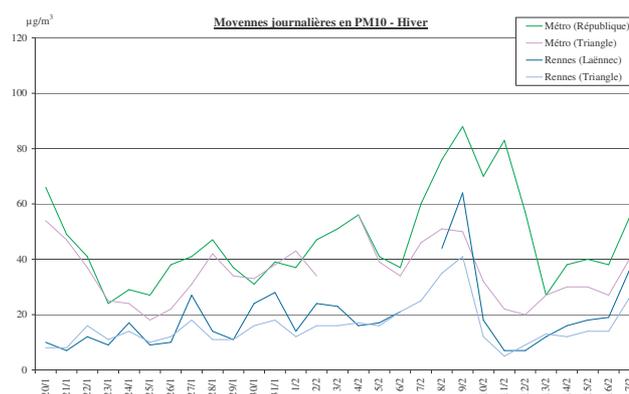
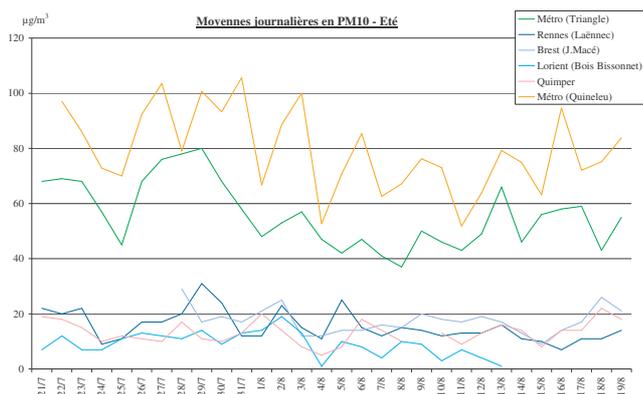
| Concentrations moyennes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )         |               |                                    |                |                                   |
|--|---------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
|  | Campagne Eté  |                                    | Campagne Hiver |                                   |
|  | Analyseurs    |                                    | Analyseurs     |                                   |
| Rennes - Station trafic Laënnec                              | 15            |                                    | 19             |                                   |
| Rennes - Station urbaine Triangle                            |               |                                    | 16             |                                   |
| Métro - Station profonde République                          |               |                                    | 47             |                                   |
| Métro - Station semi-profonde Triangle                       | 56            |                                    | 35             |                                   |
| Métro - Tunnel Quineleu                                      | 82            |                                    |                |                                   |
| Maxima horaires (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )               |               |                                    |                |                                   |
|  | Campagne Eté  |                                    | Campagne Hiver |                                   |
|  | Analyseurs    | Date                               | Analyseurs     | Date                              |
| Rennes - Station trafic Laënnec                              | 118           | 29/07 à 15h TU (17h, h locale)     | 149            | 9/02 à 12h TU (13h, h locale)     |
| Rennes - Station urbaine Triangle                            |               |                                    | 77             | 9/02 à 11h TU (12h, h locale)     |
| Métro - Station profonde République                          |               |                                    | 188            | 9/02 à 18h TU (19h, h locale)     |
| Métro - Station semi-profonde Triangle                       | 153           | 28/07 à 22h TU (0h, h locale)      | 181            | 18/02 à 3h TU (4h, h locale)      |
| Métro - Tunnel Quineleu                                      | 239           | 31/07 à 16h TU (18h, h locale)     |                |                                   |
| Maxima quart horaire (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )          |               |                                    |                |                                   |
|  | Campagne Eté  |                                    | Campagne Hiver |                                   |
|  | Analyseurs    | Date                               | Analyseurs     | Date                              |
| Rennes - Station trafic Laënnec                              | 120           | 29/07 à 14h15 TU (16h15, h locale) | 151            | 9/02 à 11h15 TU (12h15, h locale) |
| Rennes - Station urbaine Triangle                            |               |                                    | 85             | 9/02 à 10h15 TU (11h15, h locale) |
| Métro - Station profonde République                          |               |                                    | 278            | 10/02 à 0h30 TU (1h30, h locale)  |
| Métro - Station semi-profonde Triangle                       | 173           | 28/07 à 21h TU (23h, h locale)     | 514            | 8/02 à 3h TU (4h, h locale)       |
| Métro - Tunnel Quineleu                                      | Non déterminé |                                    |                |                                   |
| P90 des moyennes journalières (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |               |                                    |                |                                   |
| Rennes - Station trafic Laënnec                              | 23            |                                    | 30             |                                   |
| Rennes - Station urbaine Triangle                            |               |                                    | 25             |                                   |
| Métro - Station profonde République                          |               |                                    | 71             |                                   |
| Métro - Station semi-profonde Triangle                       | 70            |                                    | 50             |                                   |
| Métro - Tunnel Quineleu                                      | 100           |                                    |                |                                   |

Les niveaux en PM10 mesurés dans le métro de Rennes sont comparables aux concentrations relevées dans certaines stations du métro Lyonnais (10) (celles présentant les niveaux les plus bas).

Les niveaux moyens mesurés à la station de métro Triangle sont plus bas en hiver qu'en été (contrairement à la station trafic Laënnec). Les concentrations mesurées dans les stations du métro sont nettement supérieures à celles mesurés au niveau des stations de mesure trafic et urbaine pendant les deux campagnes.

**En été 2004**, la station Triangle a présenté des concentrations 3,7 fois plus élevées que celles de la station trafic Laënnec.

**Pendant la campagne hivernale**, la station de métro Triangle a présenté des niveaux 2,2 fois plus élevés que la station urbaine Triangle et 1,8 fois plus élevés que la station trafic. Les concentrations mesurées à la station République sont 2,9 fois plus élevées que celles de la station urbaine Triangle et 2,5 fois plus importantes que celles du site trafic.



**Pendant la campagne estivale**, les moyennes journalières sont comprises entre 37 et 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle. 16 jours sur 30 (soit 53% des journées) ont présenté des concentrations supérieures ou égales à la valeur limite de 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  applicable en 2004 dans l'air ambiant (valeur à ne pas dépasser plus de 35 jours dans l'année). Ce seuil n'a pas été atteint sur la station trafic Laënnec pendant la campagne.

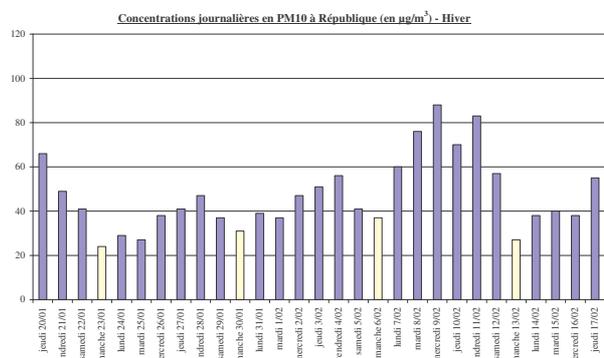
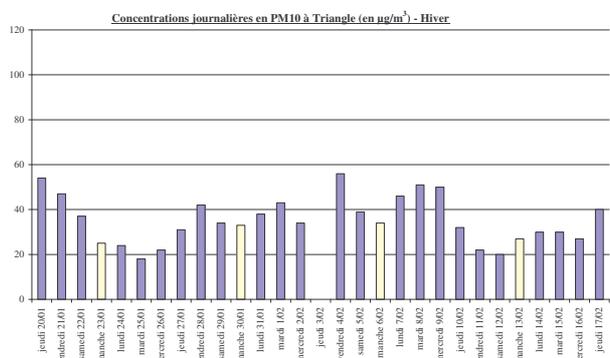
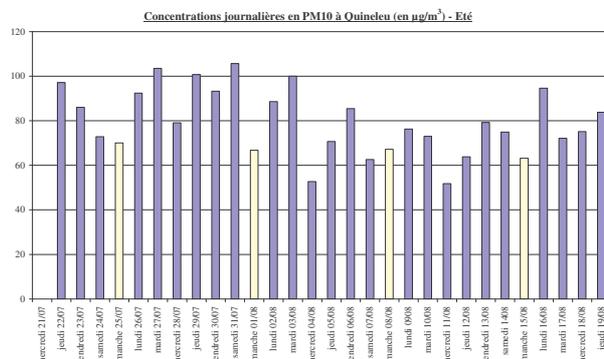
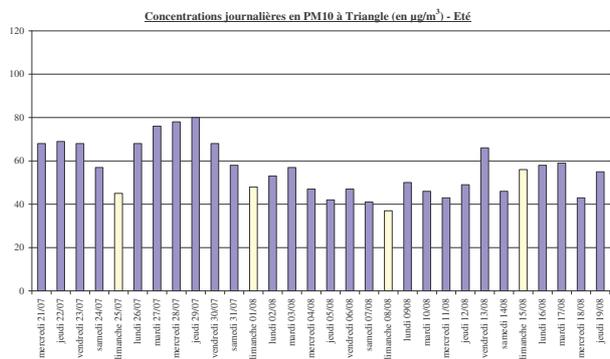
En 2005, cette valeur limite journalière a été réduite à 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Pendant la campagne hivernale**, les moyennes journalières sont comprises entre 18 et 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle et entre 24 et 88  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro République. La valeur limite journalière de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans l'air ambiant a été dépassée 3 jours sur 29 à la station de métro Triangle (soit 10% des journées) et 10 jours à la station de métro République (34% des journées). A noter que cette valeur avait été dépassée 1 journée à la station trafic Laënnec (64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  le 9 février 2005) et pas une seule fois à la station urbaine Triangle.

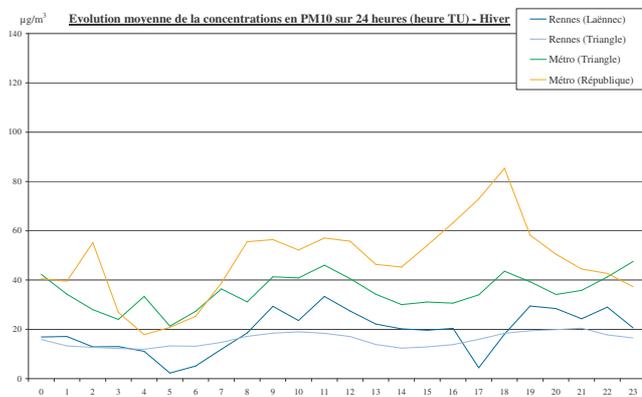
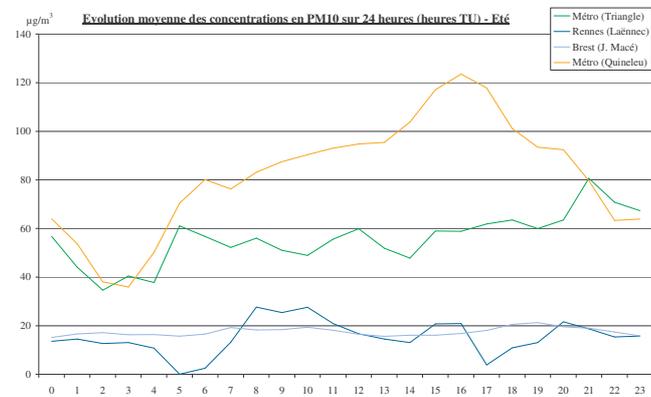
Cependant, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France estime que cette valeur limite relative à l'air ambiant n'est pas directement applicable aux enceintes ferroviaires souterraines (voir page 9). La valeur limite qui serait applicable dans le métro rennais (prenant en compte le temps de séjour dans le métro, selon le mode de calcul défini en page 10) n'a pas été dépassée pendant les campagnes.

|   | ETE 2004   |          |            |          | HIVER 2005 |          |            |          |
|---|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
|   | ¼ d'heure  |          | Heure      |          | ¼ d'heure  |          | Heure      |          |
| Valeur limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                  | 2430       |          | 630        |          | 1950       |          | 510        |          |
| Concentration maximale mesurée ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | République | Triangle | République | Triangle | République | Triangle | République | Triangle |
|   | ---        | 173      | ---        | 153      | 278        | 514      | 188        | 181      |

Les moyennes quotidiennes sont généralement plus faibles le week-end, particulièrement le dimanche :



Dans le métro, les concentrations sont minimales la nuit entre 2 et 4 heures TU l'été (4 h et 6h - heure locale -) et 3 et 6 heures TU l'hiver (soit entre 4 h et 7 heures - heure locale -).



Les mesures réalisées en hiver dans les stations du métro République et Triangle révèlent une hausse sensible des concentrations aux heures de pointes du matin et du soir.

Les heures de pointes sont moins marquées en été qu'en hiver à la station de métro Triangle. Les concentrations tendent à augmenter tout au long de la journée.

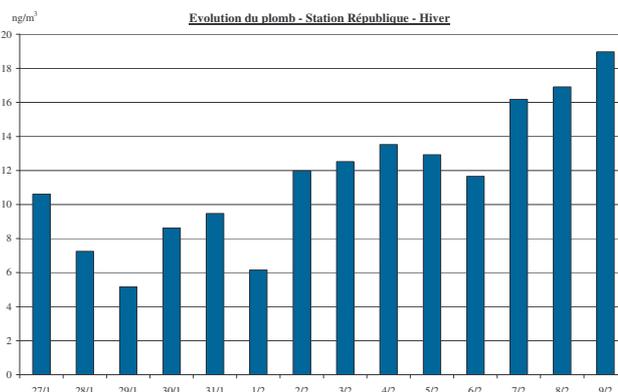
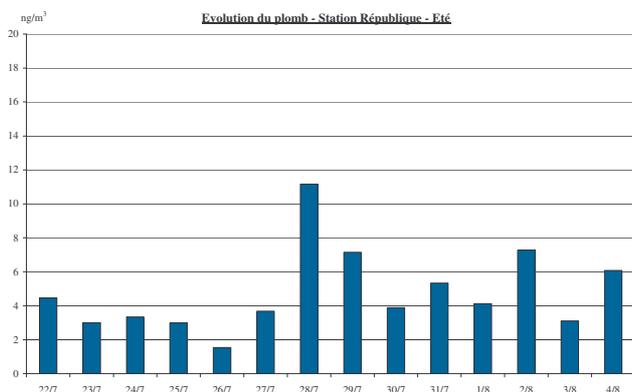
VI.5. LES METAUX LOURDS

| Concentrations journalières en ng/m <sup>3</sup> |                               |         |          |                                  |         |         |
|--|-------------------------------|---------|----------|----------------------------------|---------|---------|
|  | Du 21 juillet au 20 août 2004 |         |          | Du 20 janvier au 17 février 2005 |         |         |
|  | Moyennes                      | Minima  | Maxima   | Moyennes                         | Minima  | Maxima  |
| <b>Cadmium</b>                                   |                               | < 0,4   | < 0,4    |                                  | < 0,4   | 0,9     |
| <b>Chrome</b>                                    | 61,8                          | 27,8    | 118,0    | 28,4                             | 10,5    | 46,4    |
| <b>Fer</b>                                       | 11 350,3                      | 5 923,6 | 19 456,1 | 5 878,2                          | 2 713,7 | 9 432,3 |
| <b>Manganèse</b>                                 | 105,5                         | 55,6    | 187,7    | 55,8                             | 27,5    | 86,7    |
| <b>Nickel</b>                                    | 8,2                           | 5,1     | 13,7     | 5,4                              | 2,8     | 7,8     |
| <b>Plomb</b>                                     | 4,8                           | 1,5     | 11,2     | 11,6                             | 5,2     | 19,0    |

Composé visé par la réglementation française dans l'air ambiant : Le plomb

Les concentrations moyennes journalières en plomb, comprises entre 1,5 et 19,0 ng/m<sup>3</sup>, sont plus élevées en hiver (moyennes : 4,8 ng/m<sup>3</sup> en été et 11,6 ng/m<sup>3</sup> en hiver). Ces valeurs sont nettement inférieures aux valeurs de référence dans l'air ambiant.

Aucune corrélation n'est démontrée entre l'évolution des niveaux et le jour de la semaine.



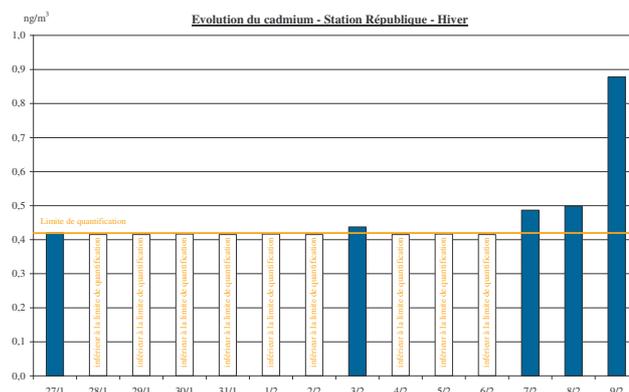
Pour information, en 2004, les concentrations moyennes en plomb mesurées dans les agglomérations françaises étaient comprises entre 0 et 20 ng/m<sup>3</sup> (données AASQA).

Composés visés par l'union européenne et l'OMS dans l'air ambiant : le cadmium et le nickel

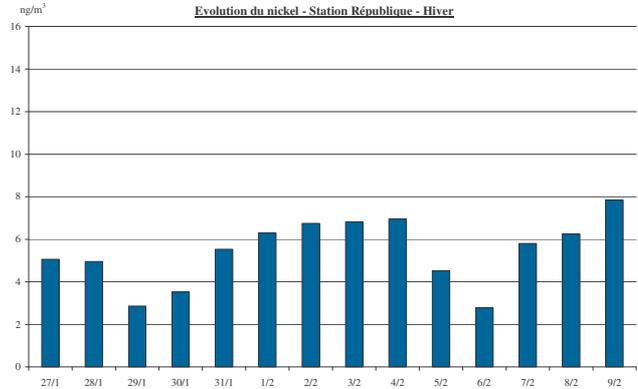
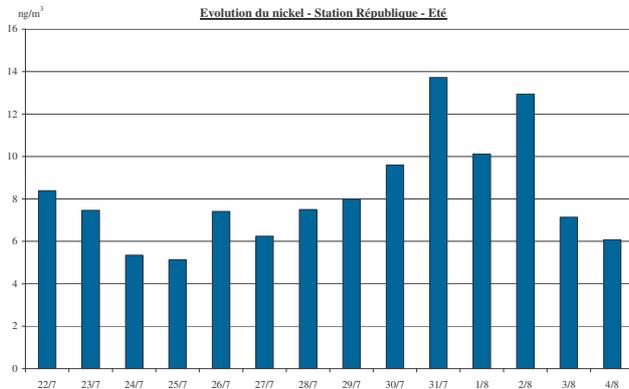
Lors de la campagne estivale, le cadmium a toujours été en dessous du seuil de quantification (concentrations inférieures à 0,4 ng/m<sup>3</sup>).

Lors de la campagne hivernale, il a été quantifié 5 fois, à des concentrations inférieures au ng/m<sup>3</sup>, respectant la valeur cible européenne de 5 ng/m<sup>3</sup> sur un an applicable en 2012.

Pour information, les concentrations moyennes en cadmium mesurées dans les agglomérations françaises en 2004 sont inférieures au ng/m<sup>3</sup> (données AASQA).



Les concentrations journalières en nickel, comprises entre 2,8 et 13,7 ng/m<sup>3</sup>, sont plus élevées en été (moyennes : 8,2 ng/m<sup>3</sup> en été et 5,4 ng/m<sup>3</sup> en hiver). Elles respectent la valeur cible européenne de 20 ng/m<sup>3</sup> sur l'année dans l'air ambiant applicable en 2012.



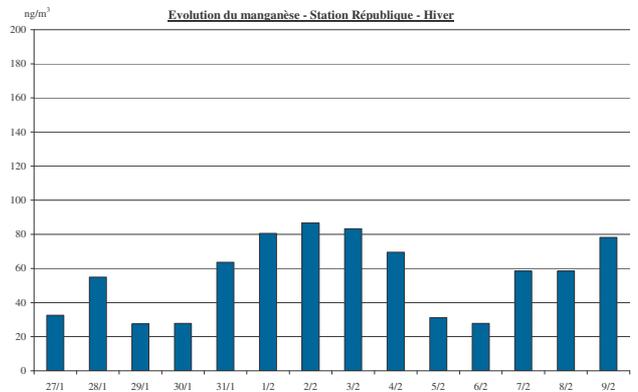
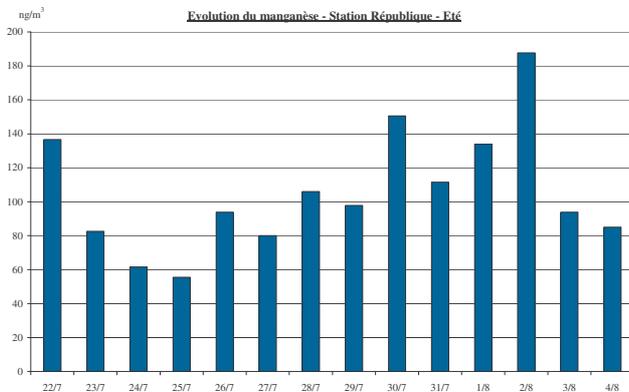
Aucune corrélation n'est démontrée entre l'évolution des niveaux et le jour de la semaine.

Pour information, les niveaux de fond urbain se situent généralement dans une fourchette de 1,4 à 13 ng/m<sup>3</sup> (11).

**Composé visé par l'OMS dans l'air ambiant : le manganèse**

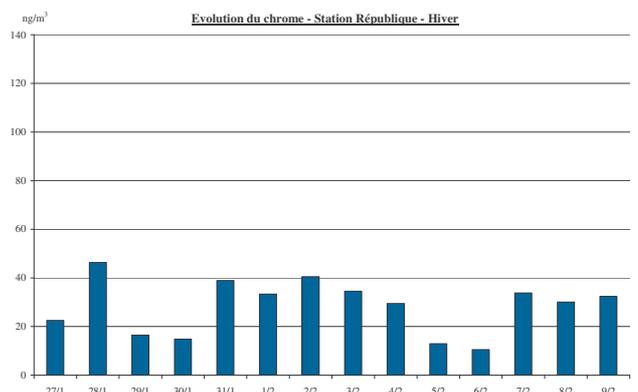
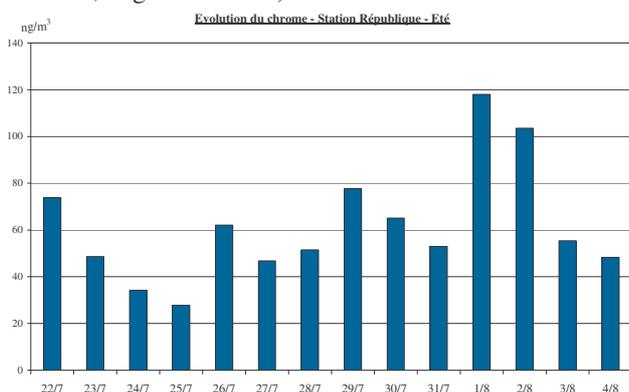
Les concentrations en manganèse sont comprises entre 27,5 et 187,7 ng/m<sup>3</sup>. Elles sont plus élevées en été (moyennes : 105,5 ng/m<sup>3</sup> en été et 55,8 ng/m<sup>3</sup> en hiver). La valeur guide de l'OMS fixée à 150 ng/m<sup>3</sup> sur l'année dans l'air ambiant est respectée sur la période d'étude.

Les niveaux ambiants dans les secteurs urbains sans pollution significative au manganèse s'échelonnent généralement de 10 à 70 ng/m<sup>3</sup> (12). Aucune corrélation n'est démontrée entre l'évolution des niveaux et le jour de la semaine.



**Composés non visés par la réglementation dans l'air ambiant : le chrome et le fer**

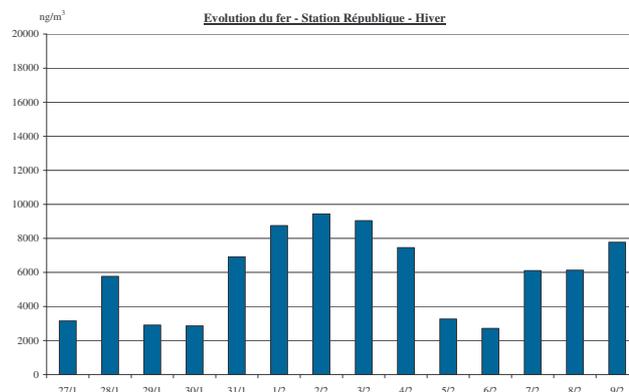
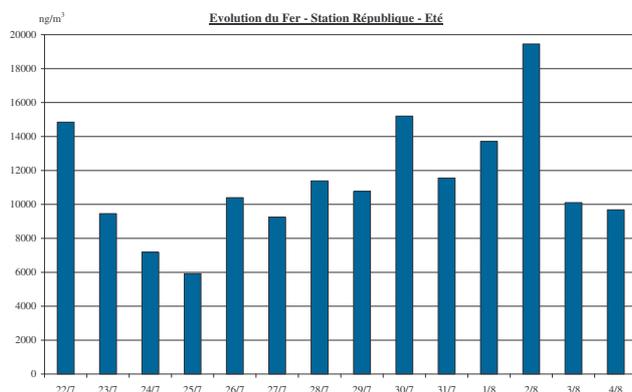
Les concentrations en chrome, comprises entre 10,5 et 118 ng/m<sup>3</sup>, sont plus élevées en été (moyenne : 61,8 ng/m<sup>3</sup> en été et 28,4 ng/m<sup>3</sup> en hiver).



Aucune corrélation n'est démontrée entre l'évolution des niveaux et le jour de la semaine.

Les concentrations en chrome sont généralement comprises entre 4 et 70 ng/m<sup>3</sup> dans les zones urbaines (12).

Les concentrations en fer sont comprises entre 2,7 et 19,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (moyennes : 11,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en été et 5,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en hiver).



## VII. CONCLUSION

- Ce premier état des lieux de la qualité de l'air dans le métro rennais a révélé **des niveaux en dioxyde d'azote** compris entre ceux mesurés sur une station de mesure trafic et une station de mesure urbaine. Les valeurs de référence sont respectées dans le métro pendant la campagne.
- **Les concentrations en monoxyde de carbone** sont quant à elles inférieures à celles mesurées sur les stations de mesure trafic. Les valeurs de référence sont respectées.
- **Les niveaux en BTEX** respectent les valeurs de référence quand elles existent.
- La station de métro Triangle présente des concentrations **en PM10** supérieures à la station trafic Laënnec (3,7 fois plus élevées pendant la campagne estivale 2004, 1,8 fois plus élevées en hiver 2005) et à la station urbaine Triangle (2,2 fois plus élevées en hiver 2005). Les niveaux mesurés à la station de métro République en hiver 2005 (seules données disponibles) sont quant à eux 2,9 fois plus élevés que ceux de la station urbaine Triangle et 2,5 fois plus importants que ceux du site trafic Laënnec.

Selon le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, la valeur limite journalière de PM10 dans l'air ambiant (fixée à 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2005) n'est pas directement applicable aux enceintes ferroviaires souterraines, le temps passé par un citoyen dans ces enceintes ne représentant qu'une fraction de sa journée (4). La valeur limite applicable au métro de Rennes n'a pu être définie à ce jour, en raison de l'absence de mesures sur un an de la station urbaine Triangle (nécessaires à la détermination du percentile 90 rentrant dans le calcul de cette valeur).

A titre informatif, une valeur limite a néanmoins été calculée sur la base du percentile 90 de la station trafic Laënnec (*valeur limite plus stricte que la valeur limite réellement applicable, en raison de la prise en compte du P90 de la station trafic plus élevé que celui d'une station urbaine*).

Cette valeur limite, variant selon le temps de séjour dans le métro, serait respectée pendant la campagne.

**La valeur limite réellement applicable dans le métro rennais pourra être calculée conformément au mode de calcul défini par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France à la fin de l'année (Déc.2005).**

- Les concentrations en **métaux lourds** respectent les seuils de référence quand il y en a.

## RESUME DE L'ETUDE

Une étude de la qualité de l'air a été réalisée par Air Breizh dans le métro de Rennes, à la demande de Rennes Métropole, suite à la circulaire n° 2003-314 du 30 juin 2003 demandant notamment aux exploitants de transports collectifs ferroviaires souterrains de Paris, Lyon, Marseille, Toulouse, Lille, Rennes, Rouen et bientôt Clermont-Ferrand de définir un plan de surveillance de la qualité de l'air visant à connaître l'exposition aux polluants atmosphériques des usagers.

Des campagnes de mesure ont été menées du 21 juillet au 19 août 2004 et du 20 janvier au 17 février 2005, dans différentes stations du métro, ainsi que dans le tunnel et dans une rame du métro.

Ont fait l'objet de mesures : le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone, les PM10, les BTEX, ainsi que six métaux lourds (cadmium, chrome, fer, manganèse, nickel et plomb). Une attention particulière a été portée sur les particules, les études précédemment menées dans les enceintes ferroviaires souterraines d'autres agglomérations comme Paris et Lyon ayant révélé des niveaux élevés.

- **Le dioxyde d'azote** a été mesuré en continu dans les stations République (station profonde) et Triangle (semi-profonde). Des tubes à diffusion passive ont également été installés (4 séries d'une semaine en été et 4 séries d'une semaine en hiver) dans ces deux stations, ainsi que dans les stations aériennes de la Poterie et de Pontchaillou, le tunnel (au niveau de Quineleu et de la gare), et une rame de métro (sous un siège et dans le plafonnier).

Les concentrations mesurées dans le métro sont comprises entre les niveaux d'une station urbaine et ceux d'une station trafic. **Pendant la campagne estivale**, alors que la **concentration moyenne** est égale à  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic Laënnec et  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station urbaine Courtel, elle est de  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro République et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle. **Pendant la campagne hivernale**, les **concentrations moyennes** sont de  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic Laënnec,  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station urbaine Courtel, et respectivement de 38 et  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les stations de métro République et Triangle. Les niveaux les plus élevés sont observés aux heures de pointe, que ce soit dans le métro ou dans l'air ambiant. **La concentration horaire maximale** mesurée dans le métro est égale à  $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (en hiver, à la station République). Elle est de  $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic Laënnec et  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station urbaine Courtel pendant la campagne. **Les valeurs de référence dans l'air ambiant ont été respectées.**

- **Le monoxyde de carbone**, mesuré en continu dans les stations de métro République et Triangle, présente des niveaux moins élevés que les stations trafic rennaises. **Pendant la campagne estivale**, la **concentration moyenne** est égale à  $364 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic des Halles,  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro République et  $231 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle. **Pendant la campagne hivernale**, les **concentrations moyennes** sont de  $657 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic des Halles, et respectivement de 388 et  $381 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les stations de métro République et Triangle. **La concentration horaire maximale** mesurée dans le métro est égale à  $2350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (en hiver, à la station République). Elle est de  $3501 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic des Halles sur la même période. **Les valeurs de référence dans l'air ambiant sont respectées pendant la campagne.**

- **Les BTEX** ont été mesurés par tube à diffusion (4 séries d'une semaine en été et 4 séries d'une semaine en hiver) dans les stations de métro République, Triangle, Poterie et Pontchaillou, ainsi que dans le tunnel (au niveau de Quineleu et de la gare) et dans une rame de métro (sous un siège et dans le plafonnier). La station de métro présentant les niveaux les plus élevés est la station semi-profonde Triangle. Les stations aériennes Pontchaillou et Poterie présentent les niveaux les plus bas.

La station de métro présentant les concentrations les plus élevées en **benzène** est la station Triangle ( $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne), **inférieures à l'objectif de qualité fixé à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur l'année dans l'air ambiant**). La station aérienne Pontchaillou présente les niveaux les plus bas ( $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne).

Les concentrations les plus élevées en **toluène** sont observées dans le tunnel, au niveau de la gare ( $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne). La station de métro présentant les concentrations les plus fortes est la station Triangle ( $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne). Les deux stations aériennes Pontchaillou et Poterie présentent les niveaux les plus bas (respectivement 2,6 et  $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne). Ces niveaux sont faibles par rapport à la valeur guide de l'OMS fixée à  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une semaine.

Les concentrations en **éthylbenzène** mesurées dans la rame du métro sont parmi les plus élevées (moyenne :  $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sous le siège). La station de métro présentant les niveaux les plus élevés est Triangle (moyenne :  $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Les stations aériennes Pontchaillou et Poterie présentent les niveaux les plus bas (respectivement 0,5 et  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ces valeurs sont nettement inférieures à la préconisation de l'OMS ( $22\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur l'année).

Les concentrations en **xylènes** sont maximales dans la station de métro Triangle ( $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne) et dans la rame du métro ( $4,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sous le siège). Les stations aériennes Pontchaillou et Poterie présentent les niveaux les plus bas (respectivement 1,8 et  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

- Pendant la campagne estivale, **les PM10** ont été mesurées en continu à la station de métro Triangle et dans le tunnel (à Quineleu). A Rennes, les poussières n'étaient alors mesurées que sur la station trafic Laënnec. Cette première campagne a révélé des niveaux élevés en PM10 dans le métro, nettement supérieurs aux concentrations mesurées dans les agglomérations bretonnes. En raison de ces premiers résultats, l'analyseur de poussières, initialement installé à Quineleu, a été déplacé à la station de métro République pour la campagne hivernale, afin de mieux prendre en compte l'exposition des usagers. Les résultats de la campagne hivernale ont pu être comparés à ceux de la station trafic Laënnec et de la station urbaine Triangle, les poussières étant désormais mesurées à Triangle depuis décembre 2004.

**Pendant la campagne estivale 2004, la concentration moyenne** en PM10 de la station de métro Triangle est 3,7 fois plus élevée que celle de la station trafic Laënnec. **En hiver 2005**, elle est 1,8 fois plus élevée que celle la station trafic Laënnec et 2,2 fois plus élevée que celle de la station urbaine Triangle.

De même, le niveau moyen mesuré à la station République en hiver 2005 est 2,5 fois plus élevé que celui de la station trafic Laënnec et 2,9 fois plus élevé que celui de la station urbaine Triangle.

Les concentrations moyennes mesurées à la station de métro Triangle sont plus basses en hiver qu'en été (contrairement à la station trafic Laënnec).

**Pendant la campagne estivale, La concentration moyenne** est de  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle,  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans le tunnel et  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic Laënnec. **Pendant la campagne hivernale**, elle est de  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro République,  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro Triangle,  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station trafic Laënnec et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station urbaine Triangle.

Sur les deux campagnes, **les concentrations horaires maximales** mesurées dans les stations du métro sont égales à  $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station de métro République (mesures disponibles seulement en hiver 2005) et  $181 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à la station Triangle (hiver 2005), alors que la station trafic Laënnec présente une concentration maximale de  $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (hiver 2005) et la station urbaine Triangle  $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (mesures disponibles seulement en hiver 2005).

La valeur limite journalière de PM10 dans l'air ambiant (fixée à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2005) n'est pas directement applicable aux enceintes ferroviaires souterraines, selon le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, le temps passé par un citoyen dans ces enceintes ne représentant qu'une fraction de sa journée (4). La valeur limite applicable au métro de Rennes n'a pu être définie à ce jour, en raison de l'absence de mesures sur un an de la station urbaine Triangle (nécessaires à la détermination du percentile 90 rentrant dans le calcul de cette valeur). Pour information, une valeur limite a néanmoins été calculée dans ce rapport sur la base du percentile 90 de la station trafic Laënnec. Cette valeur s'avère plus stricte que la valeur réellement applicable dans le métro rennais, en raison de la prise en compte du P90 d'une station trafic plus élevé que celui d'une station urbaine. Cette valeur limite, variant selon le temps de séjour dans le métro, serait respectée pendant la campagne. **La valeur limite réellement applicable ne pourra être calculée conformément au mode de calcul défini par le CSHPF qu'à la fin de l'année (Déc. 2005).**

- **Six métaux lourds** ont fait l'objet de prélèvements quotidiens : le cadmium, le chrome, le fer, le manganèse, le nickel et le plomb. **Les concentrations mesurées ont respecté les seuils de référence quand ils existent.**

## GLOSSAIRE

|                     |  |
|---------------------|--|
| AASQA               | Association(s) Agréée(s) de Surveillance de la Qualité de l'Air  |
| BTEX                | benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes  |
| CITEPA              | Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique   |
| CO                  | Monoxyde de carbone  |
| CO <sub>2</sub>     | Dioxyde de carbone   |
| COV                 | Composés organiques volatils   |
| CSHPF               | Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France   |
| Hématopoïétique     | Qui dépend de la formation de cellules du sang par la moelle osseuse   |
| Heure TU            | Heure exprimée en Temps Universel  |
| Heure locale        | Heure (TU) + 2 heures en été<br>Heure (TU) + 1 heure en hiver  |
| Incrément de risque | Risque additionnel de développer un cancer (dont le type dépend du composé) au cours d'une vie (soit 70 ans), pour une population hypothétiquement exposée continuellement à une concentration de 1 µg/m <sup>3</sup> du composé considéré dans l'air respiré. Par exemple, une personne exposée continuellement à 1 µg/m <sup>3</sup> de benzène tout au long de sa vie aura $1 + 6 \cdot 10^{-6} = 1.000006$ fois plus de probabilité de développer un cancer qu'une personne non exposée. |
| ICP-MS              | Inductively coupled plasma-mass spectrometry : spectrométrie de masse avec ionisation par plasma à couplage inductif   |
| LCSQA               | Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air   |
| mg/m <sup>3</sup>   | Milligrammes par mètres cube   |
| ng/m <sup>3</sup>   | Nanogramme par mètre cube (10 <sup>-9</sup> g)   |
| NO <sub>2</sub>     | Dioxyde d'azote  |
| NO <sub>x</sub>     | Oxydes d'azote   |
| O <sub>3</sub>      | Ozone  |
| 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  |
| OMS                 | Organisation Mondiale de la Santé  |
| Percentile X        | Valeur respectée par x% des données de la série de statistique considérée  |
| PM <sub>2,5</sub>   | Particule de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm   |
| PM <sub>10</sub>    | Particules de diamètre inférieur ou égal à 10 µm   |
| PRQA                | Plan Régional pour la Qualité de l'Air   |
| SO <sub>2</sub>     | Dioxyde de soufre  |
| Valeur cible        | Concentration dans l'air ambiant fixée dans le but de minimiser les effets nuisibles pour la santé des personnes et l'environnement  |
| Valeur guide        | Objectif de concentration pour la prévention à long terme en matière de santé et de protection de l'environnement  |
| Valeur limite       | Valeur à ne pas dépasser sur l'ensemble du territoire des Etats membres de l'Union Européenne  |
| µg                  | Microgramme = 10 <sup>-6</sup> g   |
| µm                  | Micromètre = 10 <sup>-6</sup> m  |

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) CITEPA, Emissions dans l'air en France, Régions de la métropole, Inventaire départemental France 2000, Fév 2005
- (2) <http://www.oramip.org>
- (3) Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, décembre 2001
- (4) Ministère de la santé et de la protection sociale, Direction Générale de la Santé, Qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines d'Ile de France, dossier de presse, juillet 2003
- (5) <http://mrw.wallonie.be/dgrne/rapports/dppgss/air1997/element.htm>
- (6) Ineris, fiche de données toxicologiques et environnementale
- (7) <http://www.lenntech.com/français/homefr.htm>
- (8) [http://www.notre-planete.info/environnement/polluauto\\_5.php](http://www.notre-planete.info/environnement/polluauto_5.php)
- (9) Circulaire DGS/SD 7 B n° 2003-314 du 30 juin 2003 relative à la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines
- (10) COPARLY, Etude préliminaire de la qualité de l'air dans le métro lyonnais
- (11) Proposition de directive du parlement européen et du conseil concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant
- (12) INERIS, Métaux-mercure, Rapport final, convention 31/2001, décembre 2002