



# Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts

## Etude détaillée dans le parc République à Lyon

*Mesures réalisées en 2009-2010*



Mars 2011

COPARLY fait partie du dispositif français de surveillance et d'information de la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application notamment le décret 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air.

A ce titre, COPARLY est garant de la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

Condition de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur [www.atmo-rhonealpes.org](http://www.atmo-rhonealpes.org), un mois après validation interne.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'association COPARLY. Elles ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'association en termes de « COPARLY (2011) *Qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts – Etude détaillée dans le parc République à Lyon* ».
- COPARLY n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant des résultats de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Edité le 28 mars 2011

Cette étude a été réalisée avec le concours financier et logistique de Lyon Parc Auto.

# Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>4</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>5</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>7</b>
<b>2. Méthodologie</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Un site de mesure complet</b>	<b>9</b>
2.1.1. Des mesures en continu pour les polluants classiques	9
2.1.2. Des prélèvements pour les composés plus spécifiques	10
<b>2.2. Des tubes à diffusion passive pour documenter la variabilité spatiale</b>	<b>12</b>
<b>2.3. Les périodes de mesure</b>	<b>12</b>
<b>3. Résultats</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Bilan des campagnes</b>	<b>13</b>
3.1.1. Bilan technique	13
3.1.2. Contexte des campagnes	13
<b>3.2. Etat des lieux</b>	<b>14</b>
3.2.1. Les polluants « classiques » : CO, NOx et poussières	14
3.2.2. Les PM2.5	16
3.2.3. Les métaux lourds	16
3.2.4. Les Composés Organiques Volatils	17
3.2.5. Conclusions/synthèse	18
<b>3.3. Comment se situent les niveaux par rapport aux valeurs cibles</b>	<b>19</b>
<b>3.4. Mieux comprendre pour mieux gérer la qualité de l'air du parc</b>	<b>21</b>
3.4.1. Les concentrations de polluants sont-elles homogènes dans l'année ?	22
3.4.2. Les concentrations de polluants sont-elles homogènes dans une semaine et dans une journée ?	23
3.4.3. Les concentrations de polluants sont-elles homogènes au sein d'un niveau de circulation et entre les différents niveaux de circulation ?	25
3.4.4. Les concentrations de polluants sont-elles inférieures dans le local d'exploitation ?	27
3.4.5. Conclusions	28
<b>3.5. Qualité de l'air ambiant dans le quartier République</b>	<b>29</b>
<b>4. Conclusions et perspectives</b>	<b>31</b>

## Résumé

COPARLY, en collaboration avec Lyon Parc Auto, exploitant de nombreux parcs de stationnement publics de l'agglomération lyonnaise, a lancé un programme d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts de cette agglomération. Ce programme, prévu sur une durée de 3 ans, comporte 2 volets de mesure : un état des lieux de la qualité de l'air sur 25 parcs et l'étude approfondie d'un parking témoin avec un large panel de polluants et un plus grand nombre de points de mesure, y compris dans l'environnement extérieur du parc.

Dans cette seconde phase, compte tenu de l'objectif, un dispositif complet a été mis en œuvre dans le parc République, situé au centre de Lyon, avec de nombreux appareils de mesures au niveau -1 et plusieurs sites équipés d'un dispositif plus léger dans le reste du parc.

Les oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les particules PM10 et PM2,5, les composés organiques volatils, dont le benzène et le formaldéhyde et les métaux lourds ont été mesurés selon différentes techniques pendant 4 campagnes réparties sur une durée d'un an de juin 2009 à avril 2010.

Les éléments suivants ont pu être relevés :

- Le NO, le CO et certains composés organiques volatils présentent les rapports les plus importants avec les concentrations relevées en air extérieur, les niveaux de concentrations dans le parc pouvant valoir plusieurs dizaines de fois les concentrations relevées en milieu urbain.
- Les particules PM10 et PM2,5 présentent en revanche les niveaux les plus modérés comparativement à l'air extérieur.
- La période hivernale est la période présentant les plus fortes concentrations pour la plupart des polluants, notamment le CO et le NO. Les composés organiques volatils sont en revanche plus présents en période estivale où le phénomène d'évaporation des carburants augmente. Le premier volet concernant uniquement le dioxyde d'azote et le benzène avait mis en avant plutôt la période estivale.

La comparaison aux valeurs cibles proposées par l'AFSSET montre des dépassements pour certains polluants : le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

Le dioxyde d'azote notamment est concerné par des dépassements des valeurs cibles aiguës et chroniques, c'est le polluant dont la surexposition est la plus importante par rapport aux valeurs cibles. Au final, les polluants les plus préoccupants ne sont pas forcément les plus spécifiques du parking, comme le NO et le CO, mais le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

L'étude des corrélations entre polluants et des variations temporelles et spatiales apporte des informations complémentaires pour l'amélioration de la qualité de l'air dans les parcs.

L'évolution au sein de la journée montre une accumulation progressive des polluants à partir des premières rotations matinales de véhicules. L'amplitude journalière des concentrations de polluants est très forte. Ces éléments confirment que dans le premier volet d'étude, la valeur cible sur 1 heure a probablement été dépassée même sur les parcs ne la dépassant pas en moyenne sur 2 semaines.

Par ailleurs, l'étude des variations spatiales au sein d'un niveau de circulation ou entre les niveaux ainsi que l'étude des corrélations entre polluants illustrent la complexité des phénomènes intervenant dans la détermination des niveaux de polluants dans le parc.

Le monoxyde d'azote semble effectivement constituer un bon indicateur pour la gestion de la pollution, toutefois l'étude des corrélations montre que les valeurs de gestion proposées par l'AFSSET ne garantiront pas les mêmes valeurs de dioxyde d'azote en été et en hiver.

Ces deux volets d'étude ont permis de bien décrire l'état de la pollution dans les parcs de stationnement, il est dorénavant nécessaire de définir les actions utiles à l'amélioration de la qualité de l'air et de les évaluer. En 2011, Lyon Parc Auto et Coparly continueront leur collaboration afin de tester différentes configurations de ventilation dans 2 types de parcs : un parc très fréquenté et un parc résidentiel. La mesure en continu des concentrations de benzène et de dioxyde d'azote permettra d'évaluer l'efficacité des différentes configurations envisagées.

## Table des figures

Figure 1 Entrée du parc République _____	9
Figure 2 Matériel de mesures au niveau -1 du parc République _____	9
Figure 3 Microvol en place sur le toit d'une station de mesures _____	10
Figure 4 Canister pour le prélèvement des COV _____	10
Figure 5 Répartition des émissions de métaux lourds par les véhicules légers à Lyon _____	11
Figure 6 Tube à diffusion passive et son support _____	12
Figure 7 Fréquentation moyenne (en véhicules par jour) dans le parc à chaque campagne _____	13
Figure 8 Température dans l'air ambiant et à l'intérieur du parc (à gauche) et niveaux de polluants en air ambiant à chaque campagne _____	14
Figure 9 Concentrations moyennes par campagne relevées pour les polluants « classiques » dans le niveau -1 du parc République _____	14
Figure 10 Concentrations moyennes de PM10 et PM2,5 à chaque campagne _____	16
Figure 11 Concentrations de métaux lors des campagnes 2 à 4 et ratio avec les concentrations en air ambiant sur la station urbaine de Lyon Centre _____	16
Figure 12 Concentrations moyennes de COV lors des différentes campagnes _____	17
Figure 13 Concentrations moyennes d'aldéhydes relevées à chaque campagne _____	18
Figure 14 Evolution moyenne de la concentration de NO <sub>2</sub> dans le niveau -1 du parc République _____	20
Figure 15 NO <sub>2</sub> en fonction de NO dans le niveau -1 du parc République _____	23
Figure 16 Nombre de passages moyen dans le parc République pendant les campagnes en fonction du jour de la semaine _____	24
Figure 17 Profil hebdomadaire moyen des concentrations dans le niveau -1 du parc République _____	24
Figure 18 Evolution des concentrations journalières et du nombre de passages moyen sur une période _____	25
Figure 19 Dispersion des concentrations de NO <sub>2</sub> (à gauche) et de benzène (à droite) au niveau -1 du parc République _____	25
Figure 20 Concentrations moyennes par campagne de NO <sub>2</sub> (à gauche) et benzène à droite dans les différents niveaux de circulation _____	26
Figure 21 Calcul de l'abattement des concentrations entre le local et la moyenne du niveau -1 (en haut) et entre le local et le site principal (en bas) _____	27
Figure 22 Concentrations de formaldéhyde dans le local d'exploitation _____	28
Figure 23 Répartition des points de mesures autour de la place de la République _____	29
Figure 24 Comparaison de la moyenne sur les 4 périodes de mesures à la moyenne annuelle de 2009 sur quelques stations fixes du réseau de mesures de l'agglomération lyonnaise _____	29
Figure 25 Concentrations moyennes de NO <sub>2</sub> dans le secteur de la place de la République _____	30



# 1. Introduction

La pollution atmosphérique urbaine représente aujourd'hui un problème de santé publique majeur, selon les experts. Dans ce contexte, les parcs de stationnement couverts constituent un milieu spécifique, qui contribue à augmenter l'exposition à la pollution d'origine automobile.

L'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail a publié en 2007 des recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts<sup>1</sup>. Les travaux réalisés ont permis de proposer des valeurs cibles de concentration atmosphérique pour un certain nombre de polluants présents dans les parcs de stationnement. Le respect de ces valeurs permettrait de mieux protéger la santé tant du public qui fréquente le parking que des travailleurs.

COPARLY, en collaboration avec Lyon Parc Auto, exploitant de nombreux parcs de stationnement publics de l'agglomération lyonnaise, a lancé un programme d'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts de cette agglomération. Ce programme, prévu sur une durée de 3 ans, comporte 2 volets de mesure : un état des lieux de la qualité de l'air sur 25 parcs et l'étude approfondie d'un parking témoin avec un large panel de polluants et un plus grand nombre de points de mesure, y compris dans l'environnement extérieur du parc.

Par ailleurs, pour compléter ce programme, COPARLY a lancé en 2009 un état des lieux sur 8 parcs de stationnement à gestion privée de l'agglomération de Lyon.

Les résultats du 1<sup>er</sup> volet d'étude ont permis d'améliorer les connaissances sur les niveaux de pollution dans les parcs. Les différents points suivants ont été mis en évidence :

- La réalisation de 4 campagnes dans l'année a montré que les concentrations observées sont variables entre les saisons, elles suivent de manière générale la même tendance dans les parcs étudiés.
- Compte tenu du caractère confiné des parcs de stationnement couverts et de leur activité, les concentrations moyennes dans les parcs sont supérieures à celles mesurées par les stations de surveillance de qualité de l'air en bordure de voiries, pour le benzène tout particulièrement. Etant donné les différences observées, les concentrations à l'intérieur du parc sont en majeure partie attribuables à leur fonctionnement (émissions des véhicules à l'intérieur du parc).
- Les concentrations de NO<sub>2</sub> dans les parcs souterrains sont en grande partie expliquées par la fréquentation du parc, même si des variations peuvent apparaître en lien avec la température et les apports d'ozone par l'extérieur, ainsi que les différents systèmes de ventilation. Les concentrations de benzène semblent surtout influencées par le phénomène d'évaporation depuis les véhicules en stationnement, elles sont en effet nettement corrélées à la température d'une campagne à l'autre. Ces deux points soulignent qu'une gestion de la qualité de l'air fondée uniquement sur les pics de fréquentation peut se révéler insuffisante pour une gestion complète où des phénomènes d'évaporation des carburants depuis les véhicules en stationnement et des réactions chimiques depuis les polluants primaires interviennent.
- L'étude des concentrations dans les locaux d'exploitation a mis en évidence des concentrations inférieures de manière générale aux concentrations observées dans les niveaux de circulation. L'abattement constaté est supérieur pour le NO<sub>2</sub> par

---

<sup>1</sup> AFSSET (2007) Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts. Avril 2007

rapport à celui du benzène où une homogénéisation des niveaux est constatée sur certains parcs. Malgré l'abattement, ces niveaux restent élevés en comparaison des niveaux relevés à l'extérieur.

- Afin de mieux situer ces niveaux dans leur contexte spécifique, celui des parcs de stationnement, une comparaison aux valeurs cibles préconisées par l'AFSSET en 2007 a été effectuée. Une seule valeur cible pour l'utilisateur est dépassée dans certains parcs souterrains, il s'agit d'un excès d'exposition pour le NO<sub>2</sub>. En revanche, de nombreux points de mesure dans les niveaux de circulation et les locaux d'exploitation dépassent les différentes valeurs cibles pour le travailleur proposées par l'AFSSET.

Le présent rapport s'intéresse au deuxième volet de l'étude, qui a pour objectif :

- d'une part, de documenter les niveaux de polluants d'un panel plus large de substances. Seulement 3 polluants avaient été investigués dans la première phase
- d'autre part, d'appréhender au sein d'un parc la variabilité spatiale et temporelle de la pollution afin de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu, et donc d'estimer des moyens d'amélioration de la qualité de l'air.

Après la présentation de la méthodologie de l'étude, les résultats sont organisés autour de 3 paragraphes : l'état des lieux des concentrations de polluants, la comparaison aux valeurs cibles et les enseignements de l'étude.



## 2. Méthodologie

La première étude menée dans les parcs de stationnement couverts avait pour objectif de dresser un état des lieux global de la pollution dans les parcs. 25 parcs avaient été investigués avec un dispositif de mesures allégé pour chacun : 2 points de mesure dans les niveaux de stationnement, 1 point de mesure dans le local. Ces points étaient équipés de tubes à diffusion passive, donnant une concentration moyenne sur la semaine.

Dans cette seconde phase, compte tenu de l'objectif, un dispositif plus complet a été mis en œuvre dans un seul parc avec de nombreux appareils de mesures au niveau -1 et plusieurs sites équipés d'un dispositif plus léger dans le reste du parc.

Le parc de stationnement République, situé dans le centre de Lyon, a été retenu pour cet état des lieux détaillé de la qualité de l'air dans un parc souterrain.

Construit en 1993, ce parc possède 784 places de stationnement réparties sur 7 niveaux. Le local d'exploitation est situé au premier niveau. Se trouve également au premier niveau une station de lavage auto. Le parc est équipé d'une ventilation mécanique à deux vitesses, asservie sur les niveaux de CO.

Situé au centre-ville de Lyon sous la rue de la République, ce parc est très fréquenté, notamment par la clientèle des commerces.



Figure 1 Entrée du parc République

### 2.1. Un site de mesure complet

Au niveau -1 du parc République, un dispositif complet de mesures a été installé avec des analyseurs automatiques et des préleveurs. Au total, 72 substances différentes ont été recherchées.

#### 2.1.1. Des mesures en continu pour les polluants classiques

Les analyseurs automatiques permettent d'obtenir des données de concentration quart-horaires. Le **monoxyde d'azote (NO)**, le **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)**, le **monoxyde de carbone (CO)** et les **poussières de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM10)** ont été mesurés par cette méthode.



Figure 2 Matériel de mesures au niveau -1 du parc République

Ces polluants sont ceux historiquement suivis sur le réseau de mesures fixes de l'agglomération lyonnaise. Sur cette agglomération, les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone sont principalement émis par le trafic routier alors que le secteur des transports ne représente que 33% des émissions de PM10 sur la ville de Lyon.

Les émissions de CO par les véhicules sont en nette diminution, notamment avec l'augmentation de la part des véhicules diesel et des pots catalytiques.

En effet, pour une vitesse de 10 km/h, les émissions de CO étaient en moyenne de 18 g/km sur le parc des véhicules essence en 2000 et seulement de 4,5 g/km sur le parc de 2008. Parallèlement, pour la même vitesse, les émissions de CO pour le parc diesel sont inférieures à 1 g/km.

Les émissions de NOx étant supérieures pour les véhicules diesel et n'ayant pas subi la même décroissance entre 2000 et 2008, l'asservissement de la ventilation sur les concentrations de CO ne semble ainsi plus être la solution la plus appropriée.

### 2.1.2. Des prélèvements pour les composés plus spécifiques

#### a) Les poussières PM2,5

Les poussières PM2.5 ont été mesurées à l'aide d'un mini-préleveur Microvol 1100 de chez Ecotech (commercialisé par Ecomesure). Les poussières PM10 ont été également mesurées par ce type d'appareil, en complément de l'analyseur automatique, afin d'avoir des données strictement comparables entre les deux tailles de poussières.

Ces micropréleveurs ont un débit d'aspiration de 3 l/min, les particules sont collectées sur un filtre téflon et la mesure est réalisée par pesée. Les micropréleveurs peuvent être équipés d'une tête de prélèvement sélective des PM10 ou des PM2.5.

Après exposition du filtre pendant une semaine, les concentrations des particules sont déterminées par pesée du filtre de prélèvement.



Tête de prélèvement contenant le filtre. La tête de prélèvement est différente selon le diamètre de coupure retenu : PM10 ou PM2,5.

Corps de l'appareil contenant la pompe.  
La pompe assure un débit de 3 l.min<sup>-1</sup>

Figure 3 Microvol en place sur le toit d'une station de mesures

#### b) Les Composés Organiques Volatils

Les composés organiques volatils ont été mesurés à l'aide de canisters. Ces dispositifs permettent de prélever l'air à un débit fixé pendant une durée de 24 heures.

Chaque canister est ensuite analysé au laboratoire pour fournir pour 41 substances différentes (alcane, alcènes,...) la concentration moyenne sur 24 heures.

Trois canisters par semaine ont été disposés sur le site de mesures.



Figure 4 Canister pour le prélèvement des COV

Les **aldéhydes** ont été mesurés par tubes à diffusion passive.

Différents composés organiques volatils peuvent être émis par les véhicules : à l'échappement mais également par évaporation de carburant lorsque le véhicule est en stationnement.

D'autres composés organiques volatils peuvent également être formés à la suite de réactions chimiques dans l'air. Sur la commune de Lyon, le secteur des transports représente environ 15% des émissions de COV dans l'air.

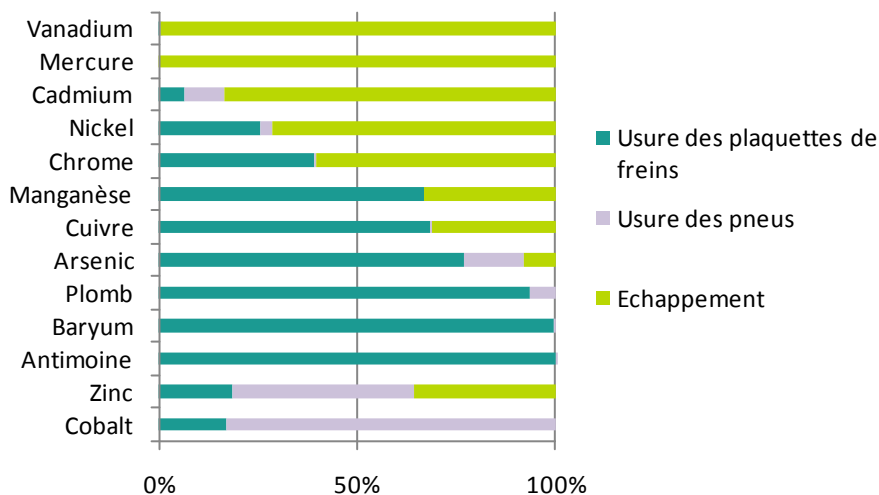
### c) Les métaux lourds

Les métaux lourds ont été mesurés à l'aide d'un préleveur Partisol. Ce préleveur aspire l'air à un débit de 1 m<sup>3</sup>/h. Les composés sont piégés sur un filtre qui est ensuite envoyé au laboratoire.

Cette méthode de mesure permet d'obtenir des concentrations moyennes sur une semaine pour 14 métaux lourds. Deux prélèvements par campagne ont été programmés.

Les métaux lourds peuvent être émis par les véhicules. Selon le composé considéré, les émissions proviennent plutôt de l'usure des équipements automobiles tels que les freins et les pneus ou plutôt de l'échappement. Ainsi, le vanadium proviendrait uniquement de l'échappement alors que le baryum au contraire proviendrait quasiment uniquement de l'usure des plaquettes de freins (cf. Figure 5).

Zinc, cuivre, plomb et cadmium sont les métaux les plus cités comme traceurs de la circulation routière dans les publications recensées par l'AFSSET dans son rapport de 2007<sup>2</sup>. L'annexe 3 présente la répartition des émissions de métaux lourds par secteur pour la commune de Lyon. Sur cette commune, l'estimation des émissions du secteur des transports place le vanadium, le cuivre et le zinc en première position puis l'antimoine, le manganèse, le plomb, le baryum, le nickel et le chrome.



Source: ATMO Rhône Alpes - Données 2008 - Version 2011-1

**Figure 5 Répartition des émissions de métaux lourds par les véhicules légers à Lyon**

<sup>2</sup> AFSSET (2007) Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts.

## 2.2. Des tubes à diffusion passive pour documenter la variabilité spatiale

Afin de documenter la variabilité spatiale des polluants, des tubes à diffusion passive ont été utilisés. Cette méthode indicative<sup>3</sup> fournit des concentrations moyennes sur une semaine plutôt que des données horaires mais présente l'avantage d'être moins onéreuse et de pouvoir multiplier les points de mesure.

Par définition, l'échantillonnage passif est basé sur le transfert de matière d'une zone à une autre sans mouvement actif de l'air (Loi de Fick). Le contact de l'air à analyser avec le réactif du tube (charbon actif,...) est dans ce cas induit par convection naturelle et diffusion.

Le NO<sub>2</sub>, le benzène<sup>4</sup> et le formaldéhyde ont fait l'objet de cette étude de répartition spatiale.



Figure 6 Tube à diffusion passive et son support

## 2.3. Les périodes de mesure

En air intérieur, il n'existe pas de recommandations spécifiques concernant l'échantillonnage temporel. Afin d'avoir une bonne représentativité, quatre périodes de mesures de deux semaines réparties dans l'année ont été retenues afin d'appréhender les variations potentielles de concentrations.

### *Calendrier des mesures :*

**Campagne 1 :** du 23 juin au 7 juillet 2009  
**Campagne 2 :** du 29 septembre au 15 octobre 2009  
**Campagne 3 :** du 5 janvier au 19 janvier 2010  
**Campagne 3bis :** du 21 janvier au 8 février 2010  
**Campagne 4 :** du 6 au 20 avril 2010

La réalisation de 4 campagnes de 2 semaines permet d'avoir une couverture temporelle de 14% de l'année, nécessaire à l'évaluation de la qualité de l'air annuelle selon la Directive Européenne relative à la Qualité de l'air ambiant. En l'absence de recommandations spécifiques et de connaissances suffisantes sur les variations attendues dans l'air intérieur des parkings, les pratiques utilisées pour l'évaluation dans l'air ambiant constituent une première approche.

La campagne 3 a été prolongée par la campagne 3bis en raison d'une panne sur un appareil de mesures.

<sup>3</sup> L'incertitude de mesures est plus importante avec les tubes à diffusion passive comparativement à la méthode de référence que sont les analyseurs automatiques. L'annexe 2 présente une comparaison des 2 méthodes.

<sup>4</sup> Le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes sont également analysables simultanément sur le même tube à diffusion passive.

## 3. Résultats

### 3.1. Bilan des campagnes

#### 3.1.1. Bilan technique

Le préleveur Partisol permettant de mesurer les métaux lourds a connu une panne lors de la campagne du mois de juin, entraînant la perte des prélèvements.

Lors de la troisième campagne au mois de janvier, l'analyseur de NOx a également été en défaut (du 5 au 19 janvier). Suite à la perte de ces données, les mesures ont été prolongées jusqu'au 8 février. Par conséquent, la période du 5 au 19 janvier sera dénommée *Campagne 3*, la période suivante du 19 janvier au 8 février *Campagne 3bis*.

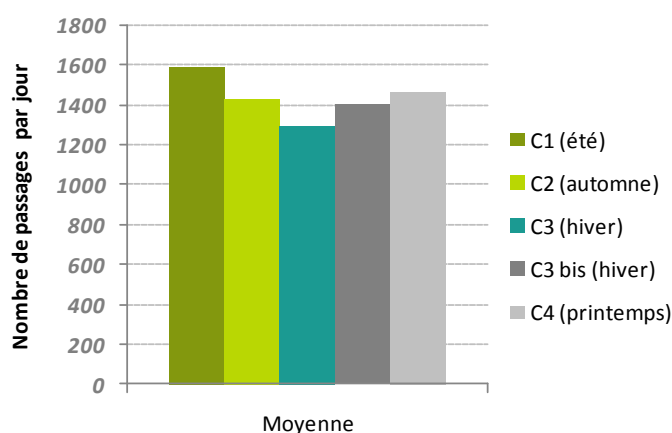
#### 3.1.2. Contexte des campagnes

Plusieurs éléments peuvent *a priori* avoir une influence sur les niveaux mesurés. Deux facteurs potentiels sont présentés ci-après : la température et la fréquentation des parcs. En effet, l'état des lieux dans les 25 parcs avait montré que la température et la fréquentation sont des paramètres influençant les niveaux de polluants.

Par ailleurs, en même temps que la température, les niveaux de polluants dans l'air ambiant de l'agglomération lyonnaise sont également présentés.

De manière générale, la fréquentation varie peu entre les campagnes. La première période, fin juin début juillet 2009, a été la plus fréquentée. Concernant la représentativité des données sur l'année, il faut noter que les mois d'août et décembre, non sondés, peuvent être particuliers, en regard des vacances scolaires et de la période de Noël.

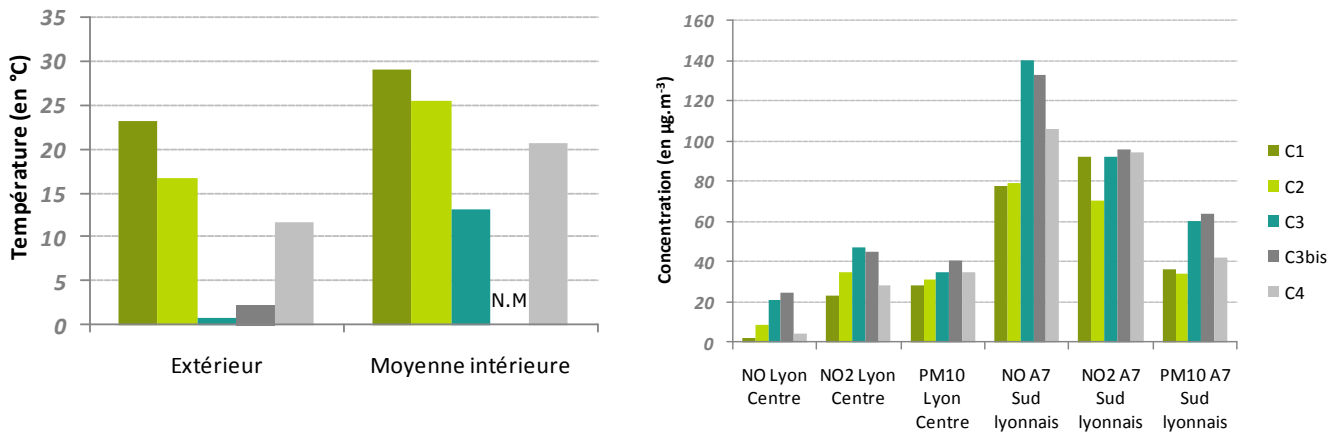
La dernière campagne s'est déroulée presque intégralement pendant les vacances scolaires de printemps (vacances du 10 au 26 avril).



**Figure 7 Fréquentation moyenne (en véhicules par jour) dans le parc à chaque campagne**

Au début de la campagne 3, début janvier 2010, Lyon a connu un épisode neigeux important, qui a influé sur la fréquentation de ce début de période.

Les **températures** extérieures relevées lors des campagnes reflètent bien la variabilité des saisons, à noter une période très froide en janvier 2010. Ces conditions ont été propices à des niveaux élevés de NO et de poussières PM10 dans l'air ambiant comme le reflète le deuxième graphe de la Figure 8.



**Figure 8 Température dans l'air ambiant et à l'intérieur du parc (à gauche) et niveaux de polluants en air ambiant à chaque campagne**  
(C1 : été ; C2 : automne ; C3 et C3bis : hiver ; C4 : printemps)

### 3.2. Etat des lieux

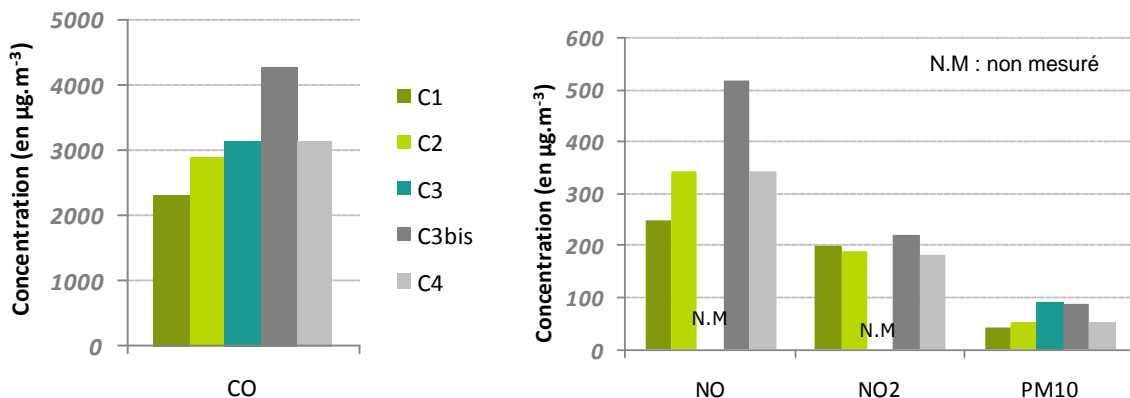
Quelle que soit la méthode de mesure, pour chaque polluant, la concentration moyenne par campagne est représentée sur les figures suivantes. Ces représentations permettent de donner un aperçu des niveaux rencontrés dans le parc et notamment :

- de les situer par rapport à d'autres études ainsi que par rapport à l'air extérieur,
- d'apprécier les variations saisonnières.

La phase 1 de l'étude menée dans 25 parcs avait d'ores et déjà permis de documenter les niveaux de CO, NO<sub>2</sub> et benzène.

#### 3.2.1. Les polluants « classiques » : CO, NOx et poussières

Pour ces polluants, mesurés en routine dans l'air ambiant, les références sont nombreuses.



**Figure 9 Concentrations moyennes par campagne relevées pour les polluants « classiques » dans le niveau -1 du parc République**  
(C1 : été ; C2 : automne ; C3 et C3bis : hiver ; C4 : printemps)

Les concentrations des différents polluants sont élevées par rapport aux valeurs rencontrées en air extérieur, en cohérence avec le milieu clos que représente un parc souterrain et les résultats obtenus lors du premier volet d'étude.

Le NO et le CO, polluants directement émis par le trafic, présentent les rapports les plus élevés par rapport aux moyennes extérieures.

Ainsi, avec un niveau moyen sur 15 jours compris entre 2000 et 5000  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , les concentrations de CO sont de 5 à 9 fois plus élevées que celles observées en bordure de l'autoroute A7 en sortie de Lyon. De même, les concentrations de NO sont de 3 à 5 fois plus élevées que celles relevées sur cette même station et de 20 à 100 fois plus élevées, selon les campagnes, à celles observées sur la station urbaine de Lyon Centre.

Le NO<sub>2</sub> et les PM10 présentent des rapports plus modérés avec les concentrations relevées en air extérieur. Les concentrations de NO<sub>2</sub> sont de 2 à 3 fois supérieures à celles relevées en air ambiant en proximité trafic et de 5 à 9 fois à celles de la station urbaine de Lyon Centre.

Pour les PM10, l'écart se réduit encore entre les deux types d'environnement puisque le rapport entre l'intérieur et l'extérieur se situe entre 1 et 2 par rapport à une station de proximité trafic et de 2 à 3 par rapport à une station urbaine. Ce chiffre traduit le fait que le trafic n'est pas la principale source de PM en air extérieur.

Les données françaises existantes dans les parcs de stationnement ont été recensées par l'AFSSET en 2007<sup>5</sup>. Le peu de données existantes a conduit l'AFSSET à réaliser des mesures dans 4 parcs, les résultats de ces mesures sont reportés dans le Tableau 1. Les parcs 2 et 3 de cette étude sont des parcs souterrains, respectivement d'une gare ferroviaire et d'un centre commercial. Les parcs 1 et 4 sont plus spécifiques car relatifs à une gare routière d'autocars et un parc réservé à des employés.

Le récapitulatif de mesures montre que les concentrations moyennes de NO, NO<sub>2</sub>, PM10 relevées dans le parc République sont semblables aux parcs similaires de l'étude AFSSET (2 et 3).

	<b>Parc 1</b>	<b>Parc 2</b>	<b>Parc 3</b>	<b>Parc 4</b>
<b>Trafic journalier moyen approximatif (en véh/j)</b>	50 (autocars)	3000	1500	500
<b>Période</b>	Janvier	Février	Mai	Juin
<b>Polluant</b>	<b>Moyenne sur la période de mesures</b>			
<b>NO</b> (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	272	697	536	165
<b>NO<sub>2</sub></b> (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	119	187	180	84
<b>PM10</b> (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	34	75	46	30
<b>CO</b> (en $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	1100	1000	7900	4900

**Tableau 1 Concentrations moyennes relevées dans les parcs de l'étude AFSSET (2007)**

<sup>5</sup> AFSSET (2007) Recommandations pour la qualité de l'air dans les parcs de stationnement couverts. Avril 2007

### 3.2.2. Les PM2.5

Les poussières PM2.5 ont été mesurées à l'aide d'un mini-préleveur. A des fins de comparaison, les PM10 ont été mesurées en parallèle avec la même méthode de mesure.

Excepté lors de la campagne 3, les niveaux de PM10 et PM2.5 relevés dans le parking représentent de 1,5 à 2 fois ceux relevés en air extérieur.

Lors de la campagne 3, les niveaux de PM10 enregistrés sont atypiques. Pendant cette période, la ville de Lyon a connu un épisode neigeux important et une période très froide. La part des PM2.5 représente alors seulement 50% des PM10 contrairement aux autres campagnes où cette part varie de 70 à 80%. Lors de cette campagne, les particules mesurées sont donc des « grosses » particules qui pourraient être dues à d'autres phénomènes que l'échappement. L'influence d'une remise en suspension de particules déposées au sol est possible.

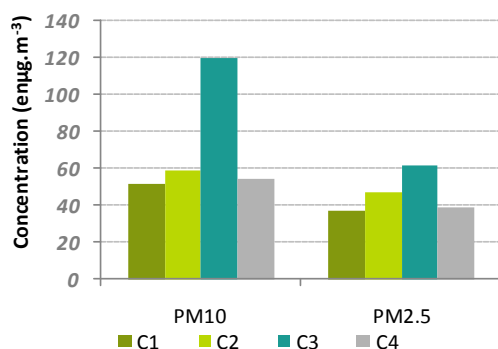


Figure 10 Concentrations moyennes de PM10 et PM2,5 à chaque campagne

### 3.2.3. Les métaux lourds

Rappel : Suite à un problème technique, aucun résultat n'est disponible pour la première campagne au mois de juin.

La Figure 11 présente les concentrations relevées pour chacun des composés mesurés.

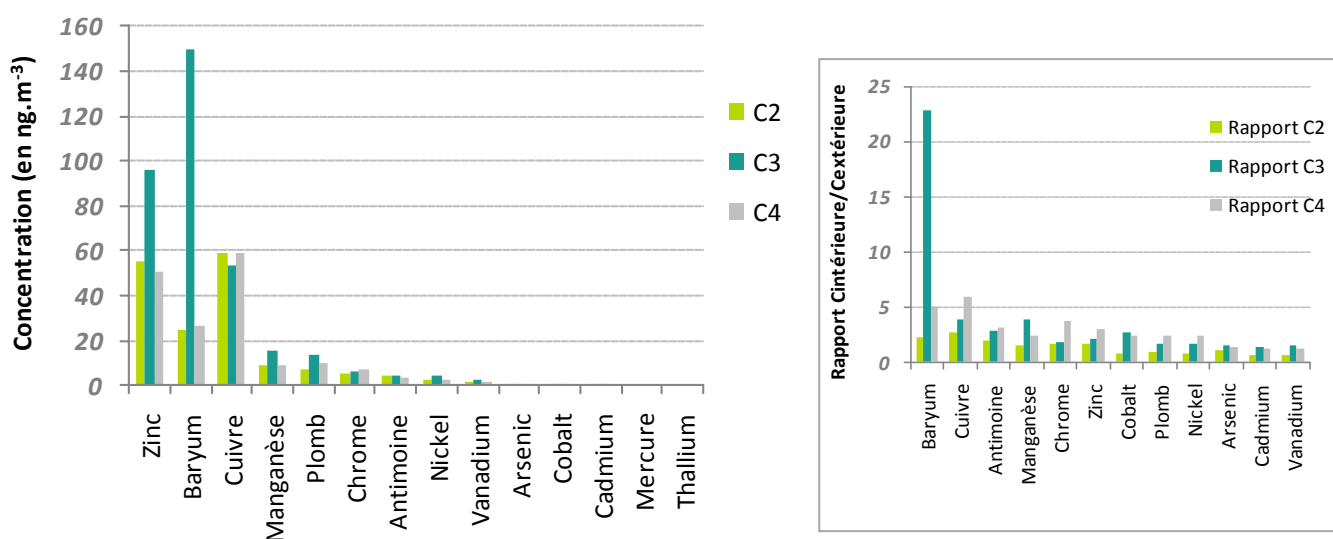


Figure 11 Concentrations de métaux lors des campagnes 2 à 4 et ratio avec les concentrations en air ambiant sur la station urbaine de Lyon Centre



**Le zinc, le baryum et le cuivre** sont les 3 métaux présents en plus grande quantité dans le parc République. Viennent ensuite le manganèse, le plomb, le chrome, l'antimoine et le nickel. Le zinc, le manganèse, le plomb, le nickel et tout particulièrement le baryum sont plus élevés en période hivernale.

La comparaison avec les concentrations relevées en air ambiant permet d'identifier les composés les plus spécifiques du parking qui sont le baryum et le cuivre et dans une moindre mesure, l'antimoine, le manganèse, le chrome et le zinc (cf. Figure 11). Les concentrations relevées sont de manière générale jusqu'à 2,5 fois supérieures à l'air ambiant, hormis pour le baryum et le cuivre qui présentent des rapports supérieurs.

L'usure des plaquettes de freins semble être la source principale de métaux dans le parc. Toutefois, les très fortes concentrations de baryum observées uniquement au mois de janvier laissent penser qu'un autre phénomène ait pu intervenir à cette date sans pouvoir l'expliquer.

### 3.2.4. Les Composés Organiques Volatils

Les mesures ont été réalisées sur un pas de temps de 24 heures 3 fois par semaine à chaque campagne. Les composés présentant les plus fortes concentrations sont **l'isopentane, le toluène, le n-butane, le m+p xylène, et le n-pentane**. Pour ces composés, les niveaux relevés sont très supérieurs aux niveaux relevés dans l'air ambiant en proximité automobile.

Par ailleurs, contrairement à la plupart des autres polluants qui sont présents en plus grande quantité en période hivernale, les composés organiques volatils présentent les concentrations les plus faibles en hiver. Ceci s'explique par l'importance du phénomène d'évaporation dans la détermination des concentrations présentes dans le parc souterrain. Selon les estimations COPERT<sup>6</sup> reportées dans AFSSET (2007), l'isopentane, le butane et le pentane sont les composés présentant les émissions dues à l'évaporation les plus élevées.

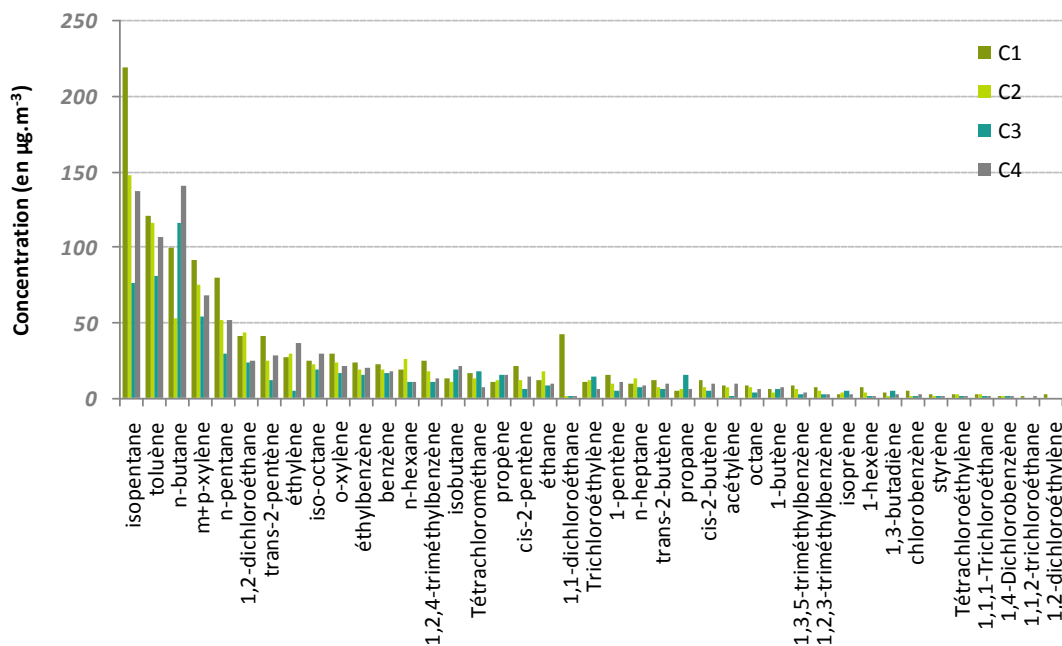


Figure 12 Concentrations moyennes de COV lors des différentes campagnes

<sup>6</sup> Méthode de calcul des émissions de polluants du transport routier

Les concentrations mesurées sont du même ordre de grandeur que celles recensées dans le travail de l'AFSSET.

Par ailleurs, dans le parc, des COV chlorés sont observés comme le 1,2 dichloroéthane. Ces composés, utilisés notamment comme solvant et dégraissant des métaux, pourraient provenir d'activités de nettoyage dans le parc.

Les aldéhydes font partie de la famille des COV. Ils ont été mesurés par tube à diffusion passive. **Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde** sont les composés présents en plus grande quantité. Leurs concentrations sont supérieures à celles relevées dans l'air ambiant, qui sont habituellement comprises entre 1 et 3  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour le formaldéhyde et entre 1 et 2  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour l'acétaldéhyde (cf. Figure 13). En revanche, elles sont inférieures à celles couramment observées dans l'air intérieur des logements ou des établissements scolaires qui se situent généralement autour de 20  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  pour le formaldéhyde.

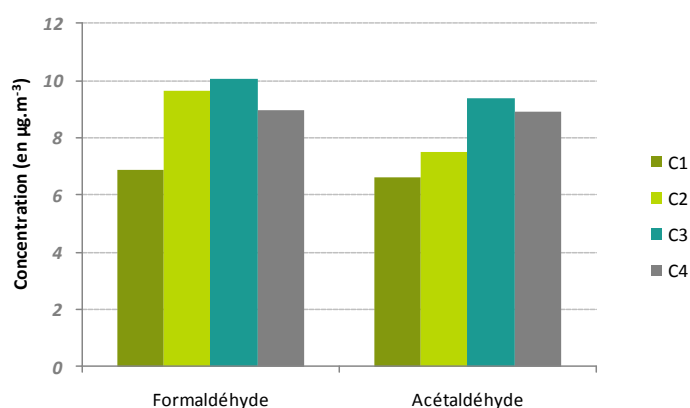


Figure 13 Concentrations moyennes d'aldéhydes relevées à chaque campagne

### 3.2.5. Conclusions

Ce deuxième volet d'étude a permis de compléter les informations déjà obtenues sur le dioxyde d'azote et le benzène.

Les éléments suivants peuvent être relevés :

- Le **NO**, le **CO** et certains **composés organiques volatils** présentent les rapports les plus importants avec les concentrations relevées en air extérieur, les niveaux de concentrations dans le parc pouvant valoir plusieurs dizaines de fois les concentrations relevées en milieu urbain.
- Les particules PM10 et PM2,5 présentent en revanche les niveaux les plus modérés comparativement à l'air extérieur.
- La période hivernale est la période présentant les plus fortes concentrations pour la plupart des polluants, notamment le CO et le NO. Les composés organiques volatils sont en revanche plus présents en période estivale où le phénomène d'évaporation des carburants augmente.

### 3.3. Comment se situent les niveaux par rapport aux valeurs cibles

Dans le premier volet d'étude sur les 25 parcs, des comparaisons avaient pu être faites par rapport aux valeurs cibles préconisées par l'AFSSET dans son rapport de 2007 pour 2 polluants : le dioxyde d'azote et le benzène.

Ce second volet permet de documenter d'autres composés.

Les valeurs cibles (VC) ont été établies pour les polluants les plus préoccupants au vu des teneurs mesurées et de leur toxicité. **Une valeur cible est un niveau de concentration à ne pas dépasser pour limiter le risque** [AFSSET, 2007]. Elles ont été construites en fonction de scénarios d'exposition, de valeurs toxicologiques de référence par inhalation, d'un ou plusieurs niveaux de risque acceptables et des niveaux d'exposition dans les autres micro-environnements.

Les scénarios retenus pour l'établissement de valeurs cibles considèrent deux types de population : l'usager et le travailleur.

#### Plus d'infos sur les scénarios retenus par l'AFSSET pour l'établissement de valeurs cibles :

Scénario travailleur : fréquentation du parking de 8h/j, 5j/semaine, 10 mois/an, pendant 40 ans

Scénario usager : fréquentation du parking de 2x15 minutes/j, 5j/semaine, 10 mois /an pendant 40 ans.

Pour le dioxyde d'azote, les particules PM10 et PM2,5 et le formaldéhyde, les niveaux de pollution atmosphérique urbaine (ou en air intérieur) sont déjà à l'origine de risques dépassant les repères classiques d'acceptabilité [AFSSET, 2007], c'est pourquoi l'AFSSET propose différentes valeurs, correspondant à une augmentation de l'exposition journalière à cette substance.

Les valeurs cibles utilisées pour comparaison aux concentrations mesurées sont les suivantes :

#### Exposition aiguë :

Polluant et pas de temps associé	Population concernée	Valeur cible
NO <sub>2</sub> sur 1 h	Travailleur	200 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 15 minutes	Usager et travailleur	100 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 30 minutes	Travailleur	60 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 1 heure	Travailleur	30 000 µg.m <sup>-3</sup>
CO sur 8 heures	Travailleur	10 000 µg.m <sup>-3</sup>

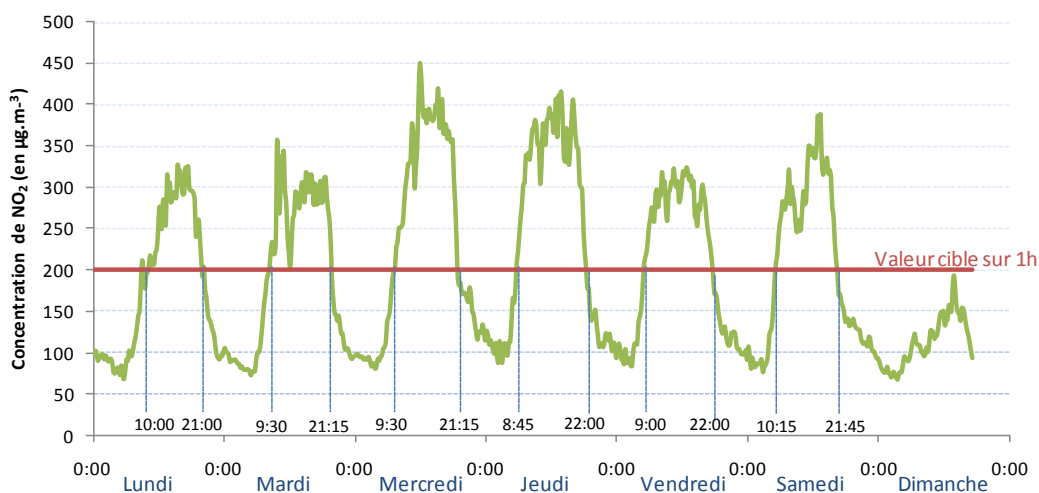
#### Exposition chronique :

Polluant	Population concernée	Valeur cible	Type de valeur cible
Benzène sur 8 h	Travailleur	41 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Benzène sur 8 h	Travailleur	11 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
Benzène sur 30 minutes	Usager	180 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	35 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	68 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
NO <sub>2</sub> sur 8 heures	Travailleur	108 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	157 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%

NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	675 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
NO <sub>2</sub> sur 30 minutes	Usager	1323 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
Xylènes sur 8h	Usager	14 000 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Xylènes sur 8h	Travailleur	870 µg.m <sup>-3</sup>	Pour les effets à seuil
Formaldéhyde	Usager	255 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
Formaldéhyde	Travailleur	35 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Usager	133 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Travailleur	30 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM10 sur 8h	Travailleur	58 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
PM10 sur 8h	Travailleur	92 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
PM2.5 sur 8h	Usager	93 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	21 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 10%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	40 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 50%
PM2.5 sur 8h	Travailleur	64 µg.m <sup>-3</sup>	excès d'exposition quotidien de 100%
Acétaldéhyde	Usager	2400 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>
Acétaldéhyde	Professionnel	150 µg.m <sup>-3</sup>	Effets sans seuil - pour un niveau de risque de 10 <sup>-5</sup>

Pour la plupart des composés, les valeurs cibles ont été établies pour des expositions chroniques. Seuls le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone possèdent des valeurs cibles sur un pas de temps plus court. Dans ce cadre, le suivi en continu des données apporte une information indispensable, non disponible dans l'étude des 25 parcs.

■ Pour le NO<sub>2</sub>, excepté le dimanche, la valeur cible de 200 µg.m<sup>-3</sup> sur 1 heure est dépassée d'environ 9h à 21h30 sur le niveau -1 du parc République (cf. Figure 14). Les concentrations de NO<sub>2</sub> ont été supérieures à la valeur cible pendant environ 50% du temps total des mesures.



**Figure 14 Evolution moyenne de la concentration de NO<sub>2</sub> dans le niveau -1 du parc République**

Les valeurs cibles pour une exposition aiguë au **monoxyde de carbone** n'ont pas été dépassées dans le niveau -1 du parc République pendant la période de mesures.

■ Pour l'utilisateur, pour lequel le scénario d'exposition chronique est déjà pénalisant (30 minutes par jour), seul le NO<sub>2</sub> dépasse une des valeurs cibles, celle correspondant à un excès d'exposition quotidien de 10%. Le temps passé par l'utilisateur dans le parking en regard des autres micro-environnements qu'il fréquente limite de fait l'impact du parking sur son exposition globale.

En revanche, pour le travailleur, plusieurs valeurs cibles sont dépassées dans le niveau -1 du parc République.

En moyenne sur les 4 campagnes, la concentration de **NO<sub>2</sub>** est d'environ 200 µg.m<sup>-3</sup>, cette valeur est supérieure à celle correspondant à un excès d'exposition de 100%. L'étude de la variation des concentrations montre que la moyenne sur la période 8h-20h pour ce polluant est de 265 µg.m<sup>-3</sup>.

Les **poussières PM10 et les poussières PM2,5** présentent un excès d'exposition de 50% à 100%.

Pour le **benzène**, la valeur cible pour les effets sans seuil est également dépassée avec une concentration moyenne de 17 µg.m<sup>-3</sup> pour une valeur cible de 11 µg.m<sup>-3</sup>.

Pour le **formaldéhyde**, les xylènes et l'acétaldéhyde, les niveaux observés sont inférieurs aux valeurs cibles.

**En conclusion**, la comparaison aux valeurs cibles proposées par l'AFSSET montre des dépassements pour certains polluants : le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

Le dioxyde d'azote notamment est concerné par des expositions aiguës et chroniques, c'est le polluant dont la surexposition est la plus importante par rapport aux valeurs cibles. Au final, les polluants les plus préoccupants ne sont pas forcément les plus spécifiques du parking, comme le NO et le CO, mais le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

Suite à ce constat, il convient de regarder plus en détail les variations de pollution dans le parking et au cours de temps afin de mieux comprendre les phénomènes déterminant la qualité de l'air à l'intérieur du parc. Une fois le milieu bien décrit, il sera plus facile d'envisager les actions à mettre en place pour l'amélioration de la qualité de l'air.

### 3.4. Mieux comprendre pour mieux gérer la qualité de l'air du parc

Comme présenté dans le chapitre Méthodologie, des mesures complémentaires ont été effectuées dans plusieurs niveaux de circulation pour évaluer les variations potentielles au sein de l'enceinte du parking.

L'étude des variations spatiales et temporelles des concentrations permet d'une part d'évaluer la représentativité des mesures réalisées au niveau -1 pour la comparaison aux valeurs cibles et d'autre part de mieux comprendre les phénomènes déterminant les niveaux de pollution dans le cadre d'une amélioration de la gestion de la qualité de l'air.

Les différents points peuvent être abordés sous forme de question :

- Les concentrations de polluants sont-elles homogènes dans l'année ?
- Les concentrations de polluants sont-elles homogènes dans une journée ?
- Les concentrations de polluants sont-elles homogènes au sein d'un niveau de circulation et entre les différents niveaux de circulation ?
- Les concentrations de polluants sont-elles inférieures dans le local d'exploitation ?

### 3.4.1. Les concentrations de polluants sont-elles homogènes dans l'année ?

La réalisation de campagnes à différentes périodes de l'année permet d'appréhender notamment les variations de température qui vont avoir un impact principalement sur les surémissions de polluant au démarrage à froid en hiver et l'évaporation de carburants, depuis les véhicules en stationnement, notamment en été. D'autres facteurs peuvent entrer en jeu, comme les réactions chimiques entre polluants, notamment avec l'ozone présent dans l'air en période estivale.

Le premier volet de mesures dans les 25 parcs, qui s'était intéressé uniquement au dioxyde d'azote et au benzène, avait montré des concentrations globalement plus élevées en période estivale, notamment pour le benzène.

Ce second volet vient apporter des informations nouvelles sur les autres polluants et la corrélation des polluants entre eux.

Lors de cette étude, les mesures ont montré que **la très grande majorité des polluants présentent des concentrations plus élevées en période hivernale.**

En revanche, les composés organiques volatils présents dans les carburants enregistrent leur maximum de concentration lors de la période de juin.

Dans cette étude, le dioxyde d'azote présente la concentration moyenne la plus forte en hiver lors de la campagne C3bis, contrairement aux observations réalisées dans le premier volet. En revanche, la période estivale se situe bien en deuxième position, devant l'automne et le printemps. Par ailleurs, les mesures réalisées par tube passif uniquement lors de la campagne C3 sont plus basses.

Pour le NO, la période estivale enregistre les niveaux les plus bas.

L'étude des corrélations entre polluants peut permettre de mettre en évidence les phénomènes entrant en jeu dans la détermination des niveaux de polluants hormis la fréquentation. Les coefficients de corrélations entre polluant par campagne sont présentés dans le Tableau 2.

	C1 (été)	C2 (automne)	C3bis (hiver)	C4 (printemps)
CO/NO	0,62	0,93	0,88	0,93
CO/NO2	0,35	0,87	0,80	0,81
CO/PM	0,38	0,89	0,62	0,79
NO/NO2	0,79	0,93	0,96	0,92
NO/PM	0,76	0,93	0,87	0,88
NO2/PM	0,82	0,91	0,87	0,87

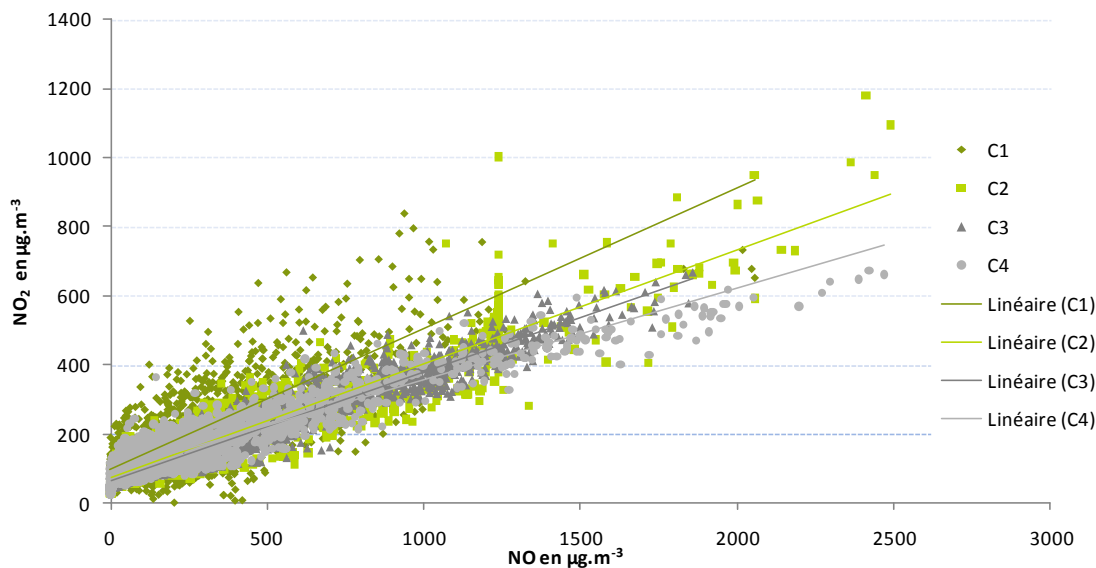
**Tableau 2 Coefficients de corrélations entre polluants mesurés en continu dans le niveau -1**

C'est de manière générale en automne et au printemps que les concentrations des différents polluants sont le mieux corrélées entre elles.

En été, les réactions chimiques sont plus importantes, avec des corrélations entre polluants qui se dégradent, c'est le cas pour la corrélation entre NO et NO<sub>2</sub> mais également pour le CO avec les autres polluants.

Actuellement la ventilation est asservie sur les mesures de CO, l'AFSSET propose d'utiliser le NO comme indicateur de pollution. Le tableau montre effectivement qu'il est un bon indicateur pour les polluants NO<sub>2</sub>, PM10 et CO.

La Figure 15 montre toutefois que le rapport NO/NO<sub>2</sub> peut varier selon les saisons. En été (C1), la dispersion des valeurs de NO<sub>2</sub> est plus importante, les concentrations de NO<sub>2</sub> peuvent également être quasiment égales aux concentrations de NO.



**Figure 15 NO<sub>2</sub> en fonction de NO dans le niveau -1 du parc République**

Pour les polluants non mesurés en continu, comme le benzène par exemple qui dépasse la valeur cible, l'étude des corrélations peut se faire sur les moyennes journalières. Le jeu de données est toutefois beaucoup plus restreint (6 valeurs par campagne).

Corrélation avec le benzène	NO	Dioxyde d'azote	CO	Particule PM10
Toutes campagnes	0,77	0,70	0,73	0,27
Été	0,61	0,49	0,59	0,78
Automne	0,90	0,80	0,95	0,89
Hiver			0,78	0,63
Printemps	0,98	0,95	0,98	0,72

**Tableau 3 Corrélation des moyennes journalières de benzène avec les autres polluants**

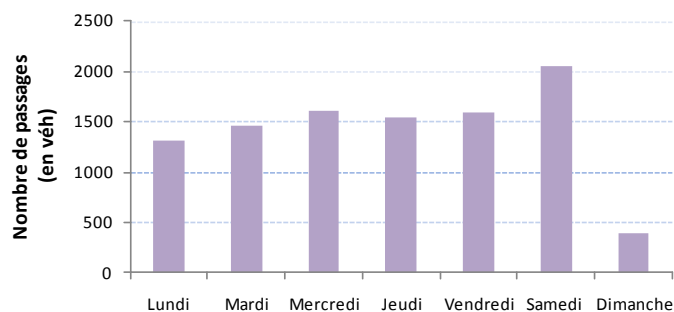
Les concentrations journalières de benzène sont mieux corrélées avec celles des autres polluants aux périodes intermédiaires (printemps et automne).

### 3.4.2. Les concentrations de polluants sont elles homogènes dans une semaine et dans une journée ?

Ce deuxième volet a permis d'apporter des éléments sur les variations saisonnières, point qui avait déjà été en partie documenté dans le premier volet d'étude sur 25 parcs pour le NO<sub>2</sub> et le benzène. Surtout, ce deuxième volet apporte des informations sur les variations à plus court terme : horaires et journalières.

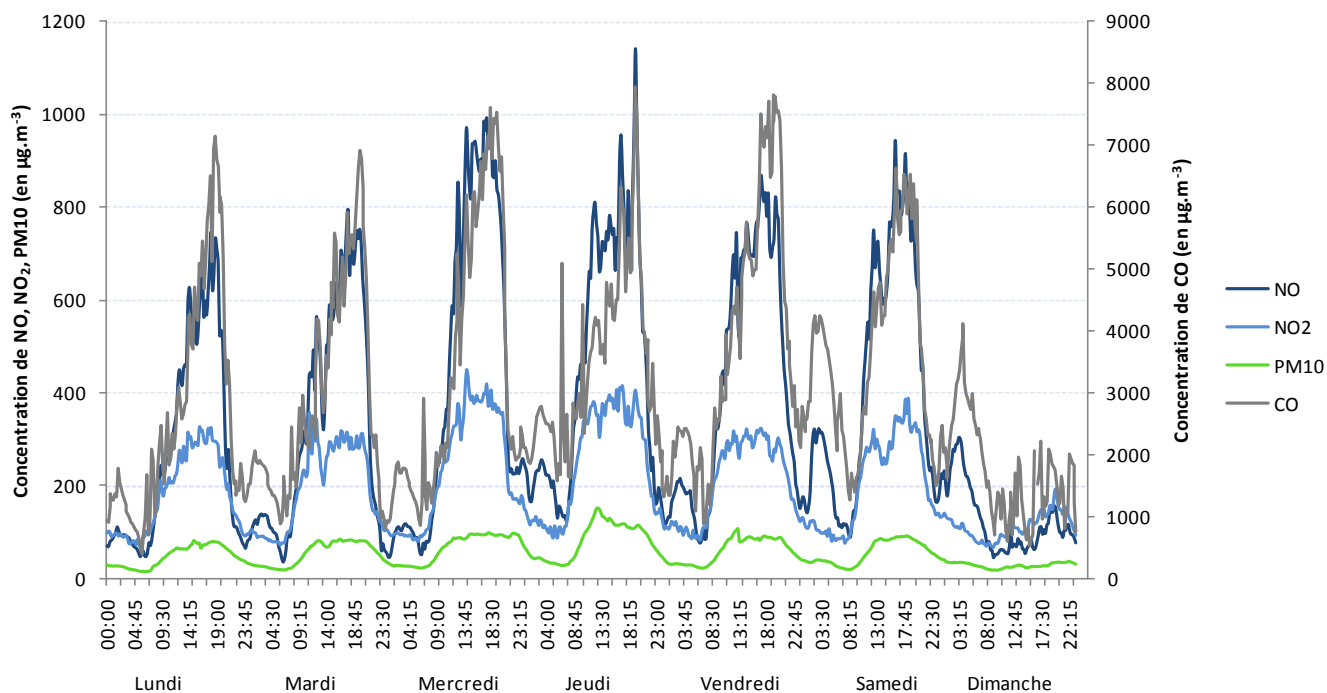
Alors que les variations saisonnières renseignent sur l'influence de la température et des réactions chimiques, avec l'ozone notamment, les variations horaires et journalières sont probablement plus liées à la fréquentation.

La fréquentation du parc République est variable selon les jours de la semaine. Etant située sous la rue commerciale de la République, la fréquentation est à son maximum le samedi (cf. Figure 16).



**Figure 16 Nombre de passages moyen dans le parc République pendant les campagnes en fonction du jour de la semaine**

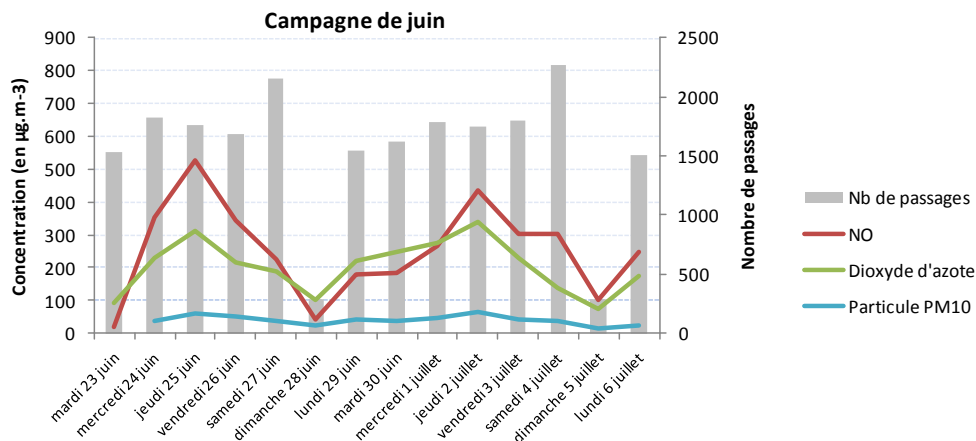
Le profil moyen de fréquentation peut être mis en relation avec le profil des concentrations de polluants. Toutefois, alors que le nombre de véhicules est le plus important le samedi, ce jour ne se distingue pas en termes de pollution (cf. Figure 17). Une explication probable réside dans le type de gestion de la ventilation. En effet, cette dernière est programmée pour se déclencher lors des pics de CO. Il est probable que le samedi, le nombre de déclenchements de la ventilation soit plus important et écrête les valeurs les plus élevées qui devraient apparaître en lien avec la fréquentation.



**Figure 17 Profil hebdomadaire moyen des concentrations dans le niveau -1 du parc République**

L'étude sur une période particulière montre en effet que les concentrations mesurées dans le parc ne sont pas proportionnelles au nombre de passages journalier (cf. Figure 18). Cela est dû comme évoqué ci-dessus au fonctionnement de la ventilation (sur des pics) mais également aux réactions chimiques qui pourraient avoir lieu et aux échanges possibles avec l'extérieur par l'entrée et la sortie du parking, les mesures étant réalisées dans le niveau -1.





**Figure 18 Evolution des concentrations journalières et du nombre de passages moyen sur une période**

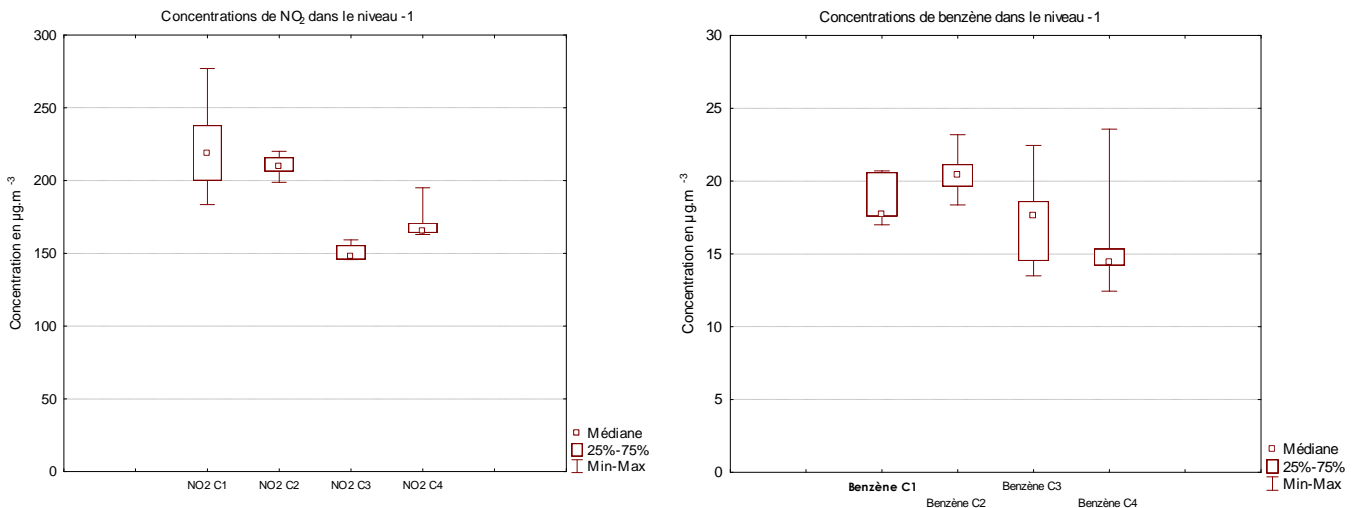
### 3.4.3. Les concentrations de polluants sont-elles homogènes au sein d'un niveau de circulation et entre les différents niveaux de circulation ?

La comparaison aux valeurs cibles a été faite par rapport aux valeurs mesurées sur le site principal de mesure au niveau -1. Des mesures complémentaires permettent de documenter la représentativité de ce point pour plusieurs polluants : NO<sub>2</sub>, benzène, toluène, xylènes, éthylbenzène, formaldéhyde.

La variabilité entre 2 étages avait déjà été étudiée dans les 25 parcs.

5 sites de mesures ont été disposés dans le niveau -1 en partant de l'entrée des véhicules jusqu'à l'accès à la rampe de descente dans les niveaux inférieurs.

La Figure 19 présente la dispersion des concentrations de NO<sub>2</sub> et de benzène. L'annexe 7 complète les résultats pour les autres polluants.



**Figure 19 Dispersion des concentrations de NO<sub>2</sub> (à gauche) et de benzène (à droite) au niveau -1 du parc République**

Dans le niveau -1 du parc République, la dispersion des concentrations n'est pas la même pour le benzène et le dioxyde d'azote.

Les concentrations de **dioxyde d'azote** sont variables de moins de 10% autour de la valeur mesurée sur le site principal aux campagnes 2, 3 et 4. En revanche, en période estivale (C1), l'écart peut atteindre près de 30%. Les concentrations sont alors les plus fortes en s'éloignant de l'entrée.

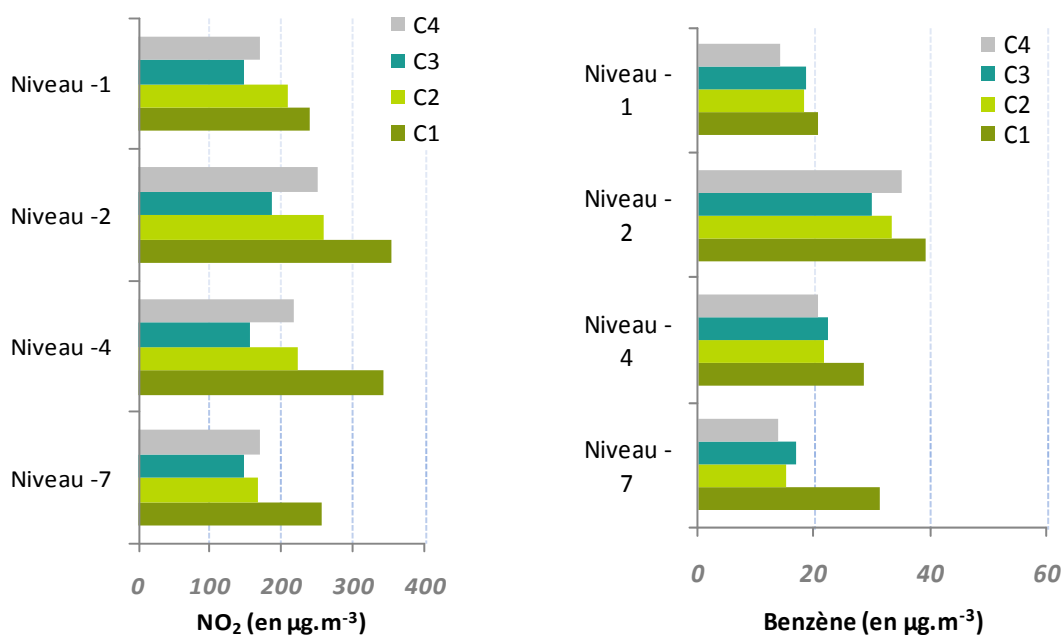
Le **benzène** présente des variations de l'ordre de 15% aux deux premières campagnes, en revanche celles-ci sont plus importantes aux périodes 3 et 4 qui sont plus froides. Ainsi les concentrations près de l'entrée des véhicules sont de 60% supérieures à celles relevées au niveau du site principal au printemps 2010.

Ces résultats illustrent bien la complexité du milieu du parc souterrain compte tenu des mouvements d'air naturels et induits par la ventilation, des émissions de polluants et des réactions chimiques intervenant.

Après avoir décrit les variations de concentration au sein d'un niveau de circulation, on s'intéresse aux différences potentielles entre les niveaux. Le parc République contient 7 niveaux de circulation, les niveaux -1, -2, -4 et -7 ont été équipés pour la mesure de dioxyde d'azote, benzène et formaldéhyde. Toluène, xylènes et éthylbenzène sont également renseignés avec la même méthode de mesure.

Dans le parc République, le niveau -1 est le plus circulé car tous les véhicules entrant passent à l'intérieur de cet étage avant de rejoindre la rampe qui dessert les niveaux -2 à -7. Dans les autres niveaux, les véhicules circulent uniquement lorsque des places sont libres, dans le cas inverse, les barrières d'accès sont fermées.

La Figure 20 décrit les variations de concentrations entre étages pour deux polluants : le dioxyde d'azote et le benzène.



**Figure 20 Concentrations moyennes par campagne de NO<sub>2</sub> (à gauche) et benzène à droite dans les différents niveaux de circulation**

La Figure 20 montre que, bien qu'il soit le plus circulé, le niveau -1 n'est pas le plus pollué. Ceci peut s'expliquer par l'importance des entrées d'air naturelles.

Le niveau -2 présente les concentrations les plus élevées. La concentration moyenne de dioxyde d'azote est de 25 à 50% plus élevée au niveau -2 par rapport au niveau -1 alors que pour le benzène l'écart se situe entre 60 et 150% selon les campagnes.

Lors de la campagne estivale, il semble qu'une accumulation se produise au niveau le plus bas, notamment pour les composés organiques volatils comme le benzène. Les résultats détaillés pour le toluène, les xylènes et l'éthylbenzène sont présentés en annexe 5. Ce phénomène avait déjà été observé lors de l'étude des 25 parcs, l'hypothèse émise avait été une fréquence de ventilation plus faible dans les étages les plus bas et donc les moins circulés.

### 3.4.4. Les concentrations de polluants sont-elles inférieures dans le local d'exploitation ?

La comparaison avec les valeurs cibles a montré que la préoccupation majeure portait sur les travailleurs. Or, ceux-ci peuvent passer une partie importante de leur temps, non pas dans les niveaux de circulation mais dans le local d'exploitation.

Ce local est conçu pour être en surpression afin d'être isolé de la pollution du parking. Toutefois, les résultats de la première étude dans les 25 parcs ont montré que, pour le benzène notamment, les concentrations à l'intérieur du local pouvaient être supérieures à celles observées dans le niveau de circulation.

La Figure 21 présente l'abattement, c'est-à-dire la réduction, de la pollution entre le local d'exploitation et d'une part le niveau moyen au -1, d'autre part le niveau de pollution du site de mesures principal.

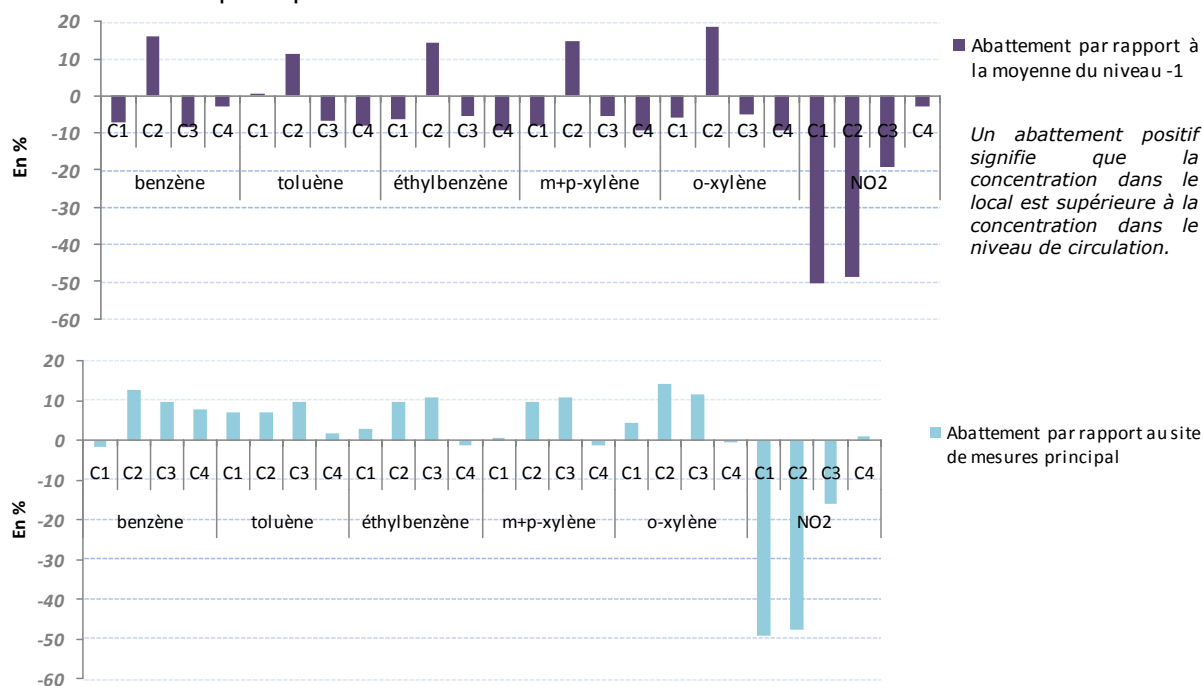
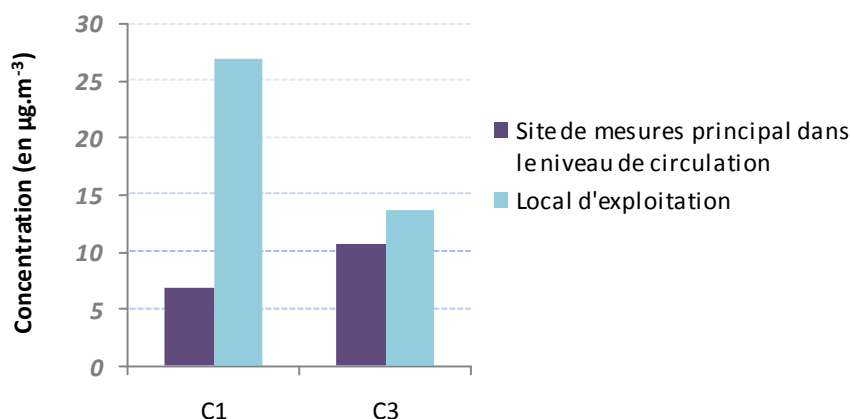


Figure 21 Calcul de l'abattement des concentrations entre le local et la moyenne du niveau -1 (en haut) et entre le local et le site principal (en bas)

Les résultats de ce deuxième volet confirment que les concentrations de benzène dans le local sont du même ordre de grandeur, voire parfois plus élevées que dans le niveau de circulation -1. Elles sont en revanche inférieures à celles observées au niveau -2.

Pour le dioxyde d'azote, les deux premières campagnes confirment bien l'abattement d'environ 50% observé lors de la première série de mesures. En revanche, ce n'est plus le cas lors des campagnes 3 et 4 en hiver et au printemps. Ces résultats sont surprenants car ils diffèrent de ceux observés lors du premier volet qui comptait 4 campagnes réparties sur l'année également. Un possible dysfonctionnement du système de ventilation du local pourrait être une piste d'explication.

Concernant le formaldéhyde, deux campagnes ont été réalisées uniquement, l'une en période estivale (C1) et l'autre en période hivernale (C3). Les concentrations dans le local sont nettement supérieures en été à celles observées dans le niveau de circulation (cf. Figure 22). Dans ce cas, la principale source de formaldéhyde doit être interne au local. Rappelons que les émissions de formaldéhyde en air intérieur sont dues aux produits de construction, au mobilier,... et augmentent généralement avec la température.



**Figure 22 Concentrations de formaldéhyde dans le local d'exploitation en comparaison du site de mesures principal**

### 3.4.5. Conclusions

Les différents points étudiés dans ce chapitre ont permis d'apporter des informations complémentaires au premier volet d'étude mené dans les 25 parcs.

- L'étude des variations saisonnières montre que la très grande majorité des polluants présentent des concentrations plus élevées en période hivernale. Ce n'est pas le cas du benzène et des composés organiques volatils présents dans les carburants qui présentent leur maximum en été. La période estivale semble la plus propice aux réactions chimiques entre polluants, c'est à cette période que les corrélations entre polluants sont les moins bonnes.  
Le monoxyde d'azote semble constituer un bon indicateur pour la gestion de la pollution. Les valeurs de gestion proposées par l'AFSSET ne garantiront toutefois pas les mêmes valeurs de dioxyde d'azote en été et en hiver.
- L'évolution au sein de la journée montre une accumulation progressive des polluants à partir des premières rotations matinales de véhicules. Ces éléments confirment que dans le premier volet d'étude, la valeur cible sur 1 heure a probablement été dépassée même sur les parcs ne la dépassant pas en moyenne sur 2 semaines. Toutefois, le profil hebdomadaire montre que les concentrations maximales horaires ne sont pas obtenues lors des jours de fréquentation maximale, le système de gestion de la ventilation agissant sur les pics.
- Par ailleurs, l'étude des variations spatiales au sein d'un niveau de circulation ou entre les niveaux illustrent la complexité des phénomènes intervenant dans la détermination des niveaux de polluants dans le parc, notamment dans le premier niveau de circulation avec l'influence des entrées d'air.
- Enfin, les mesures réalisées dans le local d'exploitation confirment que les niveaux de benzène dans le local sont du même ordre de grandeur que dans le niveau -1 alors que le dioxyde d'azote présente un abattement. Les niveaux de formaldéhyde dans le local en revanche sont probablement dus aux sources internes : matériaux de construction et mobilier.

### 3.5. Qualité de l'air ambiant dans le quartier République

En complément des mesures à l'intérieur du parc, des sites de mesures ont été disposés en air extérieur dans le quartier de la place de la République.

Ces mesures seront comparées aux résultats du modèle SIRANE afin d'évaluer la qualité du modèle sur le secteur, et éventuellement intégrer les émissions du parking.

La Figure 23 présente la position des points en air extérieur.

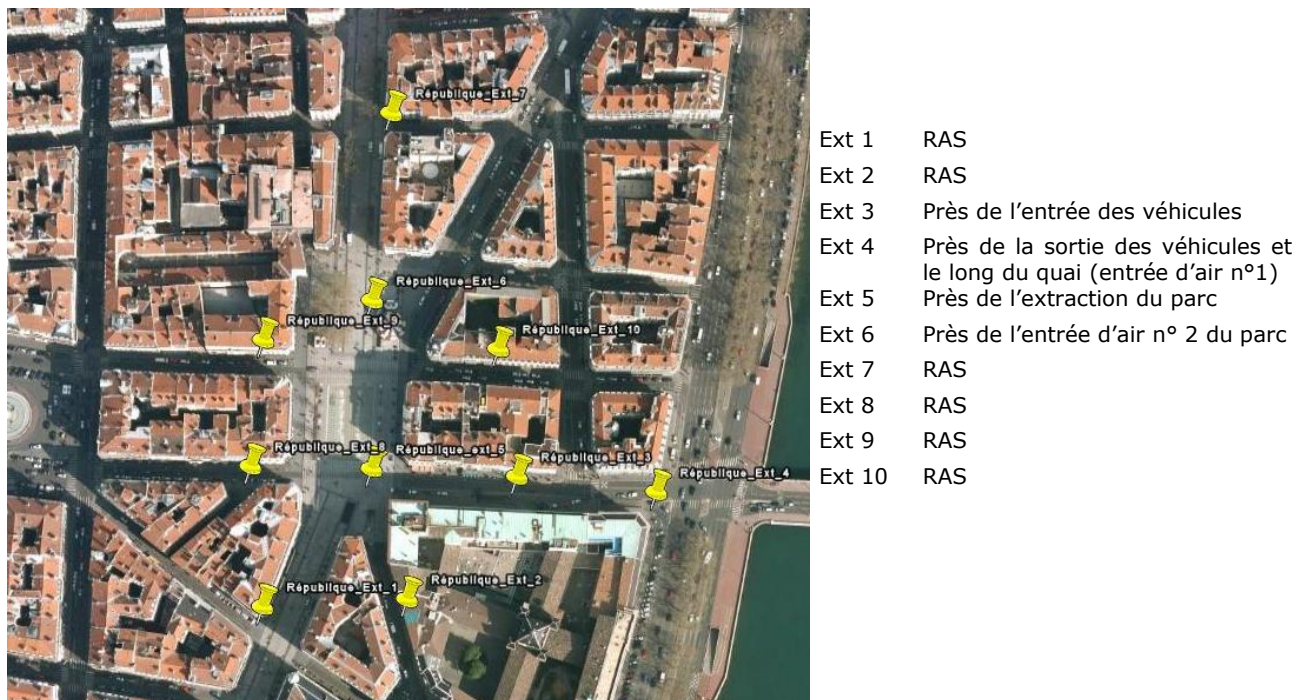


Figure 23 Répartition des points de mesures autour de la place de la République

Les mesures ont été réalisées simultanément à celles de l'intérieur du parc pendant 4 fois 2 semaines entre juin 2009 et avril 2010.

La répartition sur 4 périodes de 2 semaines permet en général d'avoir une bonne estimation de la moyenne annuelle de polluants. Cette hypothèse est vérifiée grâce aux stations de mesures fixes sur l'agglomération.

La moyenne des 4 périodes de mesures est comparée à la moyenne annuelle sur 5 stations du réseau de mesures (cf. Figure 24).

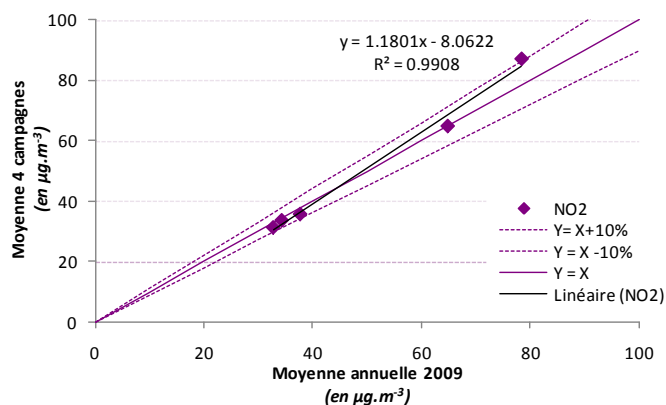
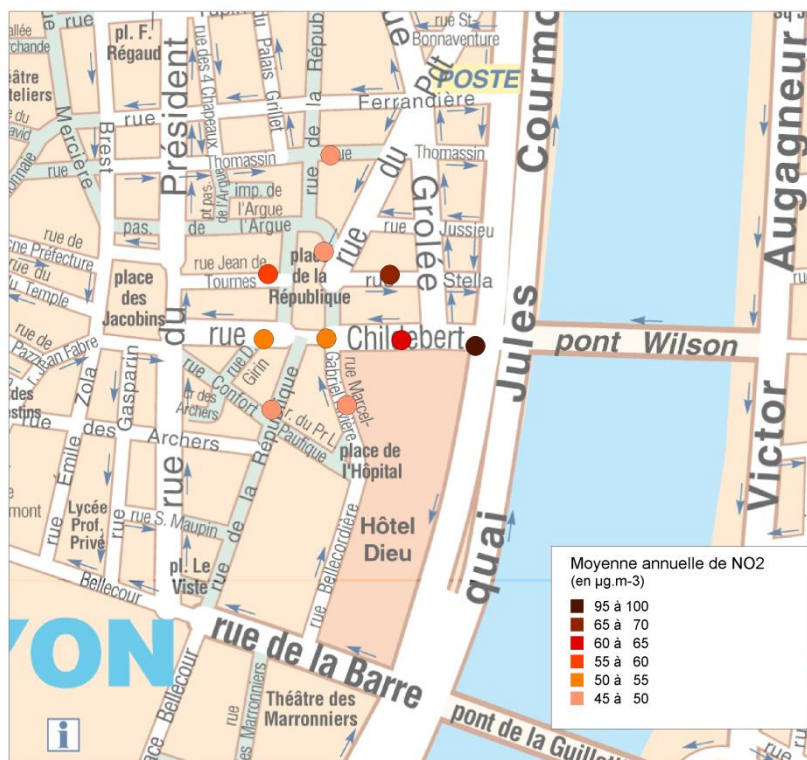


Figure 24 Comparaison de la moyenne sur les 4 périodes de mesures à la moyenne annuelle de 2009 sur quelques stations fixes du réseau de mesures de l'agglomération lyonnaise

La moyenne des 4 périodes donne une bonne estimation de la moyenne annuelle 2009.

La Figure 25 présente les concentrations moyennes de NO<sub>2</sub>. Ces concentrations moyennes dépassent l'objectif de qualité de l'air de 40 µg.m<sup>-3</sup> dans le quartier de la place de la République.



**Figure 25 Concentrations moyennes de NO<sub>2</sub> dans le secteur de la place de la République**

La comparaison avec les concentrations modélisées par SIRANE (cf. annexe 9) montre de meilleurs résultats sur les points 1, 2 et 7, situés dans les rues piétonnes. Les autres concentrations sont sous-estimées par le modèle, principalement sur les points 4 le long du quai et 10 dans la rue Stella. Il est possible que le trafic des rues soit sous-estimé. Concernant le point 4, la sortie des véhicules du parc pourrait avoir une influence sur les concentrations locales, une largeur trop faible pour le quai Jules Courmont dans le modèle est probablement en cause également.

## 4. Conclusions et perspectives

En 2008-2009, la réalisation du premier volet d'étude sur 25 parcs avait permis de dresser un état des lieux des niveaux de pollution dans les différents types de parcs de stationnement. Le point fort de ce premier volet était le nombre important de parcs sondés simultanément, néanmoins le nombre de polluants investigués était limité et la description spatiale et temporelle des concentrations restreinte.

La réalisation de l'étude détaillée dans le parc République a permis d'apporter de précieuses informations complémentaires, notamment dans l'optique d'une amélioration de la gestion de la qualité de l'air des parcs.

Les éléments suivants ont pu être relevés :

- Le **NO**, le **CO** et certains **composés organiques volatils** présentent les rapports les plus importants avec les concentrations relevées en air extérieur, les niveaux de concentrations dans le parc pouvant valoir plusieurs dizaines de fois les concentrations relevées en milieu urbain.
- Les particules PM10 et PM2,5 présentent en revanche les niveaux les plus modérés comparativement à l'air extérieur.
- La période hivernale est la période présentant les plus fortes concentrations pour la plupart des polluants, notamment le CO et le NO. Les composés organiques volatils sont en revanche plus présents en période estivale où le phénomène d'évaporation des carburants augmente. Le premier volet concernant uniquement le dioxyde d'azote et le benzène avait mis en avant plutôt la période estivale.

La comparaison aux valeurs cibles proposées par l'AFSSET montre des dépassements pour certains polluants : le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

Le dioxyde d'azote notamment est concerné par des dépassements des valeurs cibles aiguës et chroniques, c'est le polluant dont la surexposition est la plus importante par rapport aux valeurs cibles. Au final, les polluants les plus préoccupants ne sont pas forcément les plus spécifiques du parking, comme le NO et le CO, mais le dioxyde d'azote, les particules et le benzène.

L'étude des corrélations entre polluants et des variations temporelles et spatiales apporte des informations complémentaires pour l'amélioration de la qualité de l'air dans les parcs. L'évolution au sein de la journée montre une accumulation progressive des polluants à partir des premières rotations matinales de véhicules. L'amplitude journalière des concentrations de polluants est très forte. Ces éléments confirment que dans le premier volet d'étude, la valeur cible sur 1 heure a probablement été dépassée même sur les parcs ne la dépassant pas en moyenne sur 2 semaines.

Par ailleurs, l'étude des variations spatiales au sein d'un niveau de circulation ou entre les niveaux ainsi que l'étude des corrélations entre polluants illustrent la complexité des phénomènes intervenant dans la détermination des niveaux de polluants dans le parc.

Le monoxyde d'azote semble effectivement constituer un bon indicateur pour la gestion de la pollution, toutefois l'étude des corrélations montre que les valeurs de gestion proposées par l'AFSSET ne garantiront pas les mêmes valeurs de dioxyde d'azote en été et en hiver.

Ces deux volets d'étude ont permis de bien décrire l'état de la pollution dans les parcs de stationnement, il est dorénavant nécessaire de définir les actions utiles à l'amélioration de la qualité de l'air et de les évaluer. En 2011, Lyon Parc Auto et Coparly continueront leur collaboration afin de tester différentes configurations de ventilation dans 2 types de parcs : un parc très fréquenté et un parc résidentiel. La mesure en continu des concentrations de benzène et de dioxyde d'azote permettra d'évaluer l'efficacité des différentes configurations envisagées.

## ANNEXE 1 Liste des polluants mesurés

En jaune : les polluants faisant l'objet de valeurs réglementaires à respecter en air ambiant

\* : les polluants possédant une valeur cible dans le contexte des parkings couverts

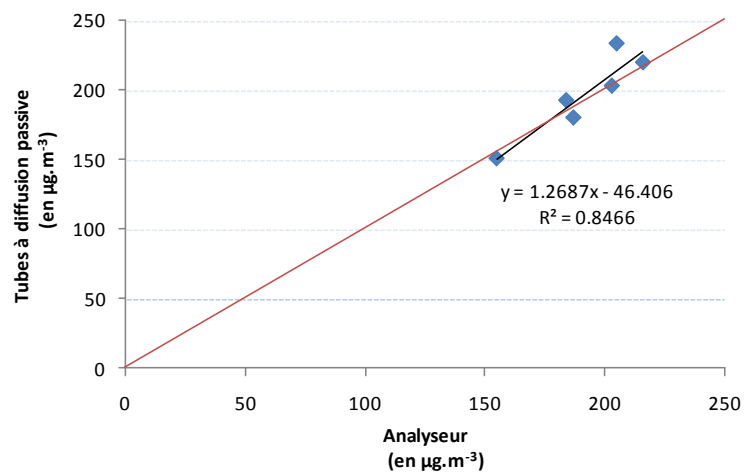
Polluants historiquement réglementés	Aldéhydes (ALD)	Métaux Lourds (ML ou ETM)
Dioxyde soufre (SO <sub>2</sub> )	Formaldéhyde*	Antimoine
Monoxyde d'azote (NO)	Acétaldéhyde*	Arsenic
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )*	Propionaldéhyde	Baryum
Monoxyde de carbone (CO)*	Butyraldéhyde	Cadmium
PM10 *	Benzaldéhyde	Chrome
PM2,5 *	Isovaléraldéhyde	Cobalt
	Valéraldéhyde	Cuivre
		Manganèse
		Mercuré
		Nickel
		Plomb
		Thallium
		Vanadium
		Zinc

Composés Organiques Volatils (COV)			
<b>COV précurseurs de l'ozone :</b>	isopentane	n-heptane	<b>COV chlorés :</b>
éthane	n-pentane	toluène	1,1-dichloroéthane
éthylène	1,3-butadiène	octane	1,2-dichloroéthylène
propane	trans-2-pentène	éthylbenzène	1,2-dichloroéthane
propène	1-pentène	m+p-xylène*	1,1,1-Trichloroéthane
isobutane	cis-2-pentène	Styrène	Tétrachlorométhane
n-butane	isoprène	o-xylène*	Trichloroéthylène
acétylène	1-hexène	1,3,5-triméthylbenzène	1,1,2-trichloroéthane
trans-2-butène	n-hexane	1,2,4-triméthylbenzène	Tétrachloroéthylène
1-butène	Benzène*	1,2,3-triméthylbenzène	chlorobenzène
cis-2-butène	iso-octane		1,4-Dichlorobenzène

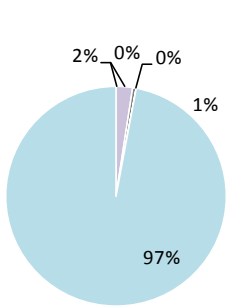


**ANNEXE 2**  
**Comparaison des résultats**  
**Analyseur automatique vs tube à diffusion passive**

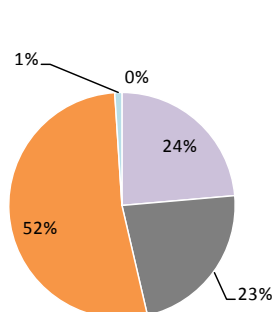
Campagne	Concentration NO <sub>2</sub> tubes (en µg.m <sup>-3</sup> )	Concentration NO <sub>2</sub> analyseur (en µg.m <sup>-3</sup> )	Commentaires	Ecart en %
1	203	203		<b>0.1</b>
1	234	205		<b>14.1</b>
2	220	216		<b>1.9</b>
2	193	184		<b>4.7</b>
4	150	155		<b>-2.9</b>
4	180	187		<b>-3.7</b>
3	131	/	analyseur en panne	
3	161	/	analyseur en panne	



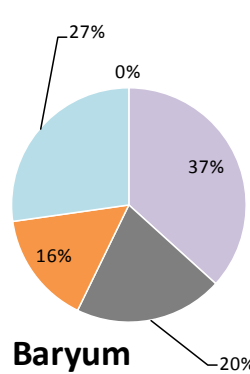
**ANNEXE 3**  
**Répartition des émissions de métaux par secteur sur la ville de LYON**



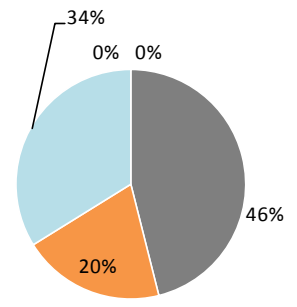
**Antimoine**



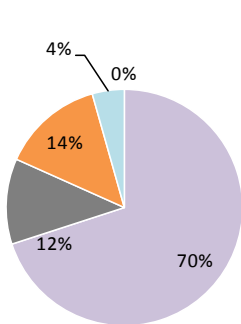
**Arsenic**



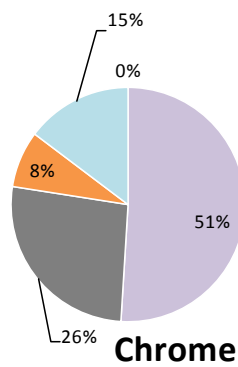
**Baryum**



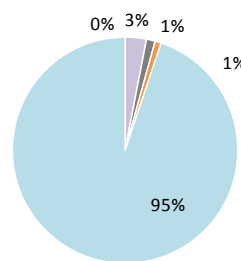
**Cobalt**



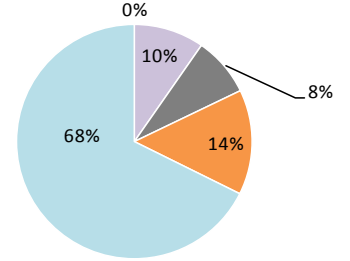
**Cadmium**



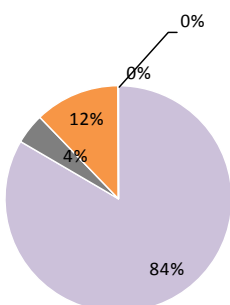
**Chrome**



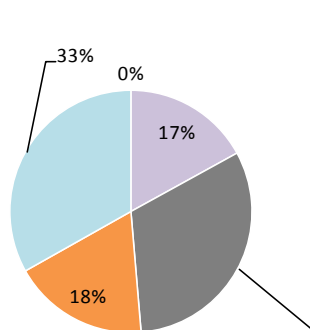
**Cuivre**



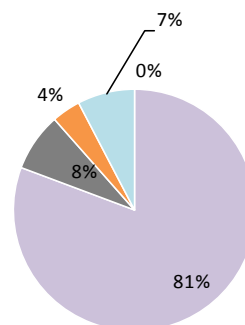
**Manganèse**



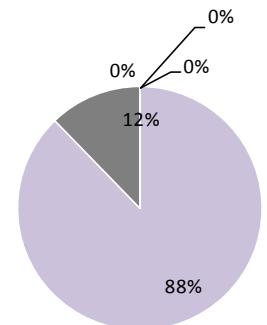
**Mercure**



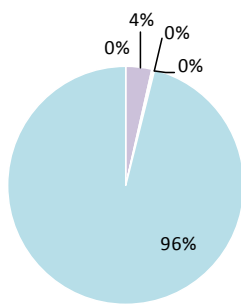
**Nickel**



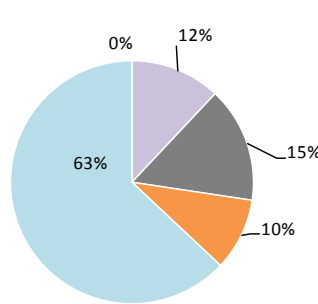
**Plomb**



**Thallium**



**Vanadium**



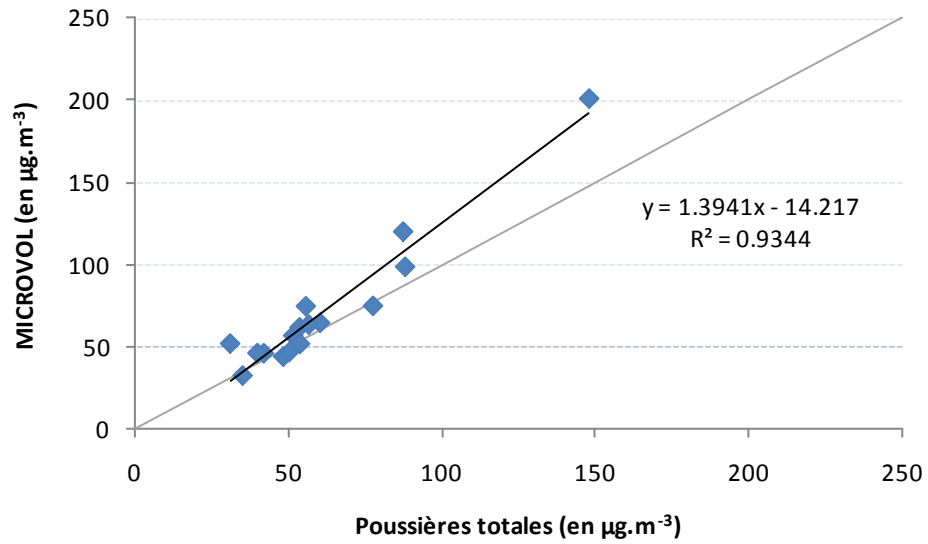
**Zinc**

- Agriculture/nature
- Industrie
- Résidentiel
- Tertiaire
- Transports

## ANNEXE 4

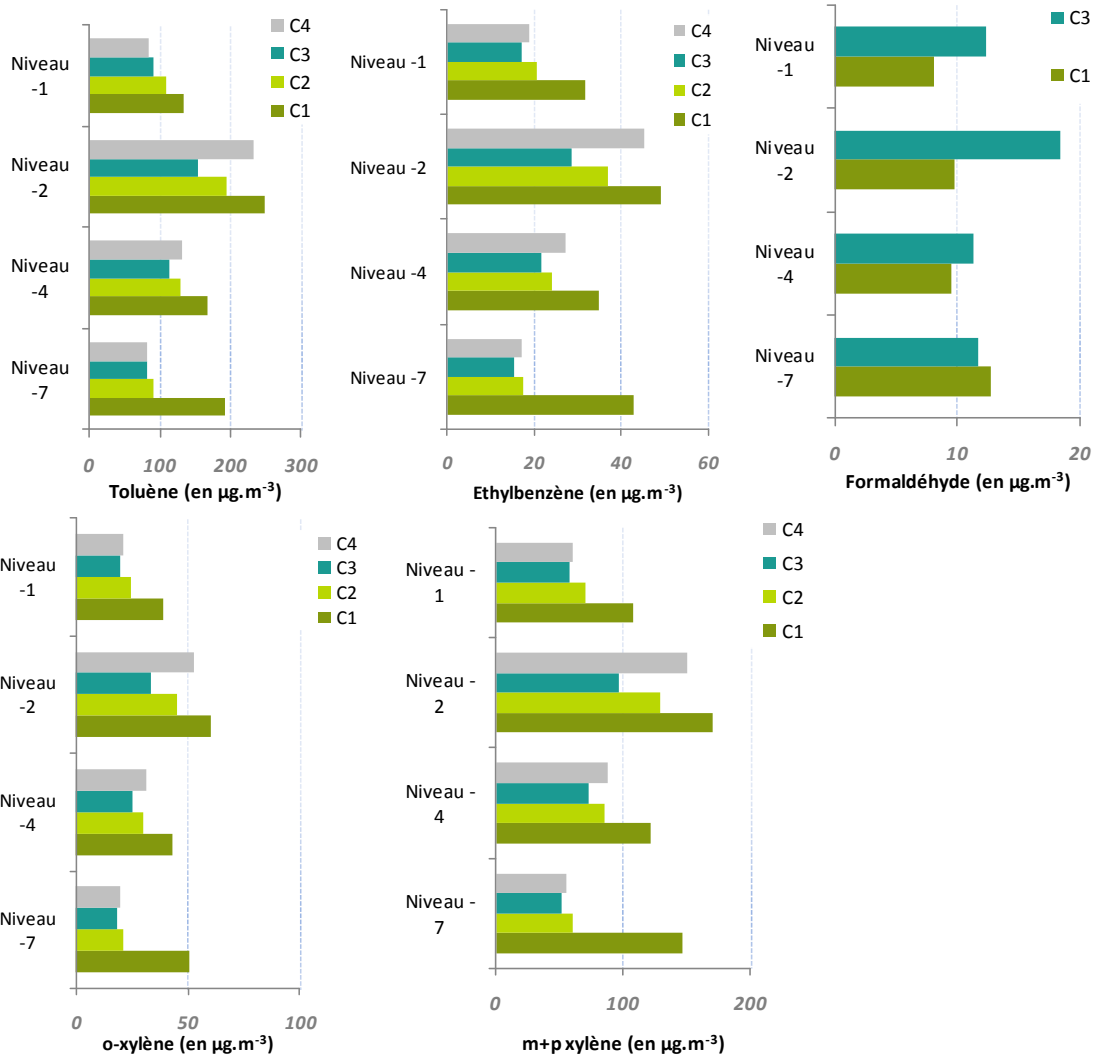
### Comparaison des différentes techniques de mesure de poussières

La différence de hauteur de prélèvement pourrait impacter les concentrations.



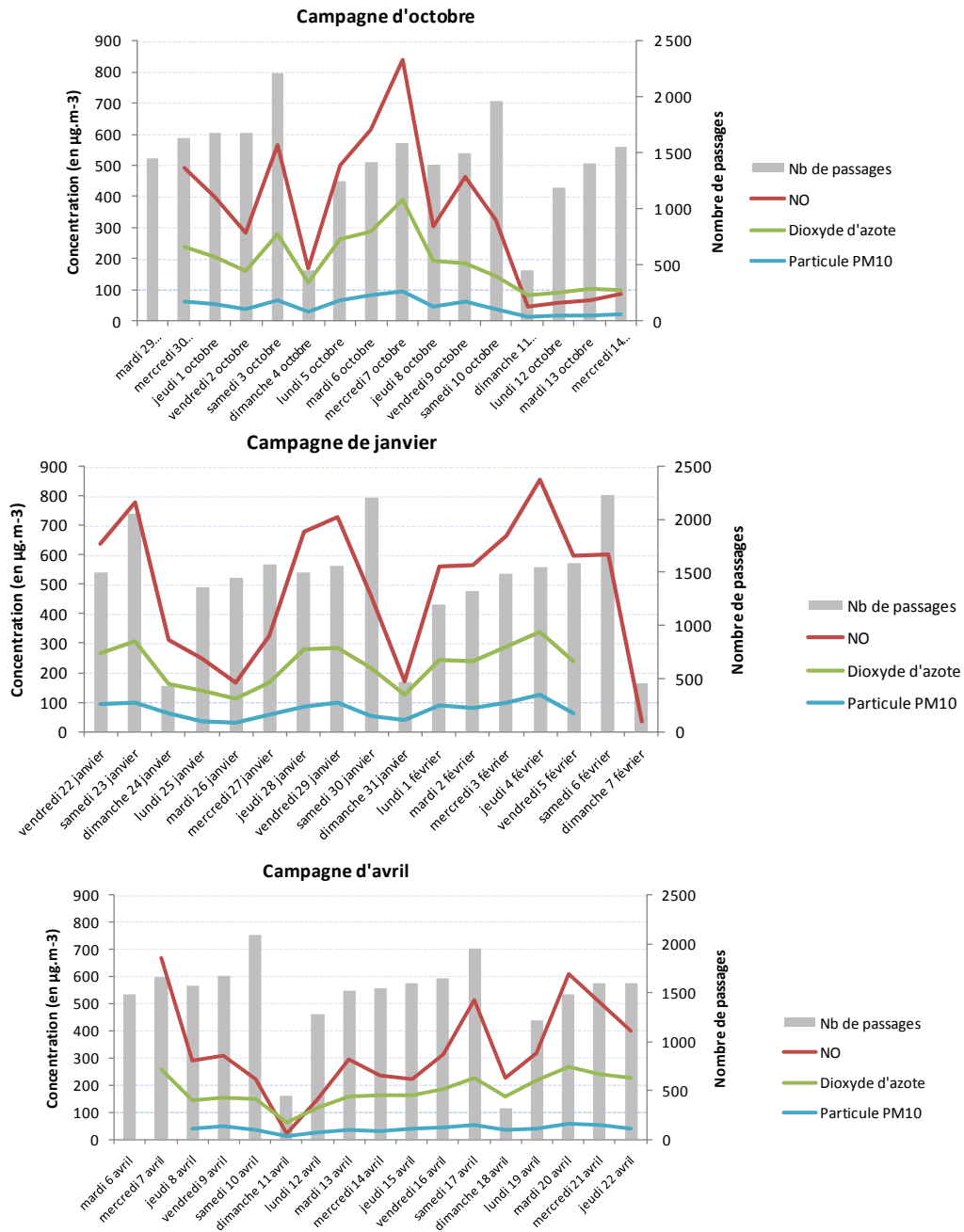
## ANNEXE 5

### Résultats par niveau pour le toluène, l'éthylbenzène, les xylènes et le formaldéhyde



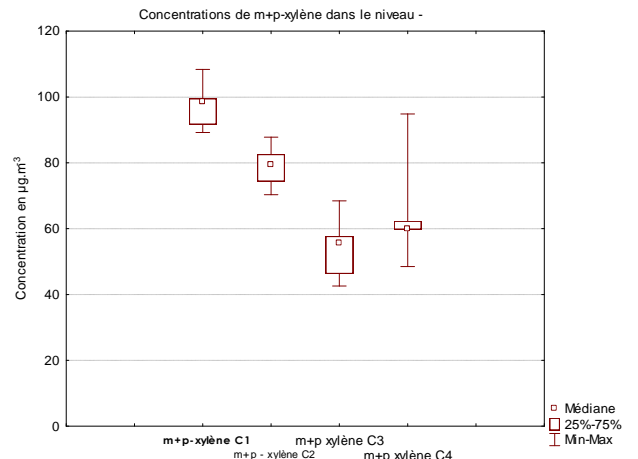
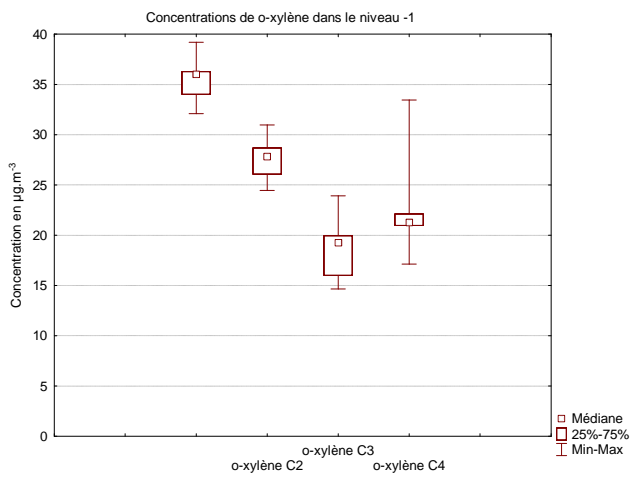
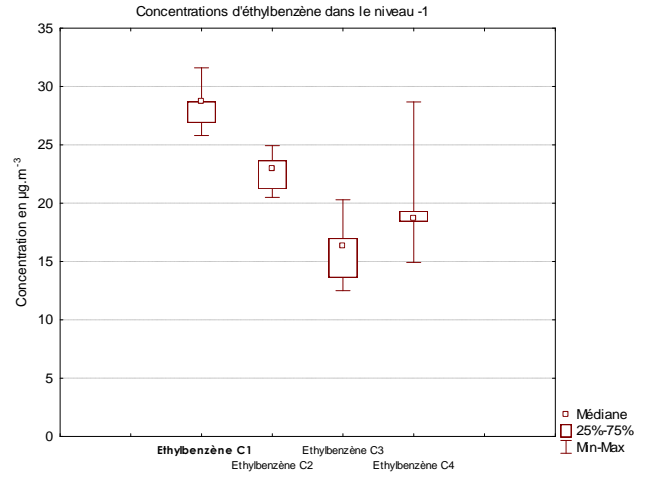
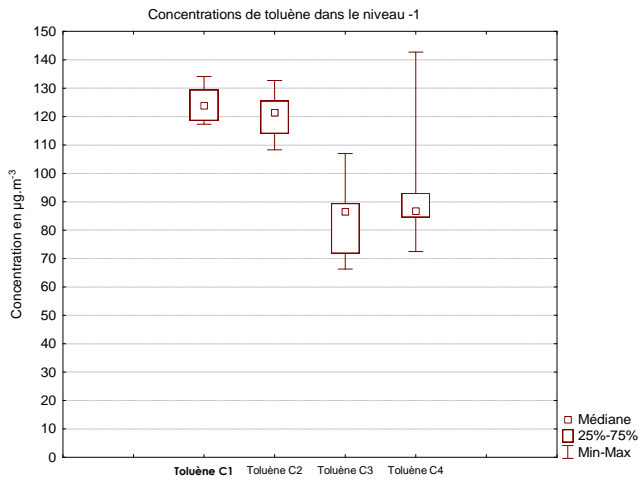
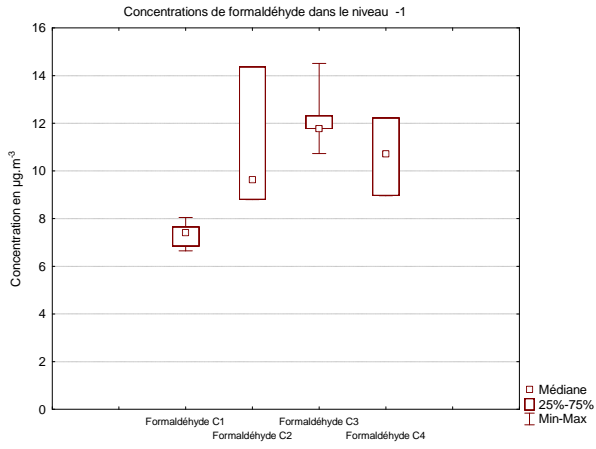
## ANNEXE 6

### Concentrations journalières par rapport au nombre de passages de véhicules

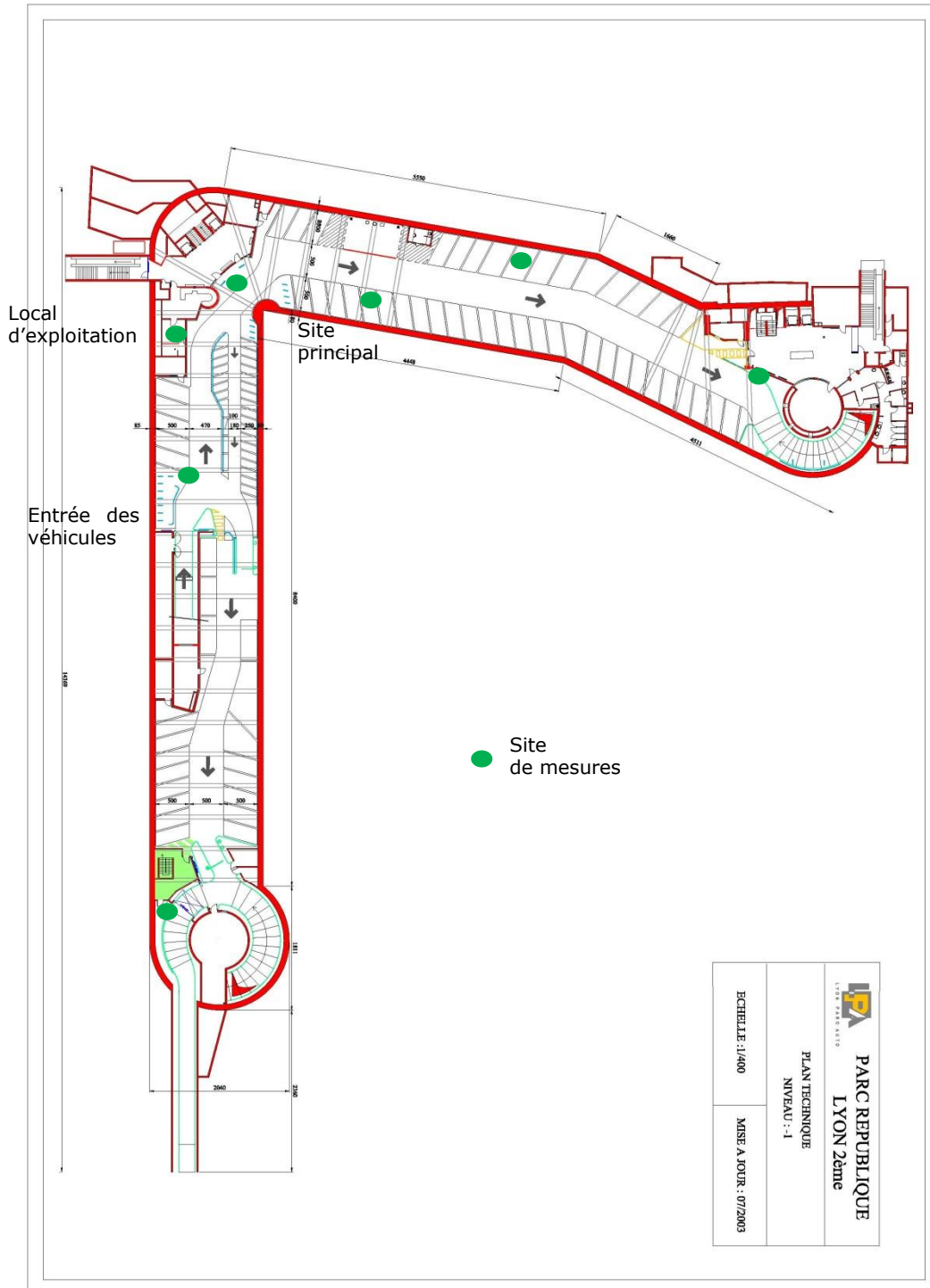


## ANNEXE 7

### Dispersion spatiale pour le formaldéhyde, le toluène, les xylènes et l'éthylbenzène



## ANNEXE 8 Positionnement des sites de mesures



**ANNEXE 9**  
**Modélisation des moyennes annuelles de NO<sub>2</sub>**  
**par SIRANE**  
**dans le quartier République**

